

# Estado y perspectiva de la energía limpia en México

Dr. Alejandro López Ortiz (CIMAV), Ing. Iván Montenegro, Consultor de Mercados Eléctricos, Dr. Luis C. A. Gutiérrez-Negrín (Geoconsul, SA de CV), Dr. Javier Cuitláhuac Palacios Hernández y Dr. Armando Miguel Gómez Torres (ININ), M.I. Ana A. Palacios Fonseca (IMTA), Dr. Jorge Alberto Rosas-Flores (Instituto Tecnológico de Tlalpan), Dr. Juan C. Olivares Galvan y Dr. Rafael Escarela Pérez, (UAM-A), Dr. Emilio Barocio Espejo (UdG), Dr. Raúl Tauro (UNAM, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia)

26 de marzo del 2021.

# Contenido

1. Introducción: Dr. Juan C. Olivares Galvan
2. Desarrollo sustentable y ley de transición energética: Dr. Armando Gomez Torres
3. Energía geotérmica: Dr. Luis C. A. Gutiérrez-Negrín
4. Energía nuclear: Dr. Javier Palacios
5. Energía eólica: Dr. Rafael Escarelas
6. Energía solar: Dr. Jorge Alberto Rosas
7. Bioenergía : Dr. Raúl Tauro
8. Energía hidráulica : M.I. Ana A. Palacios Fonseca
9. Hidrógeno: Dr. Alejandro López Ortiz
10. Efectos de la incorporación del la generación eólica en el Sistema de Potencia Mexicano : Dr. Emilio Barocio
11. Naturaleza del comportamiento de los precios en el mercado eléctrico mayorista mexicano: Ing. Iván Montenegro

Dr. Omar Romero Hernández

Dr. Sergio Romero Hernández

Dr. Duncan Wood

Editores



# Energías Renovables:

Impulso político y tecnológico  
para un México sustentable



A la venta en:  
[amazon.com.mx](https://amazon.com.mx)

# HACIA UN SISTEMA ENERGÉTICO MEXICANO BAJO EN CARBONO

*Desplegando el potencial de las energías renovables  
y del ahorro y uso eficiente de la energía*



Jorge M. Islas Samperio, Fabio Manzini Poli,  
Paloma Macías Guzmán y Genice K. Grande Acosta

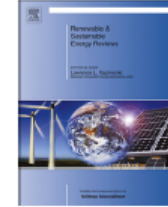




Contents lists available at [ScienceDirect](http://ScienceDirect)

## Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser)



### Renewable energy research progress in Mexico: A review



Gibrán S. Alemán-Nava<sup>a</sup>, Victor H. Casiano-Flores<sup>a</sup>, Diana L. Cárdenas-Chávez<sup>a</sup>,  
Rocío Díaz-Chavez<sup>b</sup>, Nicolae Scarlat<sup>c</sup>, Jürgen Mahlke<sup>a</sup>,  
Jean-Francois Dallemand<sup>c</sup>, Roberto Parra<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Centro del Agua para América Latina y el Caribe, Tecnológico de Monterrey, Monterrey 64849, México

<sup>b</sup> Centre for Environmental Policy, Imperial College London, London SW7 1NA, UK

<sup>c</sup> European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy, Via E. Fermi 2749, TP 450, 21027 Ispra (Va), Italy

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 8 July 2013

Received in revised form

31 December 2013

Accepted 4 January 2014

Available online 30 January 2014

##### Keywords:

Mexico

Renewable energy sources

Hydropower

Geothermal

Wind

Solar

Biomass

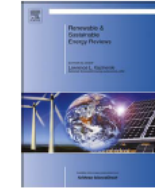
#### ABSTRACT

Mexico ranks 9th in the world in crude oil reserves, 4th in natural gas reserves in America and it is also highly rich in renewable energy sources (solar, wind, biomass, hydropower and geothermal). However, the potential of this type of energy has not been fully exploited. Hydropower is the renewable energy source with the highest installed capacity within the country (11,603 MW), while geothermal power capacity (958 MW) makes Mexico to be ranked 4th in the use of this energy worldwide. Wind energy potential is concentrated in five different zones, mainly in the state of Oaxaca, and solar energy has a high potential due to Mexico's ideal location in the so called Solar Belt. Biomass energy has the highest potential (2635 to 3771 PJ/year) and has been the subject of the highest number of research publications in the country during the last 30 years (1982–2012). Universidad Nacional Autónoma de México has led research publications in hydropower, wind, solar and biomass energy and Instituto de Investigaciones Eléctricas in geothermal energy during this period. According to the General Law for Climate Change the country has set the goal of generating 35% of its energy needs from renewable sources by 2024. This paper presents an overview of the renewable energy options available in Mexico, current status, main positive results to date and future potential. It also analyses barriers hindering improvements and proposes pertinent solutions.



Contents lists available at ScienceDirect

## Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser)

## Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review



Eduardo Pérez-Denicia<sup>a</sup>, Fabián Fernández-Luqueño<sup>b,\*</sup>, Darnes Vilariño-Ayala<sup>c</sup>, Luis Manuel Montaña-Zetina<sup>d</sup>, Luis Alfonso Maldonado-López<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Ph.D. Program in Science, Technology, and Society, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav), 07360 Mexico, Mexico

<sup>b</sup> Sustainability of Natural Resources and Energy Program, Cinvestav-Salttillo, Coahuila C.P. 25900, Mexico

<sup>c</sup> Faculty of Computer Science, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), 14 Sur y Av. San Claudio, C.U. 72560 Puebla, Mexico

<sup>d</sup> Physics Department, CINVESTAV, 07360 Mexico, Mexico

<sup>e</sup> Applied Physics Department, CINVESTAV, 97310 Mérida, Yucatán, Mexico

## ARTICLE INFO

*JEL classification codes:*

Q20

Q42

*Keywords:*

Renewable energy

Solar photovoltaic

Onshore wind farm

Bioenergy

Social welfare

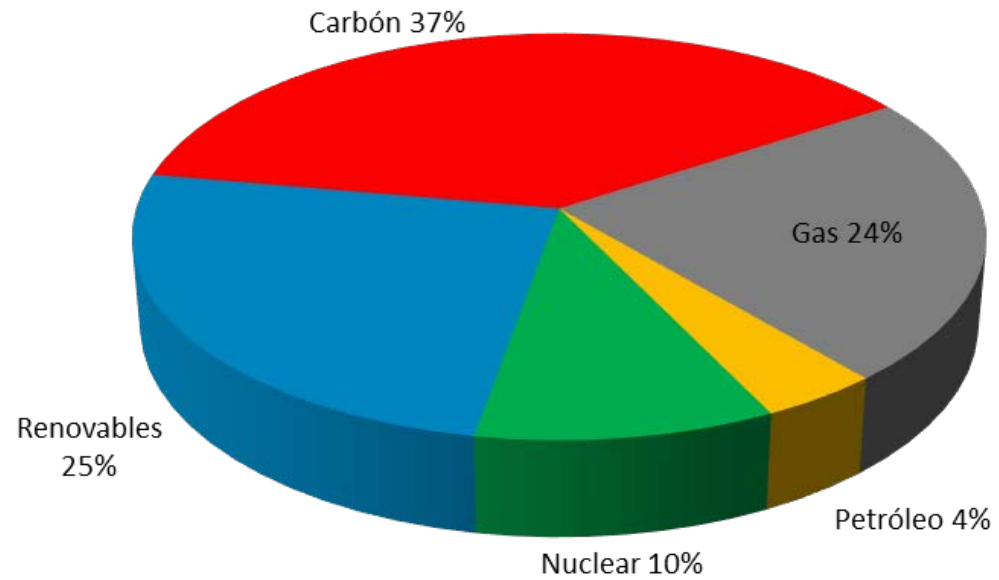
Sustainable development

Social and environmental challenges

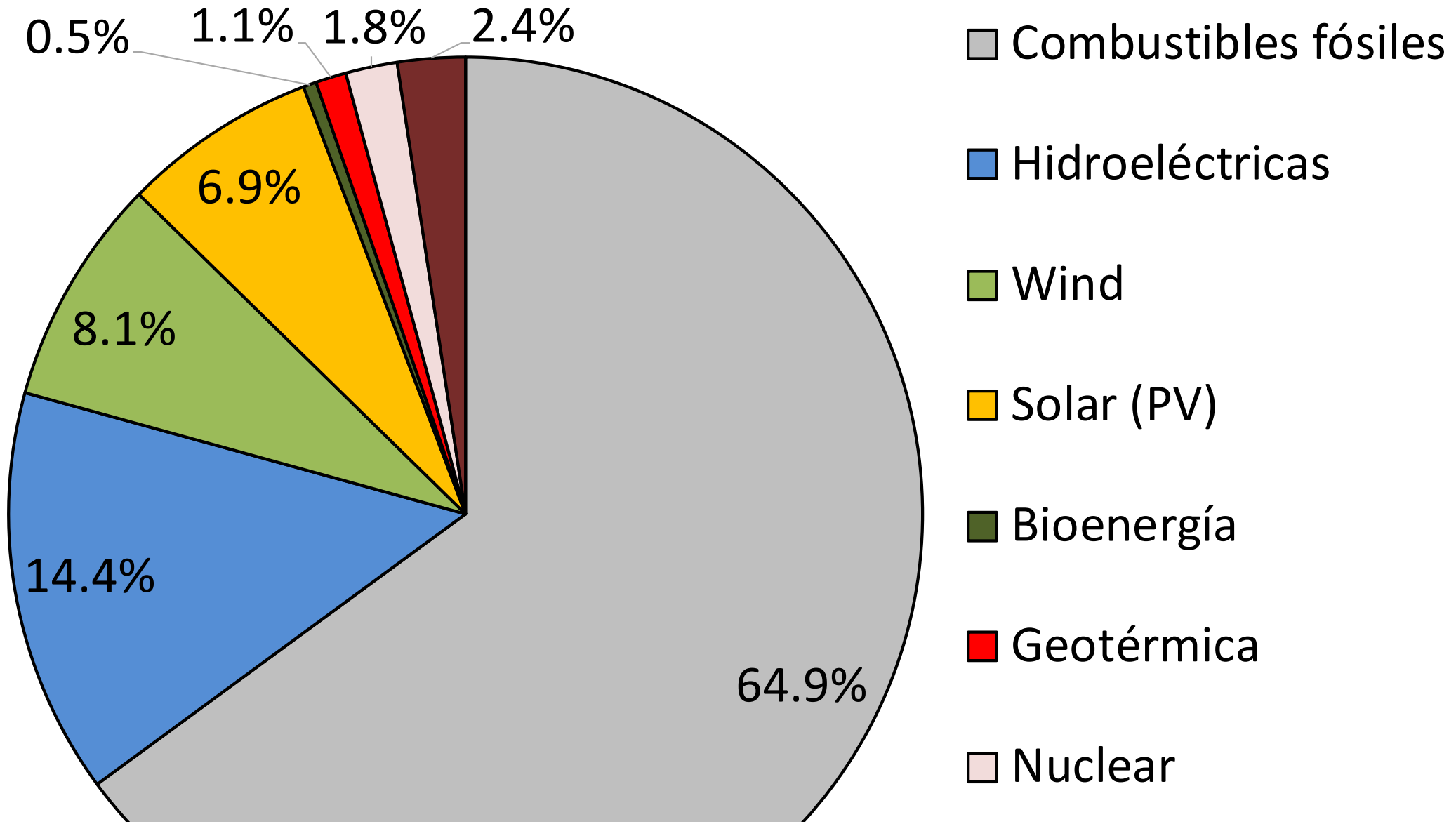
## ABSTRACT

Renewable energy projects have been launched throughout Mexico in order to deliver clean and affordable energy worldwide. The aims of this research are: (i) to know the current status of electricity generation through solar, wind, biomass, geothermal, and hydropower in Mexico, (ii) to determine the renewable energy potential in Mexico and its generation schemes, and (iii) to analyze the social and environmental challenges that these technologies are going to face in Mexico. This paper highlights for the first time a comprehensive review of the current status of renewable energy projects for electricity generation in Mexico and the potential impact of these technologies in the social and environmental areas. The results presented are based on a critical review of the energy policy and regulation, as well as statistical data on electricity generation in Mexico. It was found that in Mexico 62 GW h/year were generated by solar photovoltaic technology of which 49 GW h/year were produced by 6 private projects and 13 GW h/year by 2 generating plants of the Federal Electricity Commission (CFE). There is a proven potential to generate 16,351 GW h/year through solar energy. Although the proven potential for wind power generation in Mexico is 19,805 GW h/year, wind power is exploited by onshore technology, with a generation of 7675 GW h/year of which the CFE produced 220 GW h/year through 3 generating plants, while 27 private producers generated 7455 GW h/year. In Mexico, the main renewable technologies used to generate electricity are hydropower, onshore wind farms, and geothermal. Mexico has a great potential to generate electricity from renewable sources, however the government must encourage its use through the appropriate mechanisms in order to achieve its proposed goals of generating 35% of total electricity from clean sources by 2025, improve the social welfare, and shape a sustainable future.

# Energía producida el Mundo



Fuente : 2019, IEA en [www.iea.org](http://www.iea.org)



Capacidad instalada en México  
(Octubre 2020): 87,893 MW

Fuente: Prodesen  
2020-2034, SENER.

Cogeneración eficiente

3,259

Nuclear

10,881

Geotérmica

5,061

Bioenergía

669

Solar (PV)

8,349

Wind

16,727

Hidroeléctricas

23,062

Combustibles fósiles

249,228

Generación de energía eléctrica en México en 2019: 317,236 GWh

0 50,000 100,000 150,000 200,000 250,000

GWh





**SENER**  
SECRETARÍA DE ENERGÍA



instituto nacional de  
investigaciones nucleares

# Estado y perspectiva de la energía limpia en México

Ciclo de Conferencias Virtuales de Ingeniería Eléctrica y temas afines  
del Área de Ingeniería Energética y Electromagnética

Armando Gomez Torres

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares  
armando.gomez@inin.gob.mx

26.03.2021

# Contenido

COP-21

Desarrollo sustentable

Acciones en México

Energías limpias

## COP-21: Puntos clave

**Justo:** Los Estados tienen responsabilidades comunes pero diferenciadas que dependen de las posibilidades y circunstancias de cada país. Países desarrollados apoyan a países en vías de desarrollo.

**Sustentable:** Mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C tomando de referencia los niveles preindustriales. Revisión de estrategias nacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

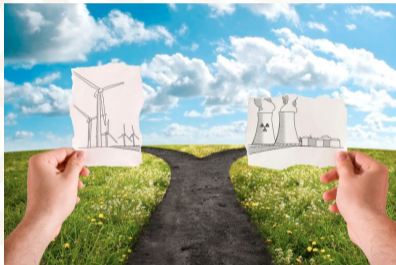
**Universal:** 195 Estados en acuerdo.



Fuente de la ilustración: <https://aboutthailandliving.com>



## Acciones en México



**24-dic-2015** Se publicó en el DOF la **Ley de Transición Energética** con los siguientes objetivos:

- \* Regular el aprovechamiento sustentable de la energía,
- \* Regular las obligaciones en materia de Energías Limpias y la reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica,
- \* Mantener la competitividad de los sectores productivos.

**02-feb-2016** Se publicó en el DOF el Acuerdo por el que la SENER aprueba y publica la actualización de la primera **Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios**.

Fuente de la ilustración: <https://elperiodicodelaenergia.com/quince-claves-de-la-futura-ley-de-cambio-climatico/>

# Acciones en México

**Ley de Transición Energética:** Las **Energías Limpias** son aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad definidos como tales en la **Ley de la Industria Eléctrica**.

**Ley de la Industria Eléctrica:** Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan.



Fuente de la ilustración: <https://terotecnic.com/productos/aplicaciones-estrategicas/industrias-de-energia/>

## Energías limpias según la LIE

- a) El viento,
- b) La radiación solar en todas sus formas,
- c) La energía oceánica en sus distintas formas,
- d) El calor de los yacimientos geotérmicos,
- e) Los bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos,
- f) La energía generada por el aprovechamiento del poder calorífico del metano y otros gases asociados,
- g) La energía generada por el aprovechamiento del hidrógeno,
- h) La energía proveniente de centrales hidroeléctricas,
- i) La energía nucleoelectrónica,
- j) La energía generada con los productos del procesamiento de esquilmos agrícolas,
- k) La energía generada por centrales de cogeneración eficiente,
- l) La energía generada por ingenios azucareros que cumplan con los criterios de eficiencia,
- m) La energía generada por centrales térmicas con procesos de captura y biosecuestro de  $CO_2$ .

# ¡Gracias por su atención!

**Con esta introducción, damos paso a un breve análisis del estado y perspectiva de la energía limpia en México.**





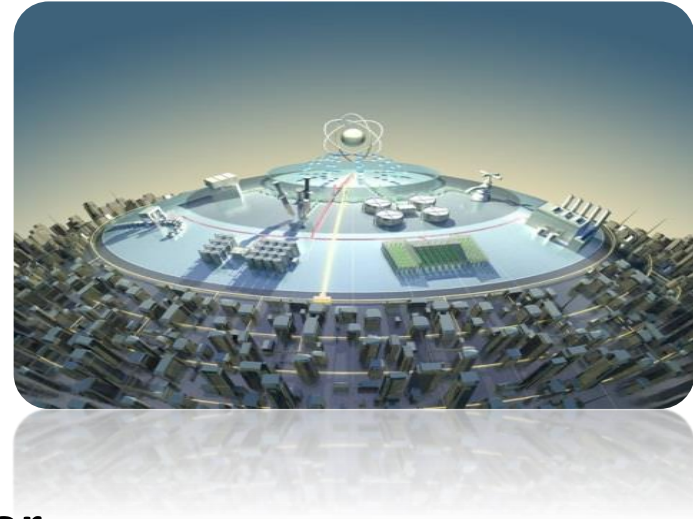
# La Energía Nuclear en México: Situación Actual y Perspectivas

Dr. Javier Cuitláhuac Palacios Hernández



Ciencia y Tecnología Nuclear en Beneficio de México





## Situación actual de la energía nuclear en el Mundo

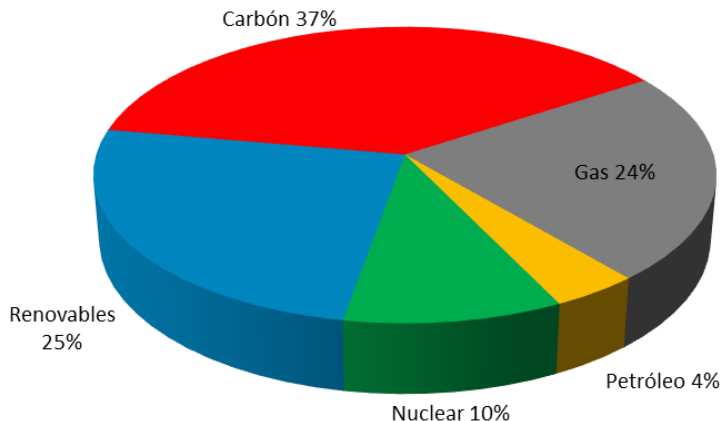
*Si mi teoría de la relatividad es exacta, los alemanes dirán que soy alemán y los americanos que soy ciudadano del mundo. Pero si no, los americanos dirán que soy alemán, y los alemanes que soy judío*

**Albert Einstein**

# Mezcla de Generación Eléctrica en el Mundo y la OCDE (2019)

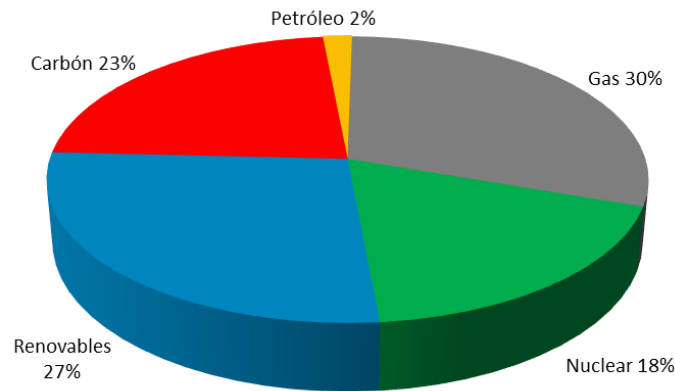


## MUNDO



Elaborado a partir de datos de BP Statistical Review of World Energy 2020

## OCDE



Elaborado a partir de datos de IEA, Electricity generation by source, OECD, 1990-2019

	2000	2019
Limpias	35.2	36.7
Fósiles	64.8	63.3

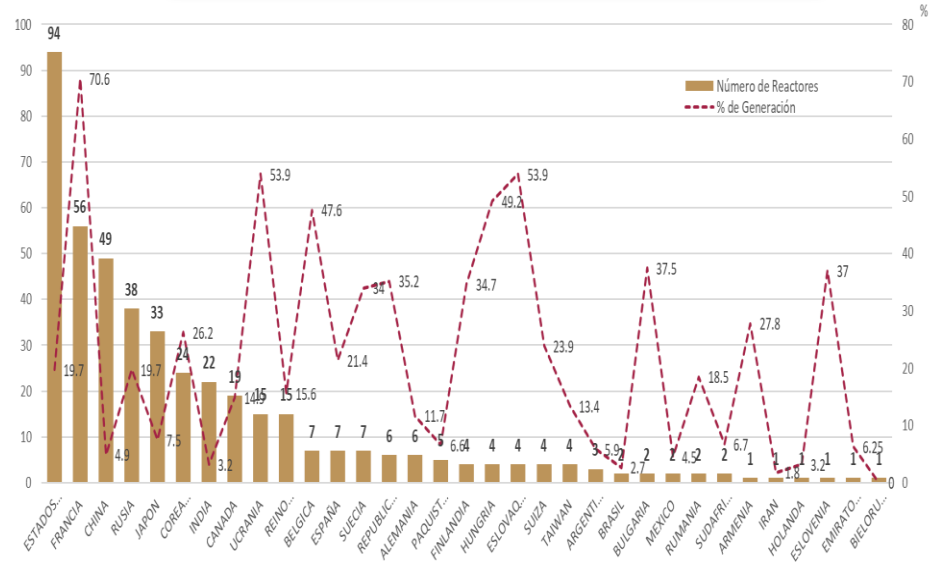
Más de un tercio de la electricidad proviene de energías limpias

- En 2019 se generaron **2,586.2 TWh** por medios nucleares
- Estados Unidos y Francia, representan el **47.5 %** de la producción nuclear mundial

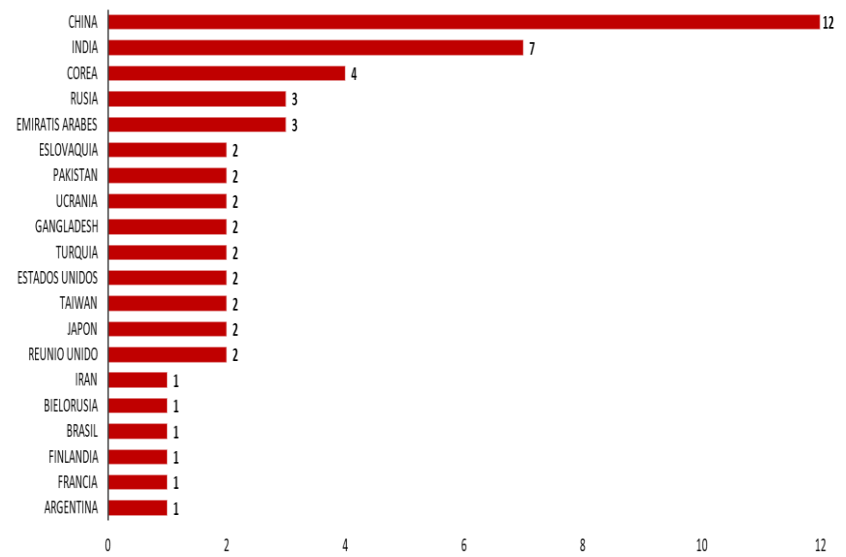


# La Industria Nuclear a Nivel Mundial

**443 Reactores Operables en 33 países**  
**Capacidad Total Instalada 393,084 MW**



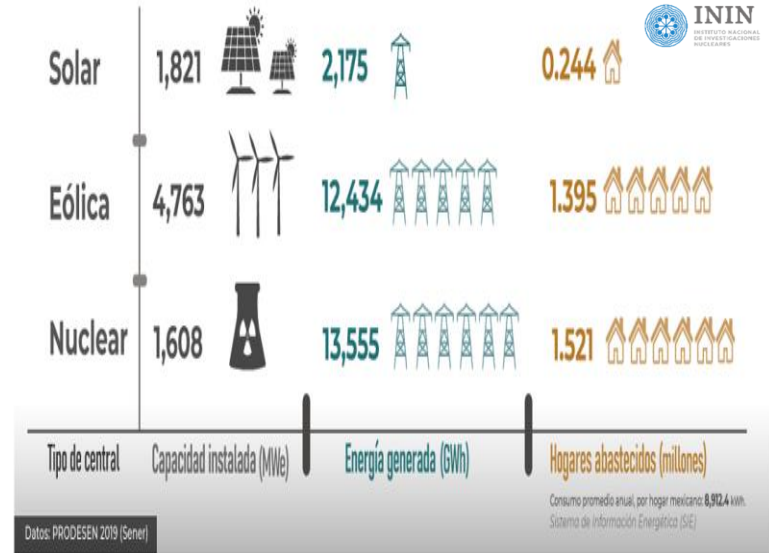
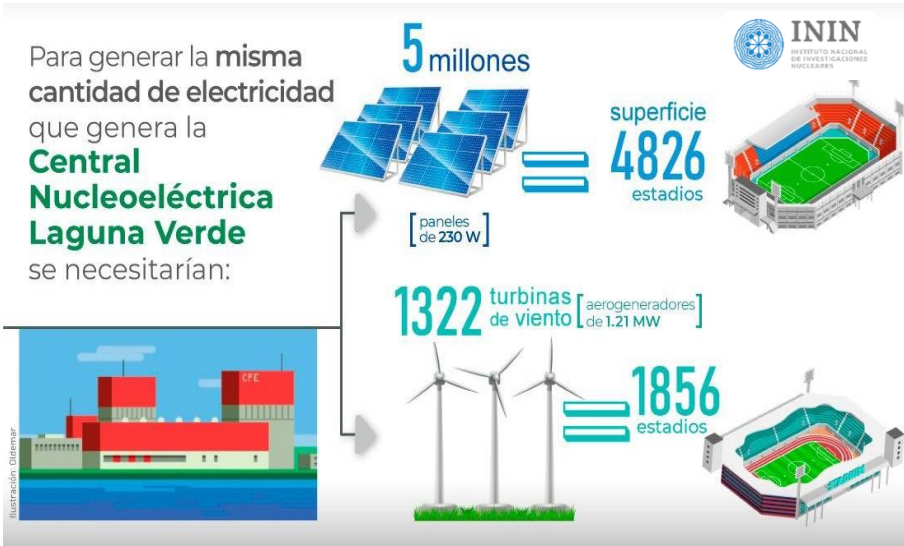
**52 Reactores en Construcción en 20 países**  
**Capacidad Total 56,272 MW**



Del **2016 – 2020** iniciaron su operación un total de **35** reactores  
 En el **2020**, 5 reactores fueron conectados a la red, 2 en China, 1 en Emiratos Árabes, 1 en Rusia y 1 en Bielorusia. El último reactor conectado a la red fue en India el 10 de enero de 2021

En el 2019 iniciaron su construcción **5** reactores  
 En el 2020 iniciaron construcción **3** reactores, 1 en Turquía y 2 en China, el último inició su construcción el 15 de octubre de 2020

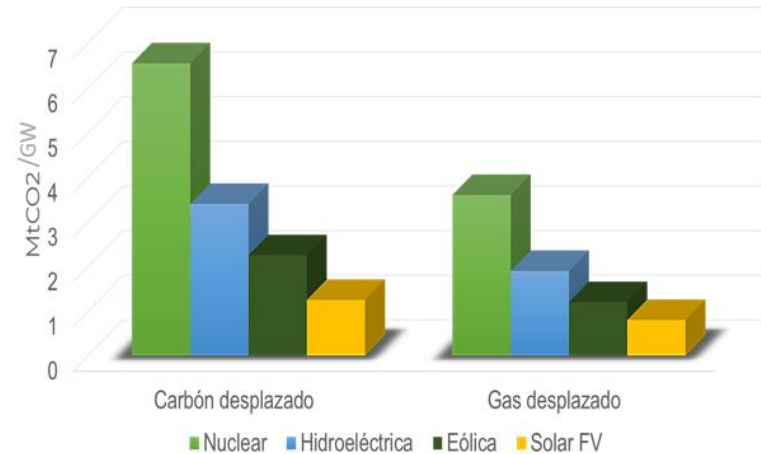
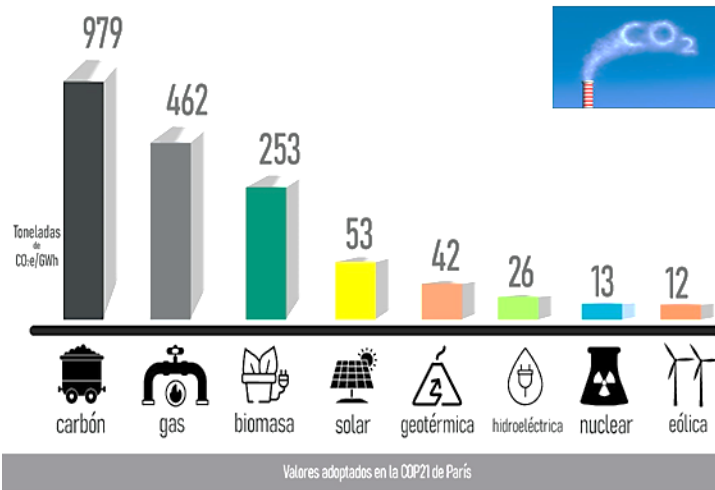
# Alto Factor de capacidad de Generación y Superficie requerida



La Administración de Información de Energía de EEUU estima que las instalaciones fotovoltaicas tuvieron en 2019 un factor de capacidad promedio de 25%, los parques eólicos de 35%, las hidroeléctricas de un 39%, las plantas de carbón de un 48%, los ciclos combinados de un 57% y **las centrales nucleares de un 93%**.



# Emisiones de CO2 durante todo el ciclo y Emisiones anuales evitadas por GW de capacidad instalada



Fuente: Edenhofer, O, et al. *Annex III: "Technology-specific costs and performance parameters. Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change"*. Cambridge University Press, (2014)

Fuente IEA 2019

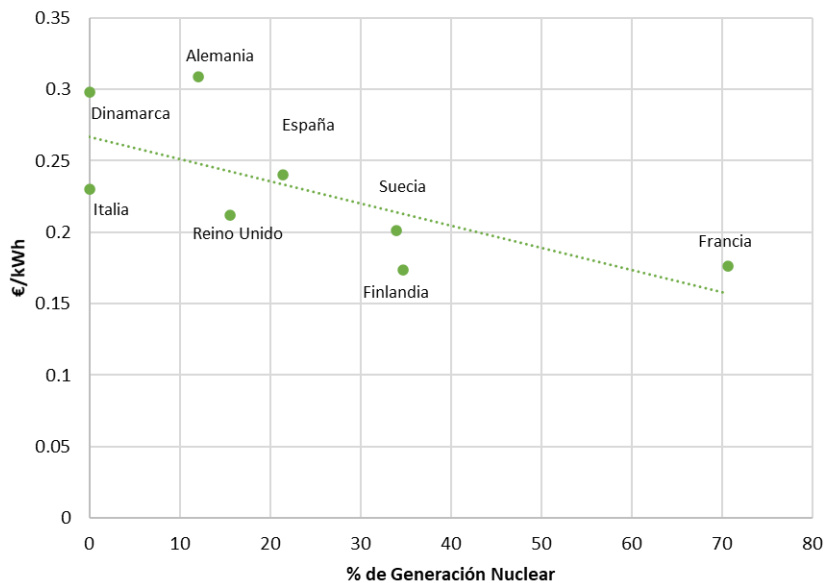
➤ La energía nuclear evita actualmente la emisión de 600 millones de toneladas de carbono al año.

➤ Todo el combustible nuclear usado producido por la industria de la energía nuclear de Estados Unidos en los últimos 60 años podría caber en un campo de fútbol a una profundidad de menos de 10 yardas

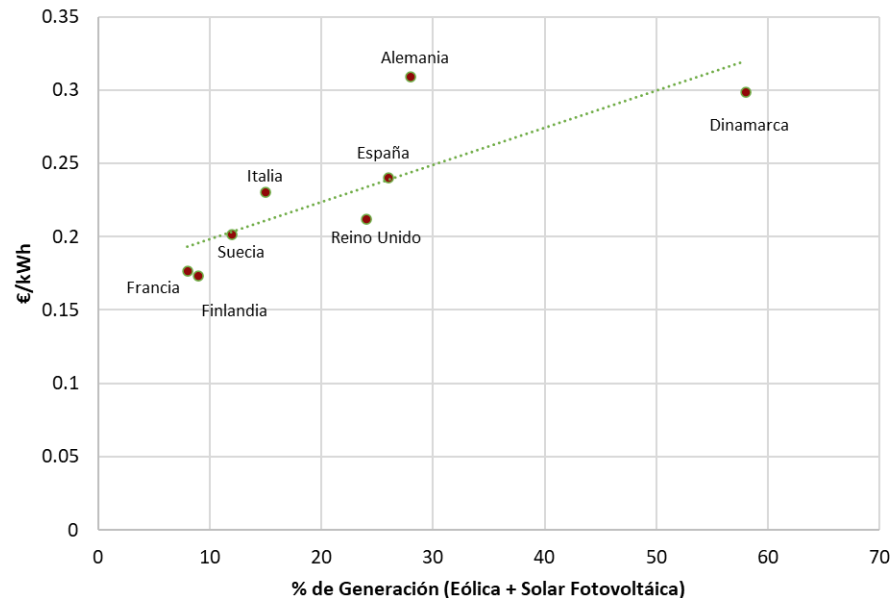
# Relación entre el % de participación nuclear y el precio de la electricidad en la Unión Europea



## Precio al usuario doméstico en función de la participación de la energía Nuclear

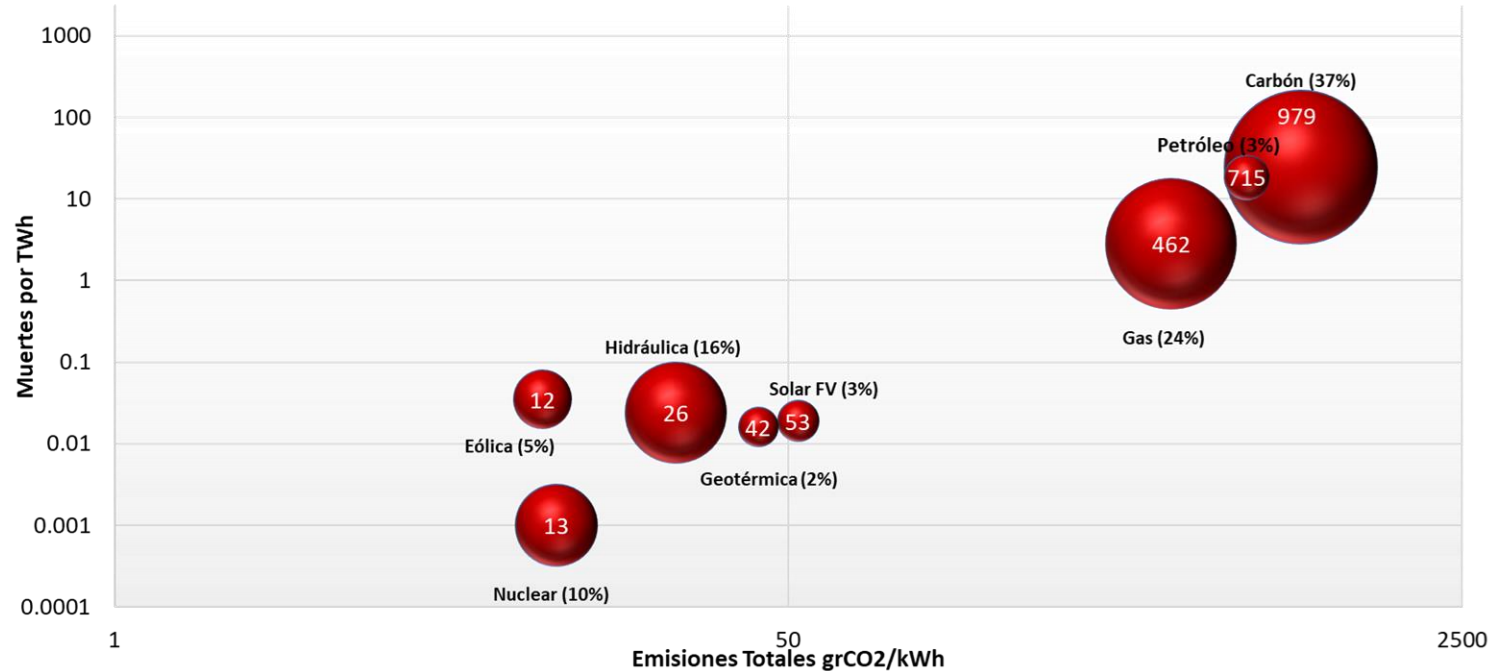


## Precio al usuario doméstico en función de la participación de la energía Eólica y Solar FV





# ¿Qué tan Segura es la Energía Nuclear?



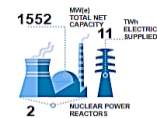
Entre paréntesis se muestra el porcentaje de generación eléctrica en el 2019



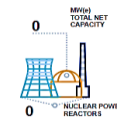


SUMMARY

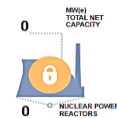
REACTORS IN OPERATION



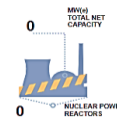
REACTORS UNDER CONSTRUCTION



PERMANENT SHUTDOWN REACTORS



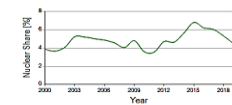
LONG TERM SHUTDOWN REACTORS



ELECTRICITY PRODUCTION SHARE IN 2019



NUCLEAR SHARE TREND



REACTORS

Name	Type	Status	Location	Reference Unit Power [MW]	Gross Electrical Capacity [MW]	First Grid Connection
LAGUNA VERDE-1	BWR	Operational	ALTO LUCERO	777	805	1989-04-13
LAGUNA VERDE-2	BWR	Operational	ALTO LUCERO	775	803	1994-11-11

Above data generated by the PRIS database. Last update on 2020-11-22

# Energía Nuclear en México

*“Nothing in life is to be feared, it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less”*

Marie Curie

# Central Nucleoeléctrica Laguna Verde



- **Dos Unidades idénticas**, cada una tiene un reactor tipo **BWR/5** de General Electric
- **La Unidad 1** inició operación comercial en **1990**
- **La Unidad 2** inició operación comercial en **1995**

## Capacidad

- La potencia original era de 1931 MWth  
(Aprox. 682 MWe total y 675 MWe efectiva por unidad)
- En 1999 aumentó la potencia de ambas unidades al 105%, quedando en 2027 MWth  
(Aprox. 690 Mwe por unidad)
- En 2015 aumentó la potencia de ambas unidades al 120% de la potencia original, quedando en 2317 MWth,  
(Aprox. 805 MWe por unidad)

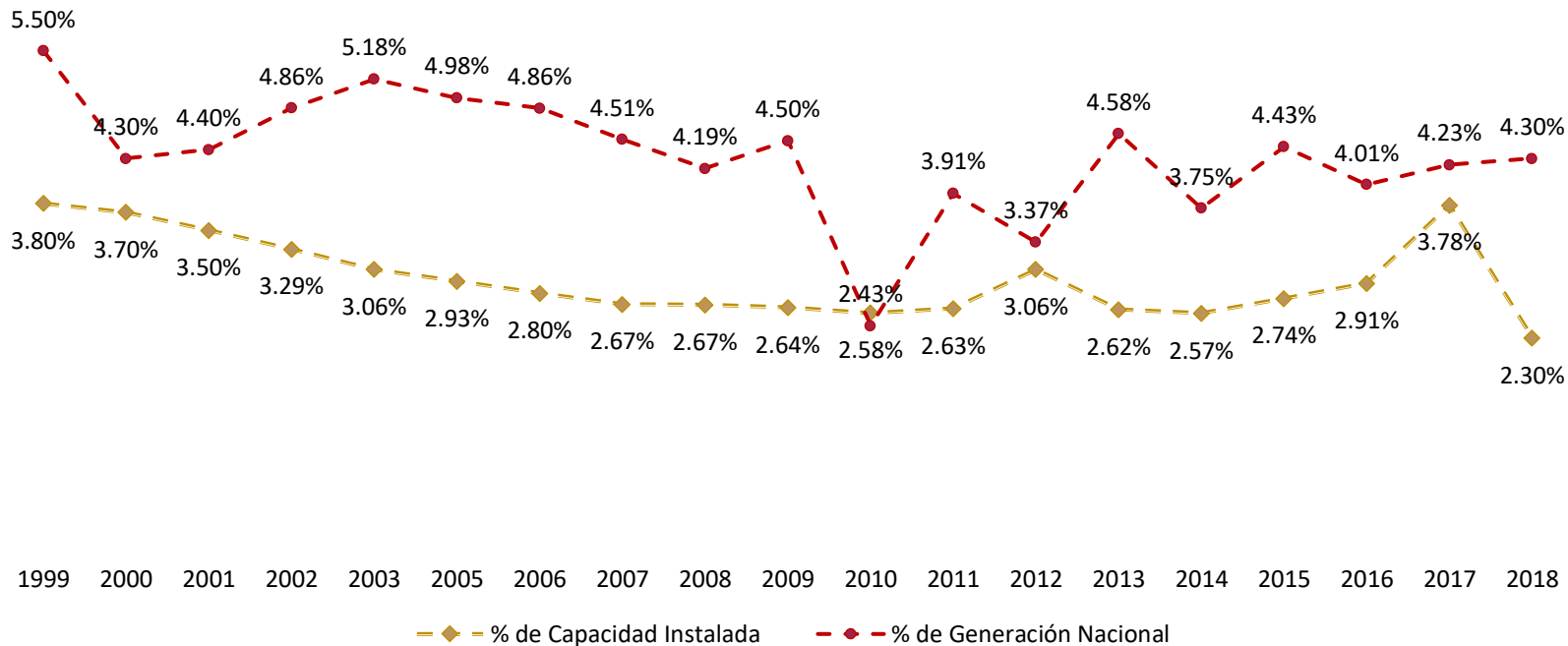


**El 24 de julio de 2020, la Unidad 1 de la CNLV cumplió 30 años de operación**

**El 25 de julio de 2020, renovó su licencia de operación por otros 30 años**

**2020 La U1 tuvo su mejor ciclo operativo al acumular 532 días conectados al Sistema Eléctrico Nacional**

# Participación de Laguna Verde en el Sistema Eléctrico Nacional



En el 2018 la CNLV evitó la liberación de 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> lo que representa casi un 10% de las emisiones totales en el sector eléctrico nacional



# Generación Limpia No Renovable 2018-2020

Tecnología/fuente de energía	2018	2019	2020 <sup>v</sup>
Nucleoeléctrica	13,200.33	10,880.73	9,603.90
% respecto a la generación neta	4.2%	3.4%	3.6%
Frenos regenerativos	3.60	3.60	0.00
Cogeneración eficiente <sup>2/</sup>	2,362.99	3,301.15	3,138.77
% respecto a la generación neta	0.8%	1.0%	1.19%
Limpias no renovables	15,566.92	14,185.48	12,742.68
<b>% de energías limpias no renovables respecto a la generación neta total</b>	<b>4.98%</b>	<b>4.43%</b>	<b>4.82%</b>

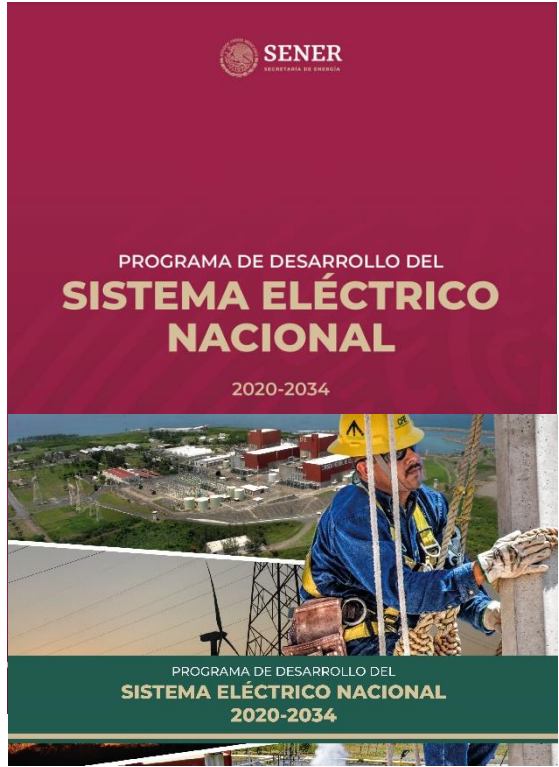
<sup>v</sup> Generación neta de la CFE y el resto de los permisionarios, enero-octubre 2020

<sup>2/</sup> Se considera el porcentaje de energías libres de energías fósil acreditado por unidades de verificación y registradas por la CRE. Incluye Abasto Aislado

Fuente Prodesen 2020-2034

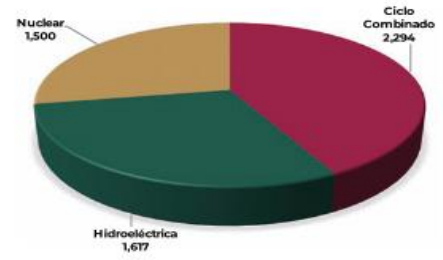
La energía nuclear representa casi el 80% de la generación limpia no renovable

# PRODESEN 2020-2034



**6**  
 Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE)

Figura 6.2. Adiciones de capacidad en MW de 2025 a 2031 de proyectos estratégicos



Fuente: SENER

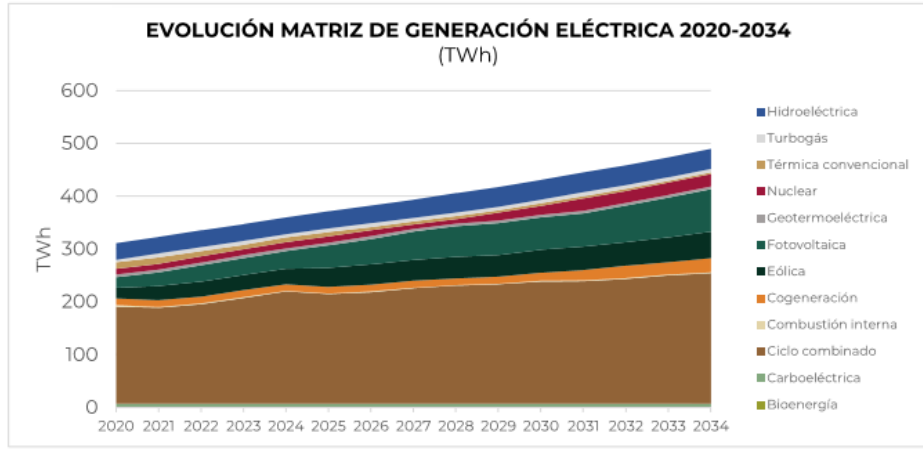


Figura 3. Matriz de generación eléctrica proyectada a quince años.

Fuente: SENER con información de CENACE 2020

Se propone adicionar 1500 MW de Capacidad Nuclear al 2031

Fuente Prodesen 2020-2034

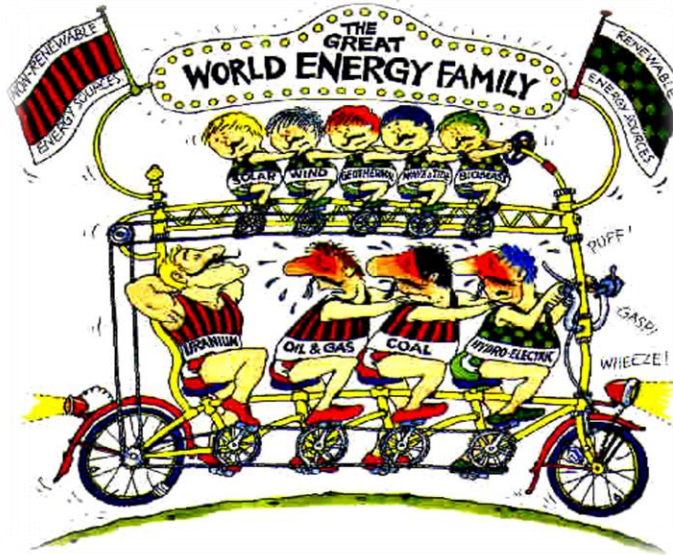


# La Energía Nuclear ...

---

- ... es una energía limpia y sustentable, que evita contaminar el aire que respiramos
- ... es un socio complementario a las energías renovables
- ... es capaz de generar 24/7, pero también puede funcionar con flexibilidad si se requiere
- ... es primordial en la descarbonización de los sectores transporte, industria y calor
- ... proporciona isótopos y apoyo para la medicina, industria y agricultura
- ... debería ser considerada como parte estratégica en la Transición Energética
- ... es un candidato ideal para incrementar su capacidad instalada en el Sistema Eléctrico Nacional
- ... tiene capacidades de desalación de agua, que deberían ser aprovechados en zonas con alto estrés hídrico en nuestro país

**El compromiso de reducir las emisiones y mantener un 35% de generación eléctrica mediante energías limpias, no será fácil de cumplir si la energía nuclear no juega un papel importante dentro del portafolio de generación eléctrica.**



Muchas Gracias por su Atención

# Development of wind energy in Mexico

**By Dr. Rafael Escarela Pérez**  
**Universidad Autónoma Metropolitana**

*Marzo, 2021*

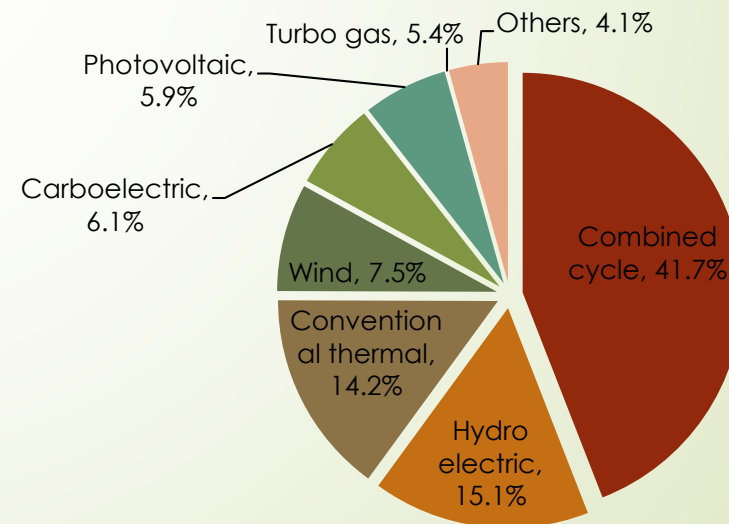


# Renewable energy sources

2

- ▶ Mexico is blessed with both fossil fuel and RES.
- ▶ The power generated from renewable energy is very low in Mexico despite the 3.4 % increase in energy demand annually.
- ▶ Only 1.35 % of the population was not having access to electricity in 2018.

Power generation from RES is the best option for them, as it is neither technically nor economically feasible to connect them to the grid.

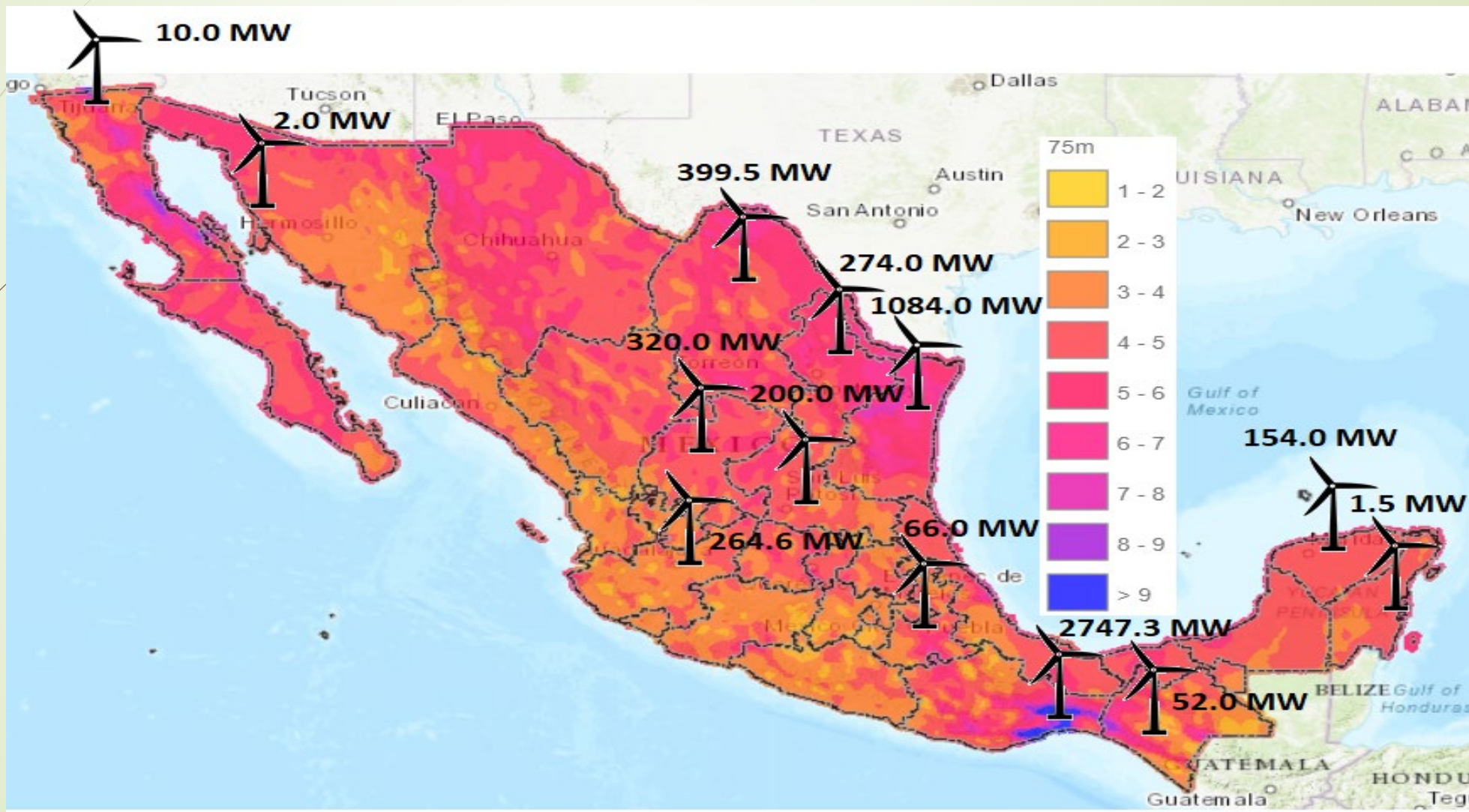


# Wind energy potential in Mexico

3

- Mexican states are ideal locations for wind turbine installation for they have wind speeds ranging from 3 to 10 m/s at 120 m height.
- Mexico is renewable energy rich country known to possess 6000 MW of wind energy resources.
- Wind in Mexico has a periodical component, according to a study carried out from 2000 to 2008.

# Projects under operation



# Nodal Method

## Frequency Domain

Thus the VCR can be transformed into a building block:

$$\begin{bmatrix} y_a & -y_a \\ -y_a & y_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_p \\ v_q \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} i_p \\ i_q \end{Bmatrix}$$



The final system of equations can be simply written as

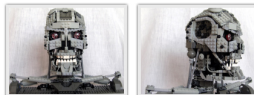
$$Yv = i$$

- $Y$  is known as the system admittance matrix.

# The Modified Nodal Analysis

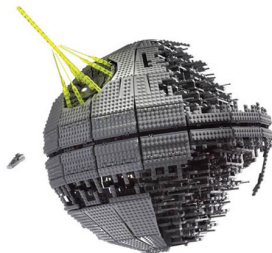
## MNA

- Incorporation of VCR relations as additional equations.
- Injection of the element currents to nodes.
- Total elimination of the nodal method limitations with the advantage of keeping one of its main attributes: Building Block Construction.



# The Modified Nodal Analysis

## MNA



The MNA always gives:

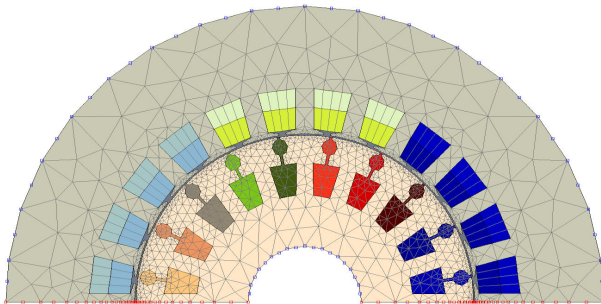
$$\begin{bmatrix} Y & \mathcal{A} \\ \mathcal{B} & \mathcal{D} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v \\ i_e \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} i \\ f_v \end{Bmatrix}$$

- $Y$  is constructed in the usual way.
- *Non-natural* elements are erased from the  $Y$  building process.

# Induction motor coupled to circuits

## Quasi 3D FE model

- The test case involves the time-harmonic non-linear operation of a squirrel cage induction motor.
- It is a two-pole, 7.5 kW, 380 V, 50 Hz, three-phase star connected motor.



**Figure:** 7235 nodes and 3464 second order elements (triangular and quadrilateral).

# Circuits

## Stator and rotor

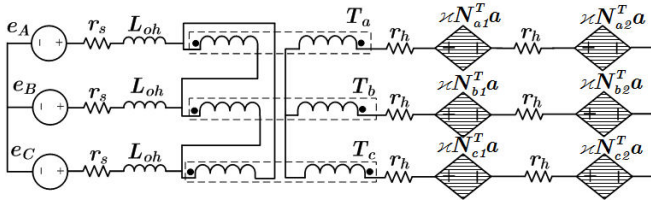


Figure: Stator connections.

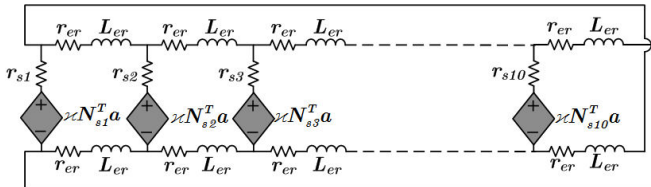
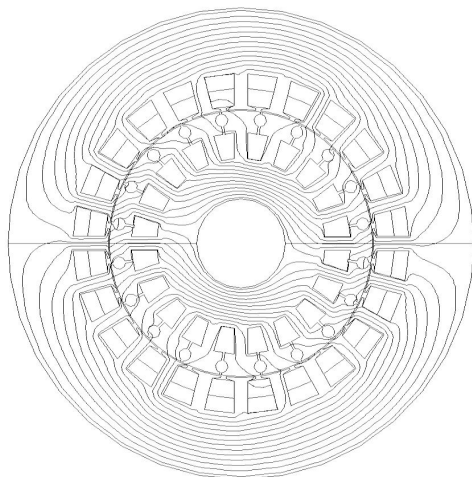


Figure: Rotor connections. Antiperiodic boundary conditions are considered.





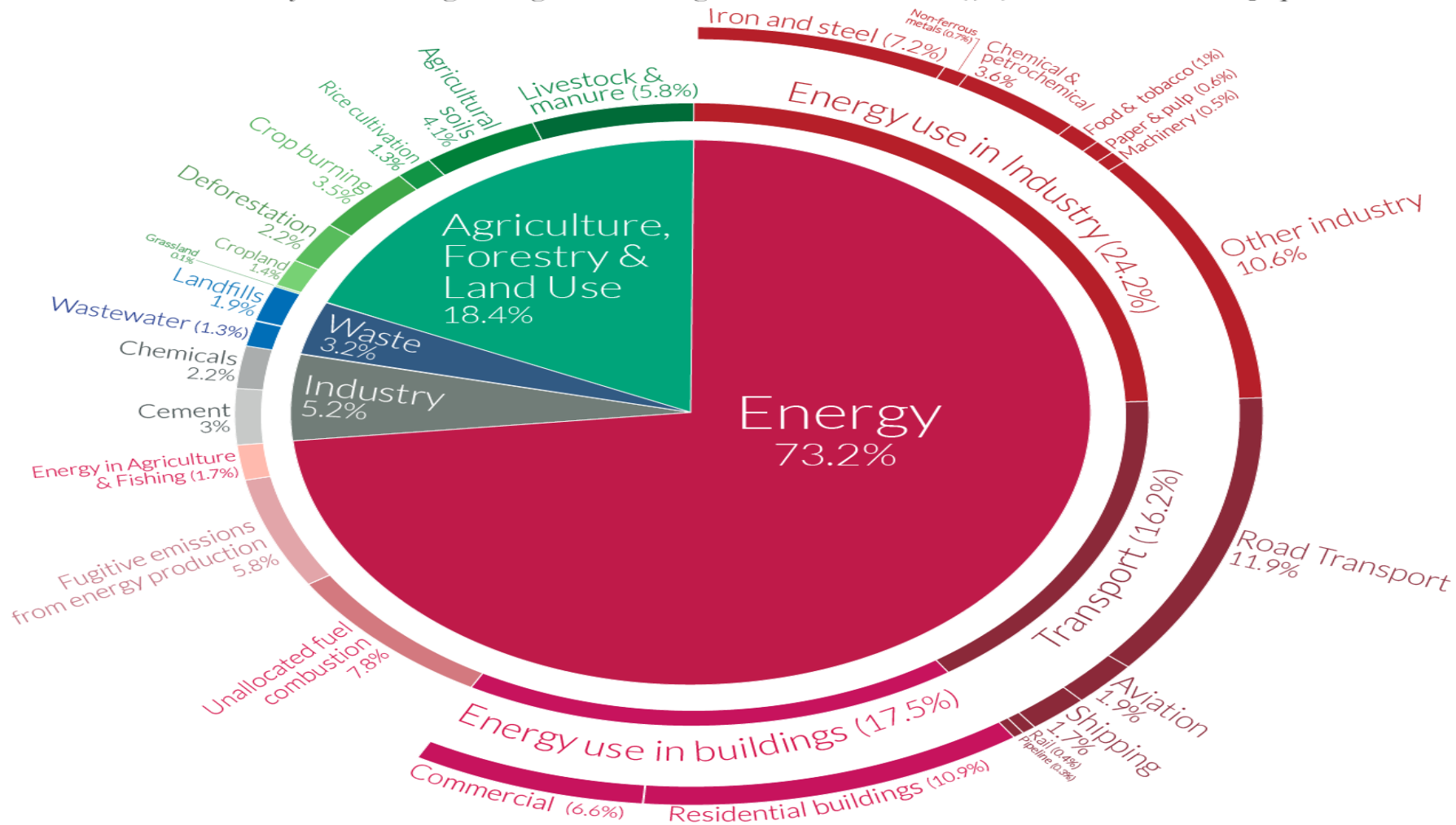
Flux Plot: Rated Operating Condition.

# Energía solar: Dr. Jorge Alberto Rosas

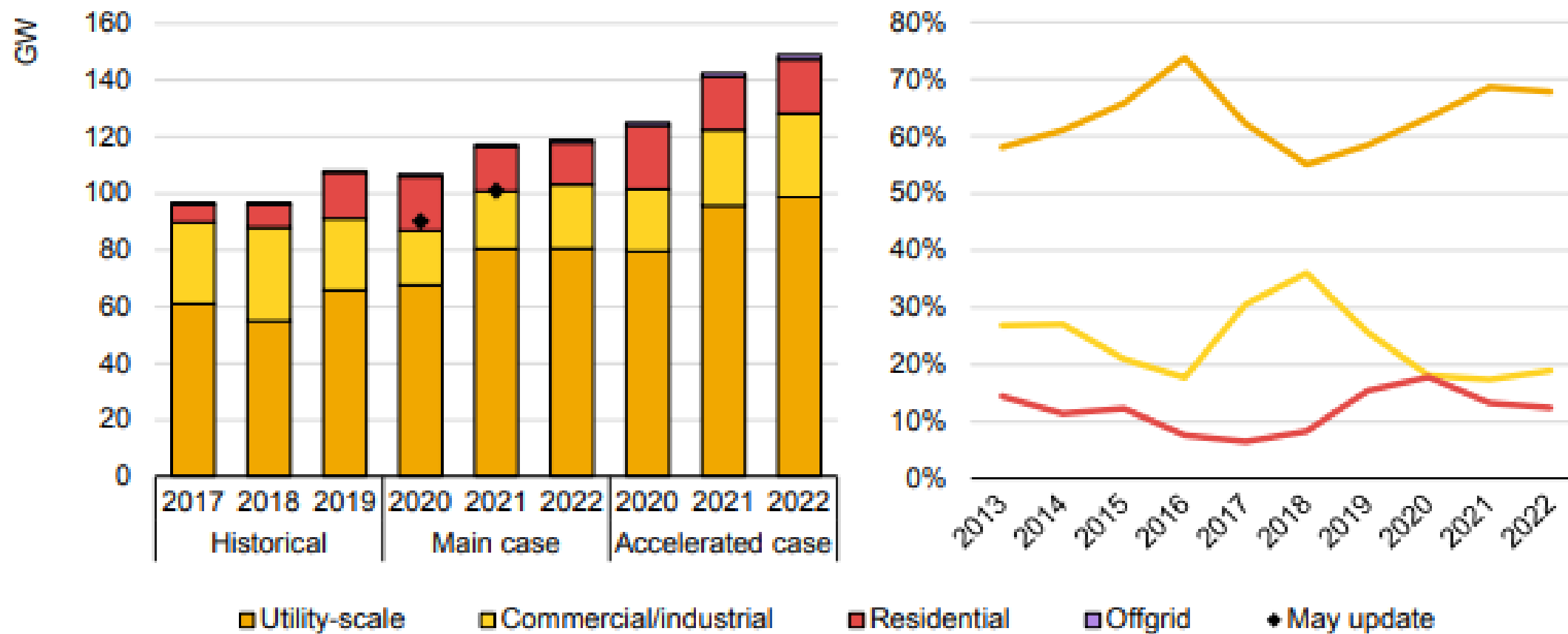
## Global greenhouse gas emissions by sector



This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO<sub>2</sub>eq.



# Uso de paneles fotovoltaicos a nivel mundial

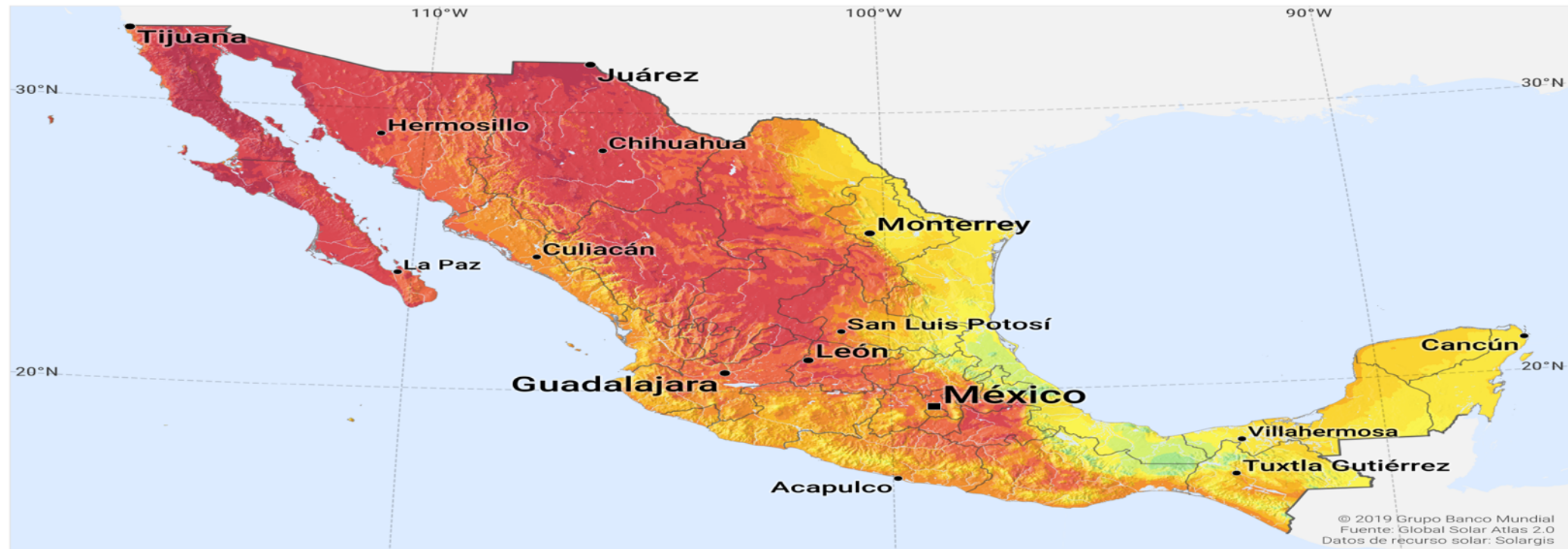


# Recurso solar en México

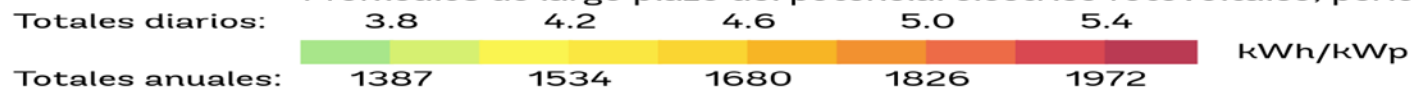
MAPA DE RECURSO SOLAR

**POTENCIAL ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO**

**MÉXICO**

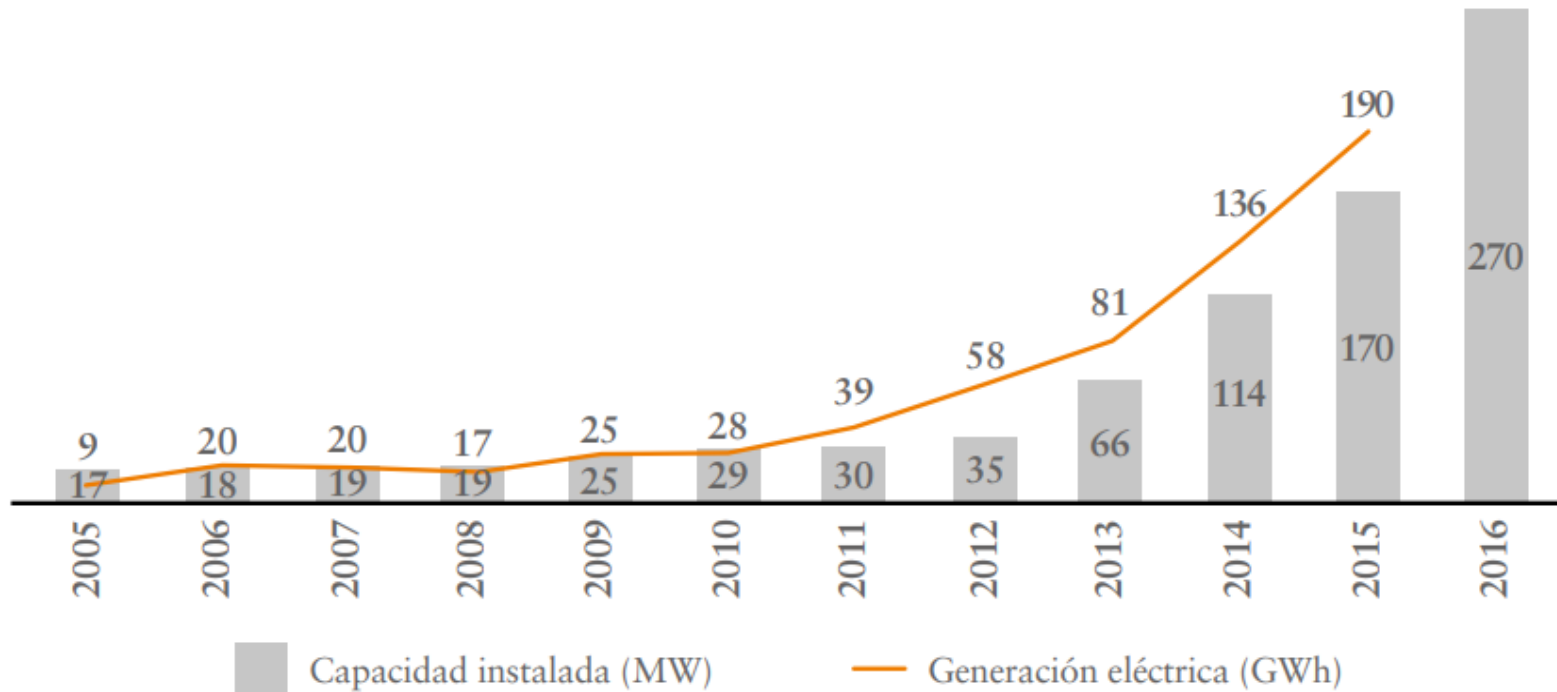


Promedios de largo plazo del potencial eléctrico fotovoltaico, periodo 1999-2018



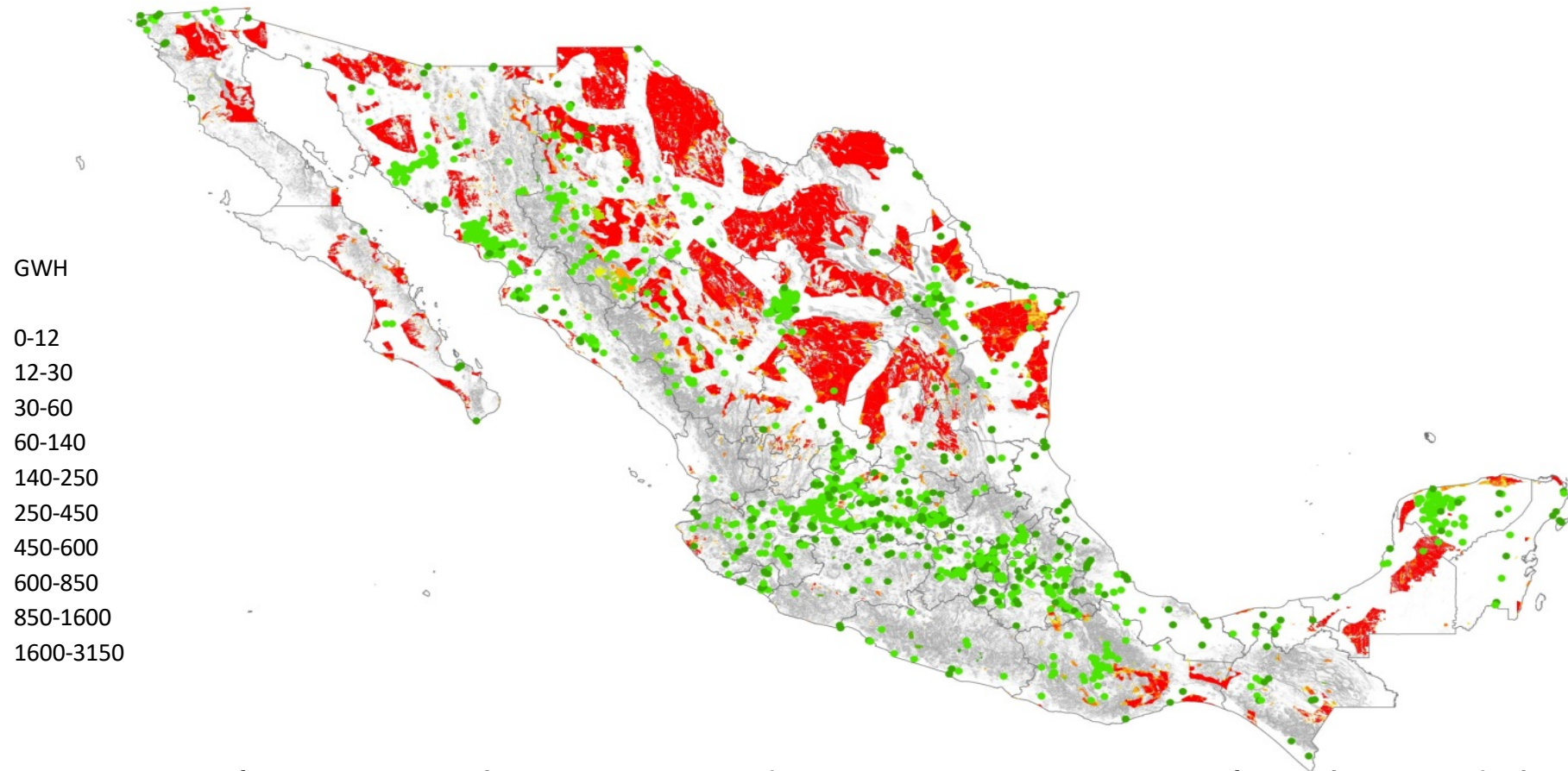
Este mapa está publicado por el Grupo Banco Mundial, financiado por ESMAP, y preparado por Solargis. Para más información y términos de uso, por favor visite <http://globalsolaratlas.info>.

# Mexico: Evolución de la capacidad y generacion de energía fotovoltaica



Fuente: Elaborado por GIZ con información de la CRE y SENER

# Potencial de generación



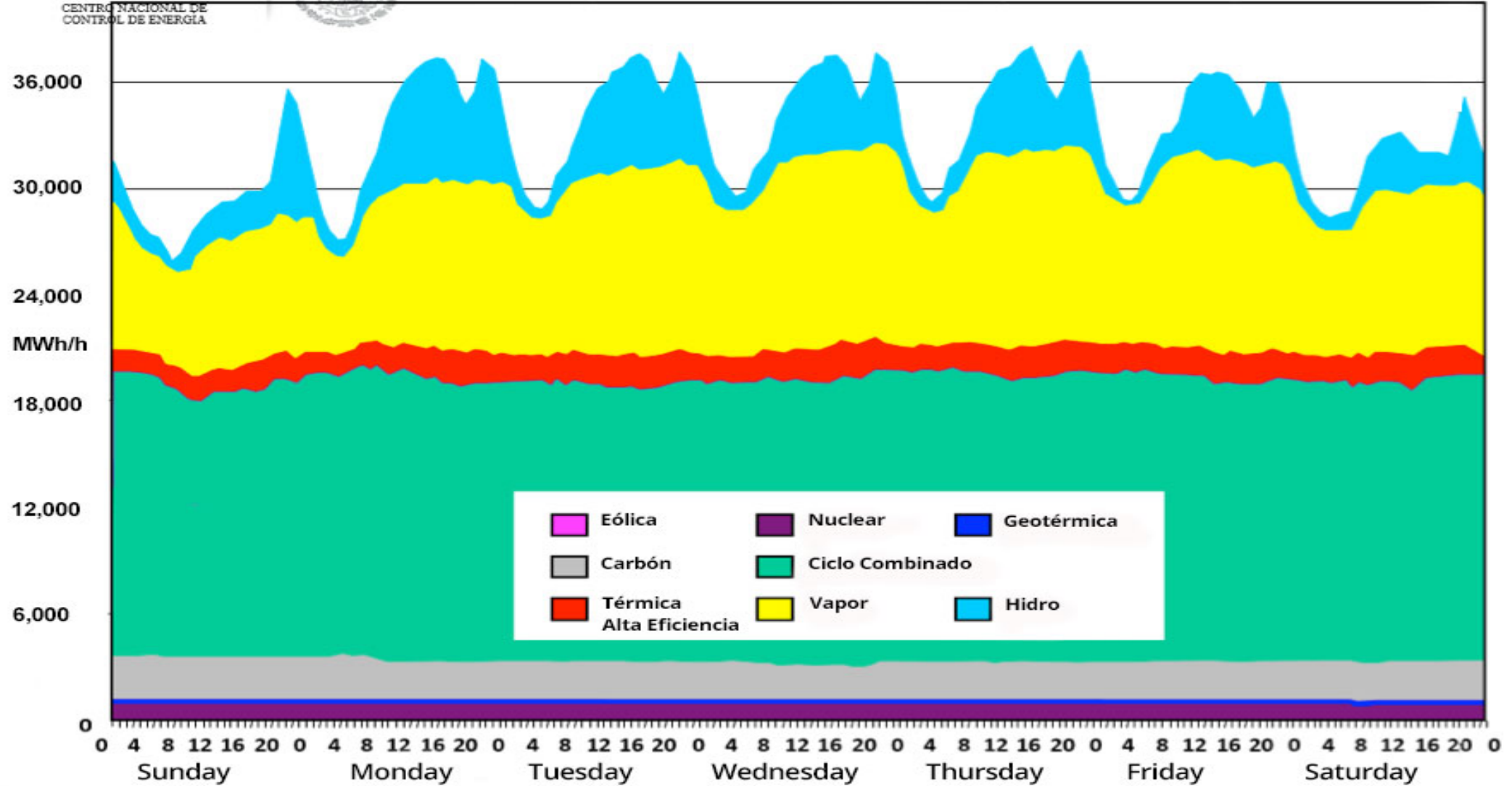
La energía potencial que se puede generar con energía solar es del orden de 3 veces la requerida por año actualmente

CENACE

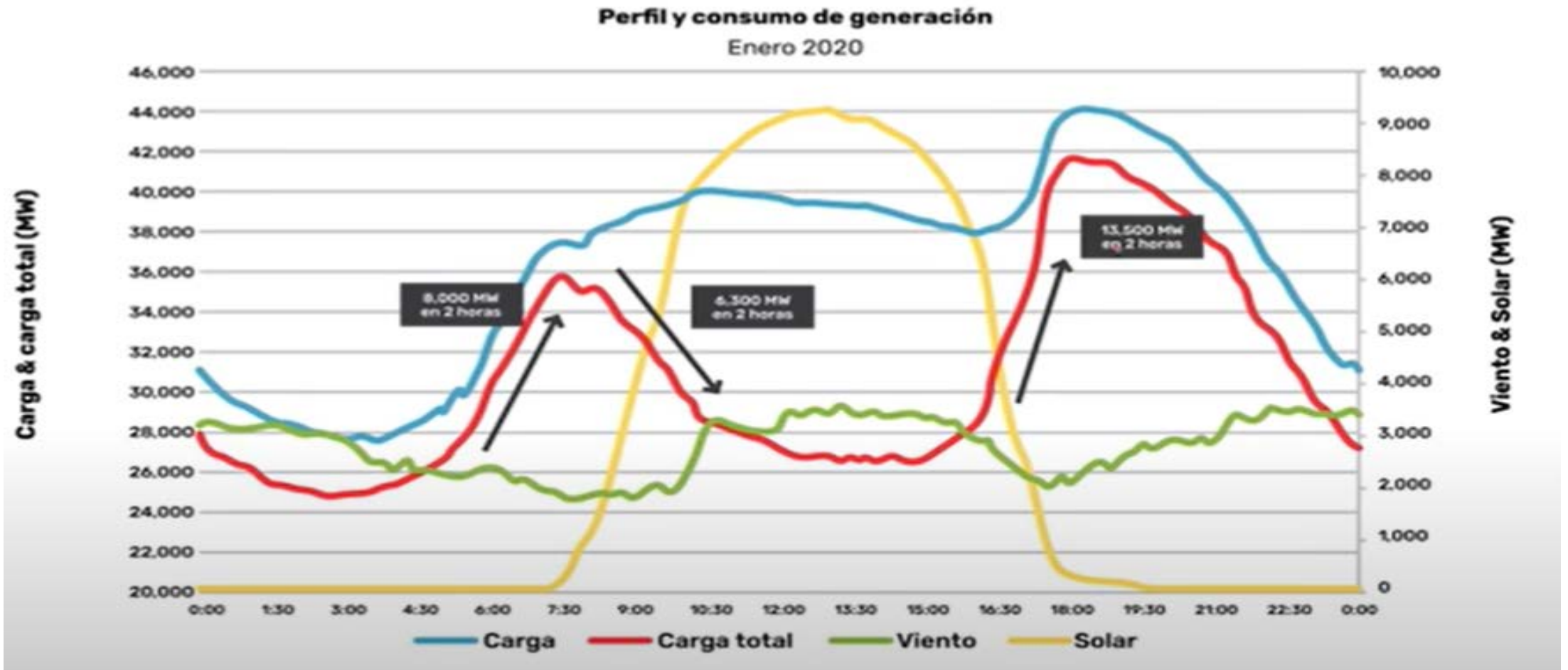
CENTRO NACIONAL DE CONTROL DE ENERGÍA



## Despacho de Generación por Tecnología



# Curva de demanda horaria





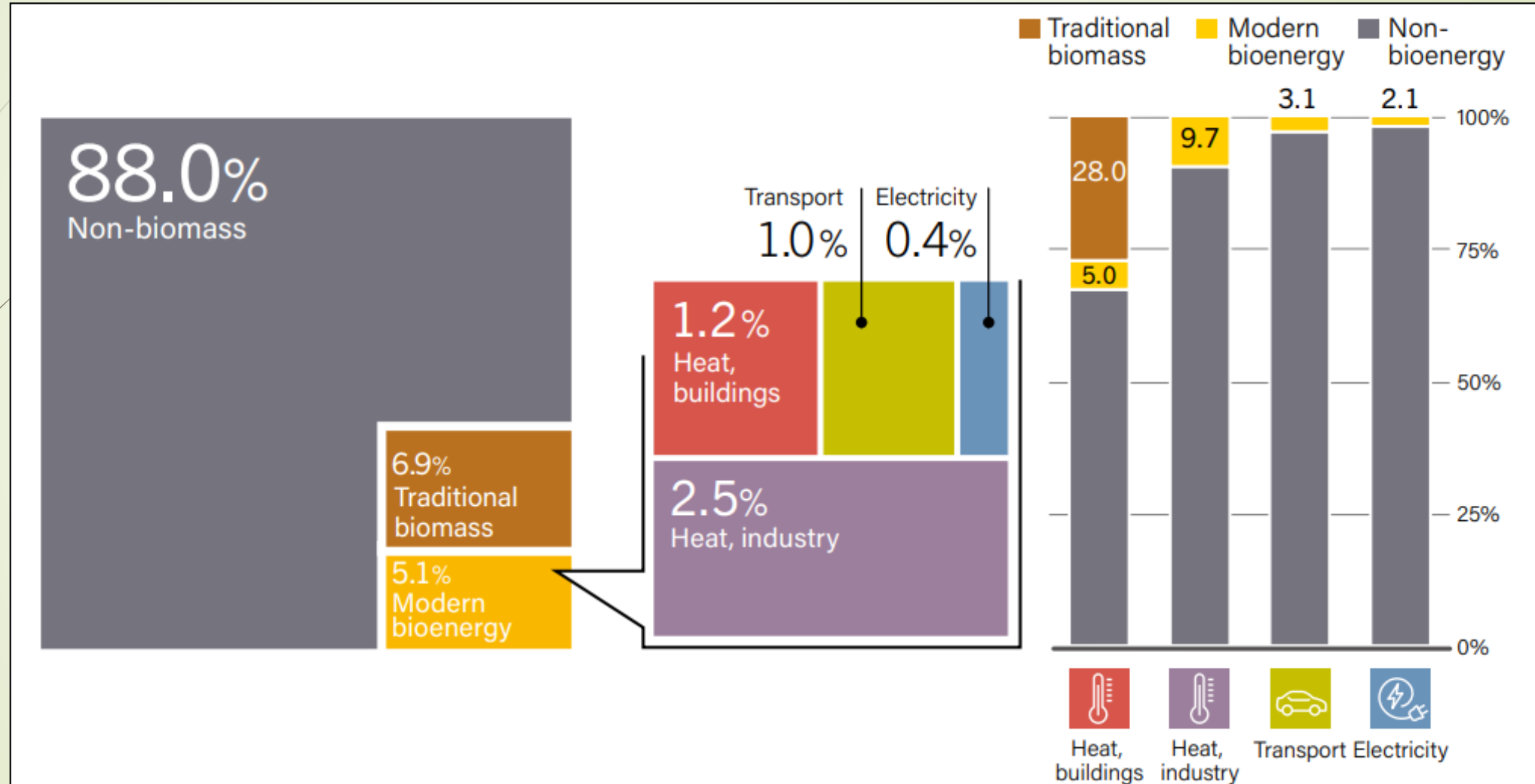


# La biomasa en México como alternativa para la generación de energía eléctrica.

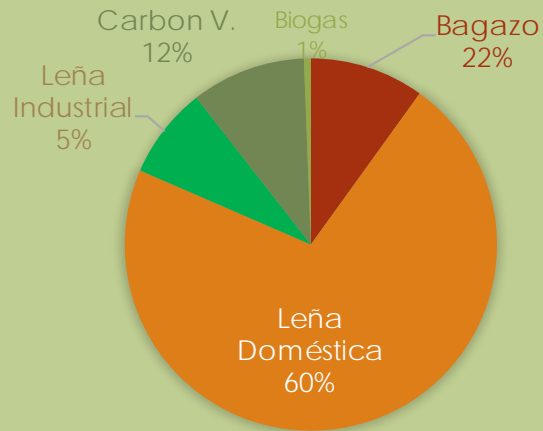
**Dr. Raúl Tauro**

ENES-UNAM

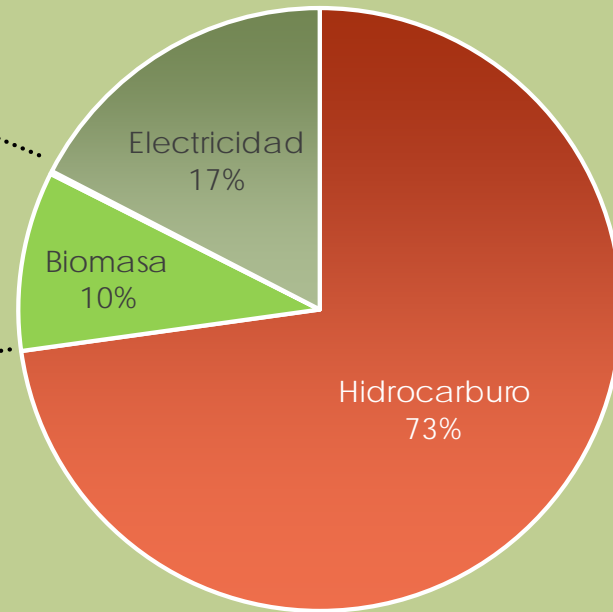
# La Bioenergía en la ME internacional



# Importancia de la Biomasa en México

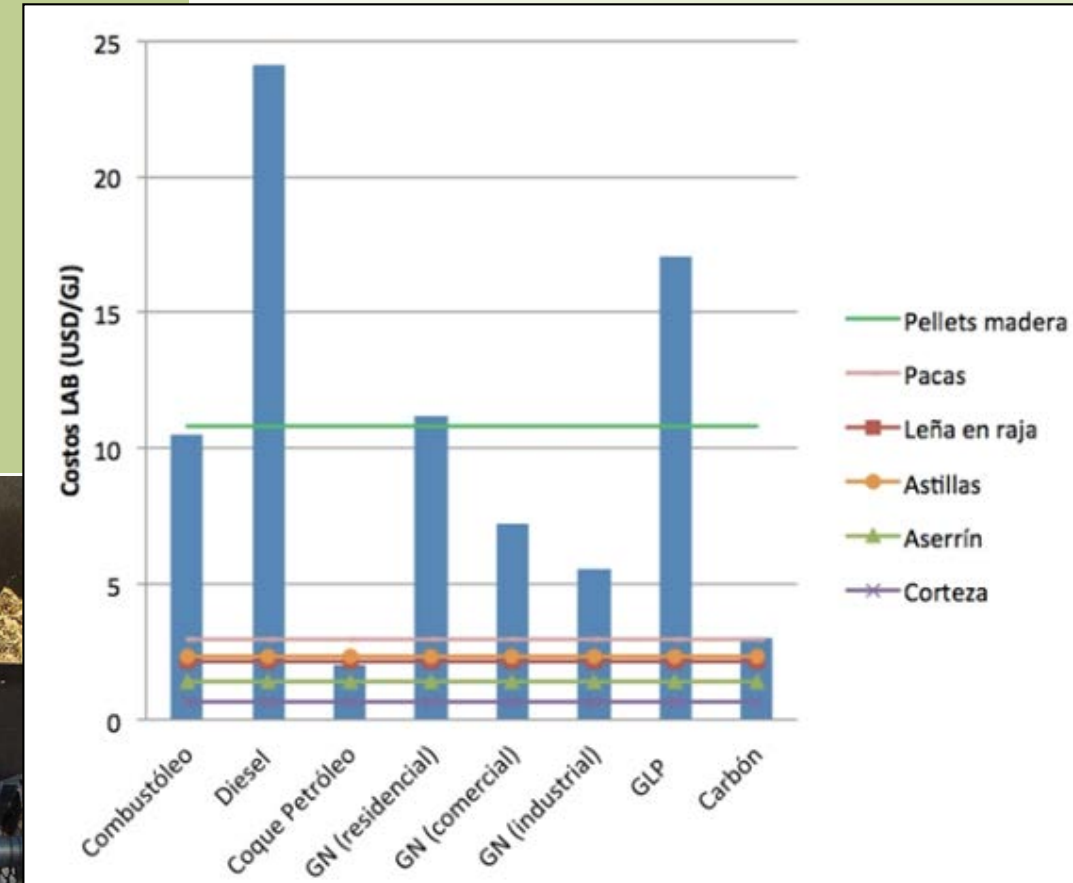


Uso actual de BCS 480 PJ

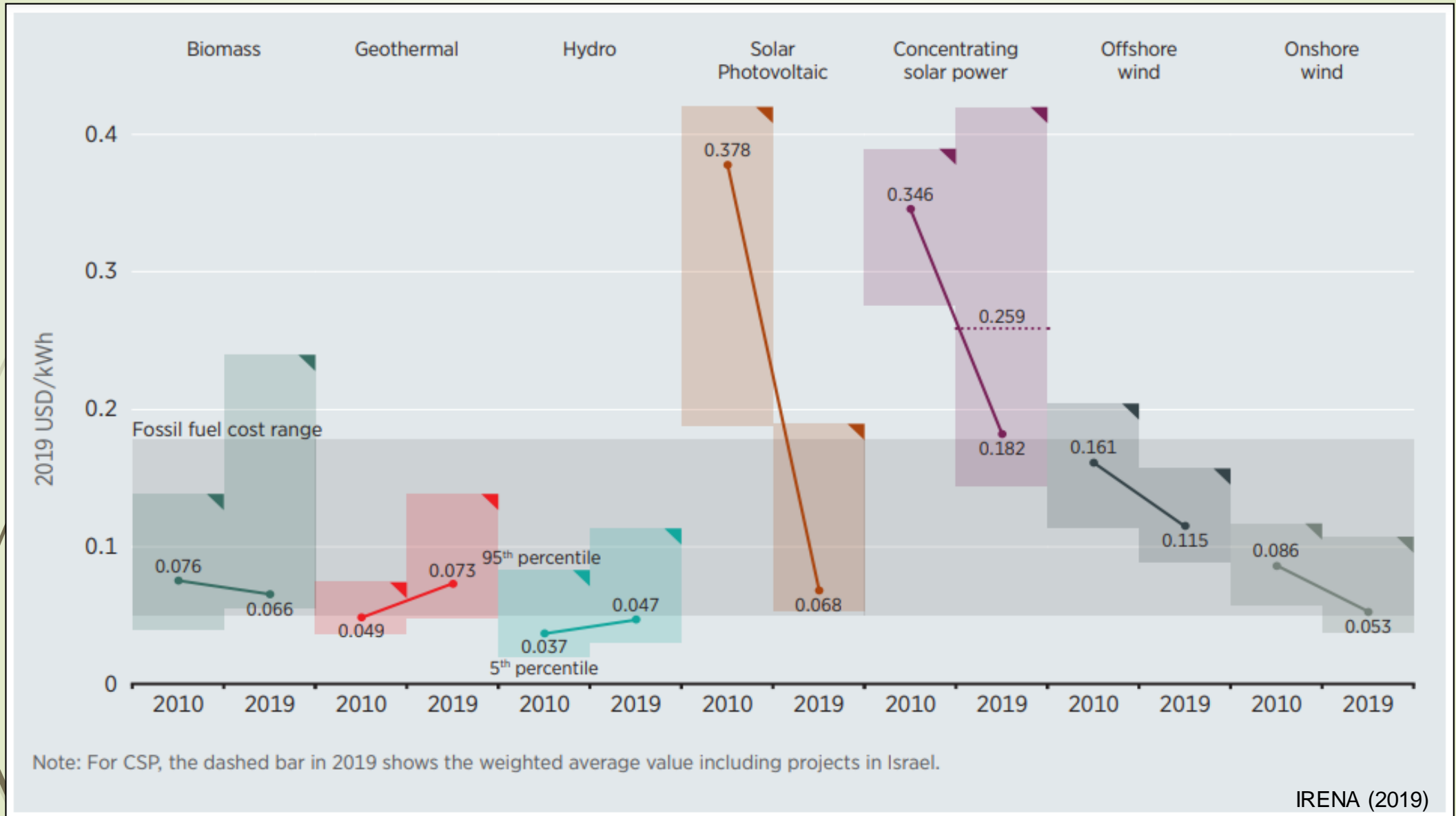


Demanda energética Total 4,895 PJ

## Comparación de costos biomasa vs CF



# Costo nivelado promedio de generación eléctrica a nivel global



# Generación eléctrica: casos de éxito y oportunidades

## Biogás

- Generación neta 133 GWh = 0.04% energía producida (PRODESEN 2020-2034)
- Altamente viable para mitigación cambio climático
- Potenciales usos en granjas, establos y rellenos sanitarios municipales, cultivos.
- Desafío tecnológico

## Biocombustibles sólidos

- Cogeneración en industria de la madera (500 kW)
- Biomasa potencial: corteza, recortes, residuos agroindustriales.
- Posibilidades de potenciar la industria nacional (fabricantes de equipos).
- Desafío en costos logísticos y aspectos legales.

## Oportunidades

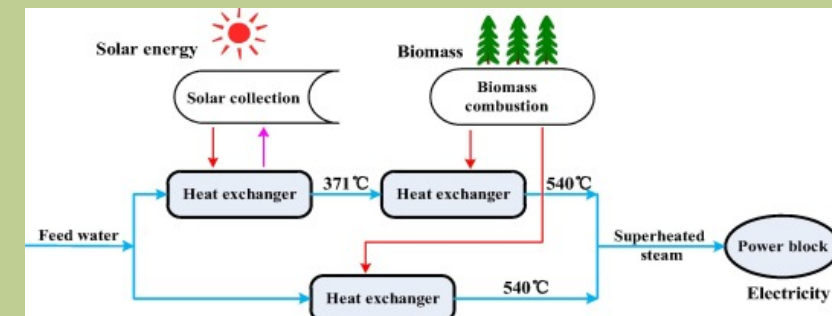
- Proyectos locales descentralizados beneficiando el sector rural.



La planta de cogeneración se abastecerá con residuos sólidos forestales provenientes de la operación de las diferentes empresas de Grupo SEZARIC.

Inauguran en empresa forestal de Durango primera planta de cogeneración de energía con biomasa

© 27 noviembre, 2018 Carrusel, Durango, Estatales, Newsletter Deja un comentario 767 Vistas



# Gracias



Dr. Raúl Tauro [rjtauro@gmail.com](mailto:rjtauro@gmail.com)

# ESTADO Y PERSPECTIVAS DE LA ENERGÍA LIMPIA EN MÉXICO

## ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

**M.I. Ana A. Palacios Fonseca**

Subcoordinación de Planeación hídrica

Coordinación de Hidrología

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA

SEMARNAT

*C.H. La Yesca, Nayarit*

*750 MW*

*Gen. 1,413 GWh*

# Energía hidroeléctrica

Para generar energía hidroeléctrica se construye una presa mediante la cual se regulan los escurrimientos del río y se produce un desnivel. Esto permite garantizar cierto gasto,  $Q$ , y cierta carga de agua,  $H$ , en un instante determinado.



Presa Manuel Moreno Torres "Chicoasén"

Fuente. CONAGUA

C.H. Chicoasén, Chiapas

2,400 MW

## Tipos de aprovechamientos hidroeléctricos

1. Desviando el agua de un cauce y conduciéndolo hasta un sitio adecuado para después bajar bruscamente hasta la turbina, a la casa de máquinas y el generador.



Fuente: Small Hydro Power : China's Practice over 100 Years. International Centre on Small Hydro Power (ICSHP)



Fuente: VOITH. StreamDiver®

2. Se construye una presa en un lugar identificado en el cauce natural, generando un almacenamiento de agua y elevando así el nivel hasta obtener una carga hidráulica necesaria.

### *Run-of-river type*

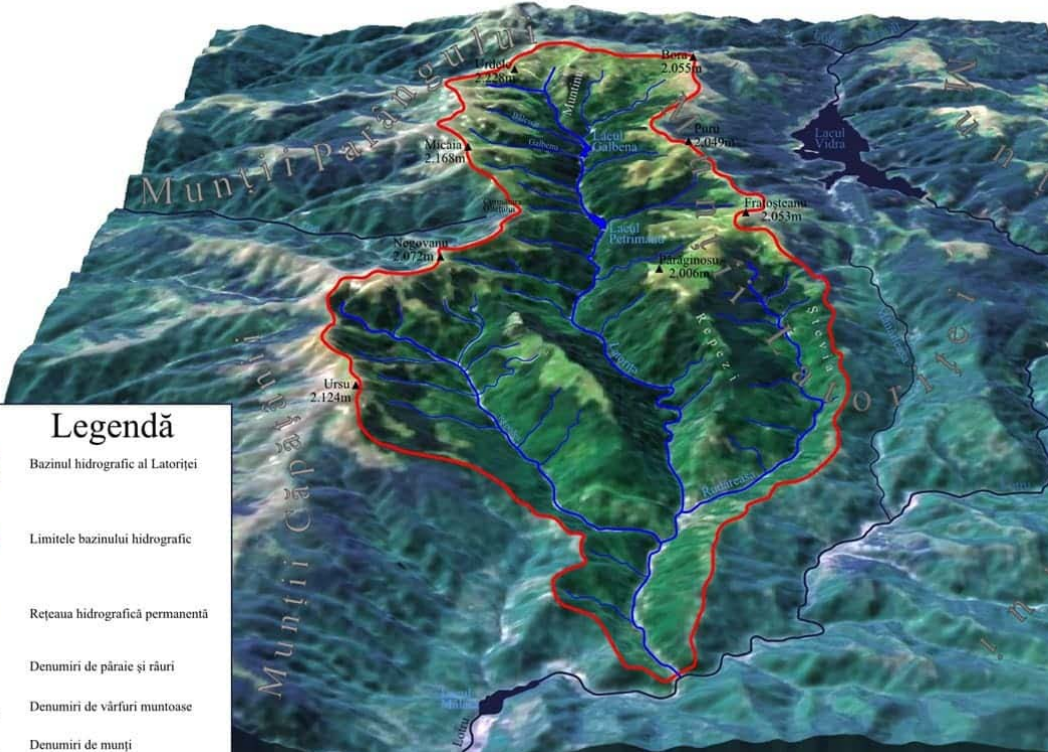
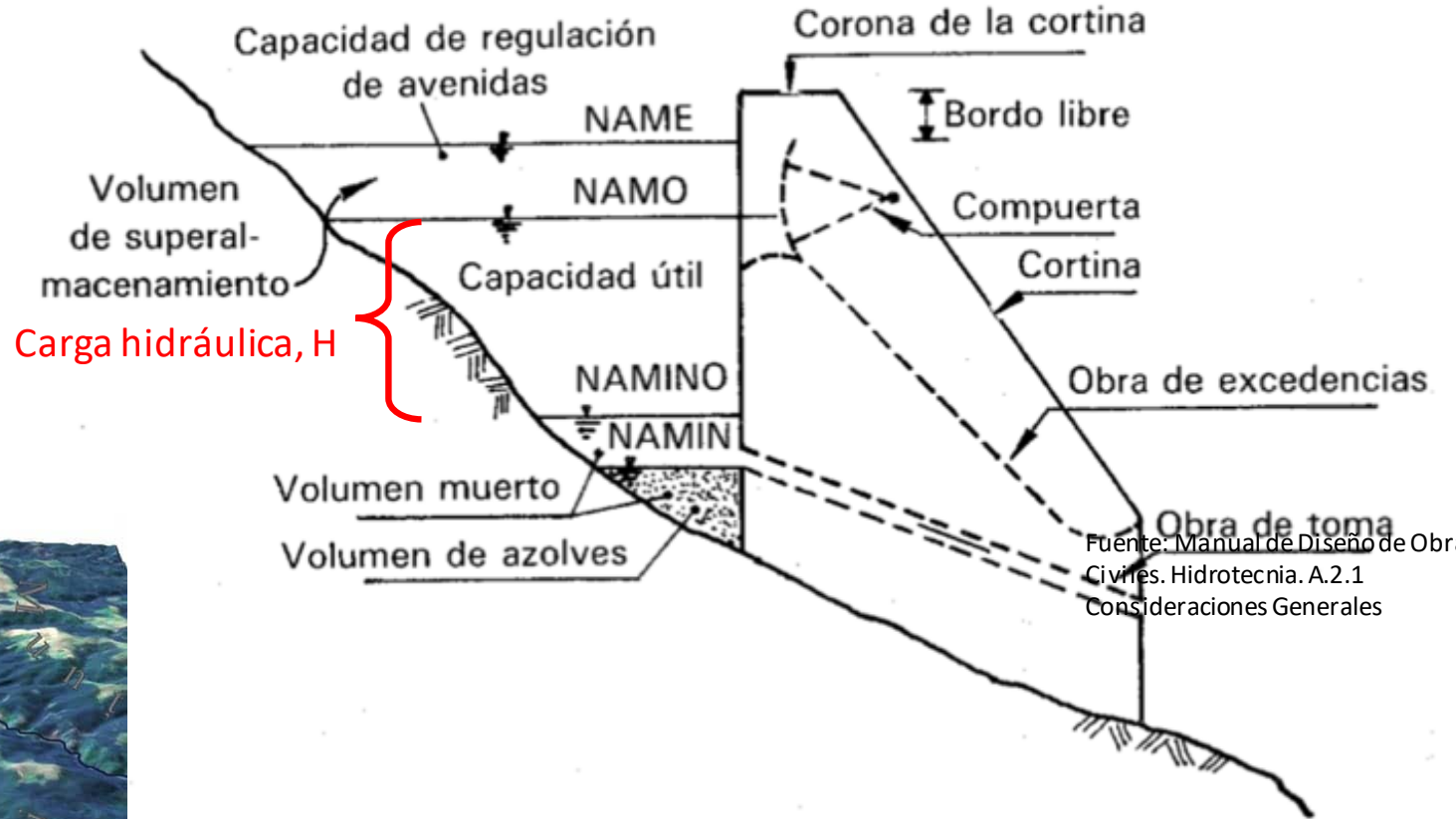


Fuente: Small Hydro Power : China's Practice over 100 Years. International Centre on Small Hydro Power (ICSHP)



# Elementos que componen una presa y sus variables hidrológicas

Una presa o el embalse se compone de las siguientes estructuras principales: **vaso**, **cortina**, **obra de toma** y **obra de excedencias** (vertedor).



Se requiere conocer sus variables hidrológicas:

Fisiografía de la cuenca, la infraestructura hidráulica existente, información hidrométrica (redes de medición del escurrimiento en la cuenca: niveles y gasto) y climatología (precipitación, evaporación y temperatura).

# Potencia y Generación

La Potencia instalada en cualquier central hidroeléctrica se mide en MW y está dada por la siguiente expresión:

$$\bar{P} = \gamma * \bar{Q} * Hb * \eta s * 9.81$$

Donde:

$\bar{P}$  = Potencia media, en kW;

$\bar{Q}$  =Gasto medio aprovechable, en m<sup>3</sup>/s;

$\gamma$  = peso específico del agua;

$Hb$  = carga hidráulica disponible en m.;

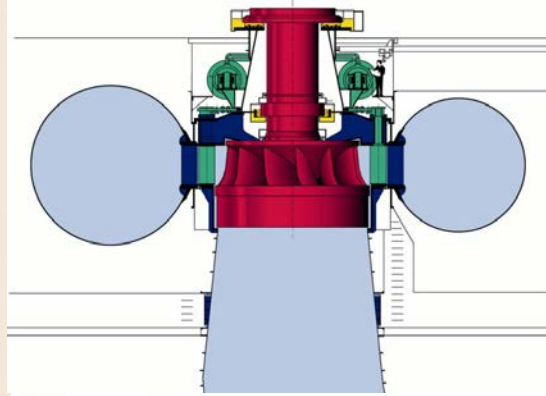
$\eta s$  = eficiencia total de la planta (75 al 90%);

9.81 = aceleración de la gravedad en m/s

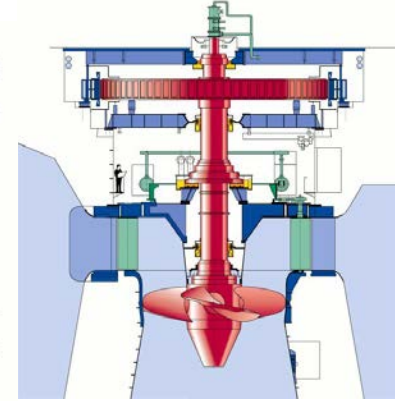
La **Generación** se define como la potencia por el número de horas de operación en un año, y está definida por el Factor de Planta, F.P., el cual cuando es cercano a uno, se considera que la central trabaja en base o firme, es decir, las 24 h

$$GMA = \bar{P} * 8640 * F.P./1000$$

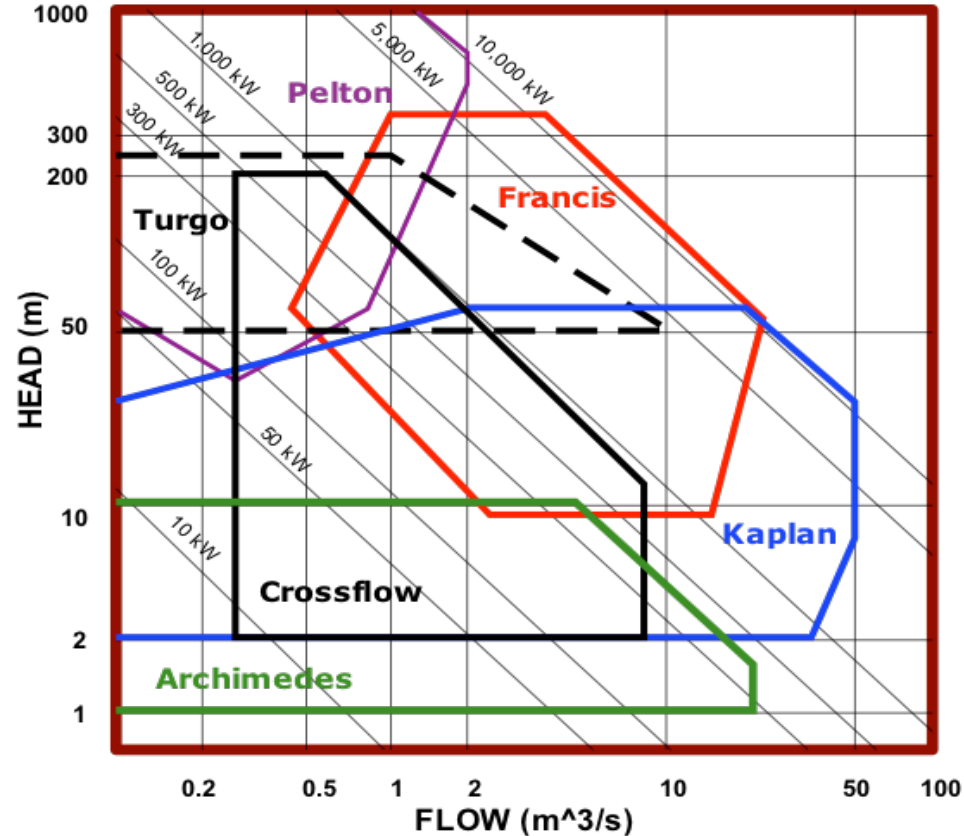
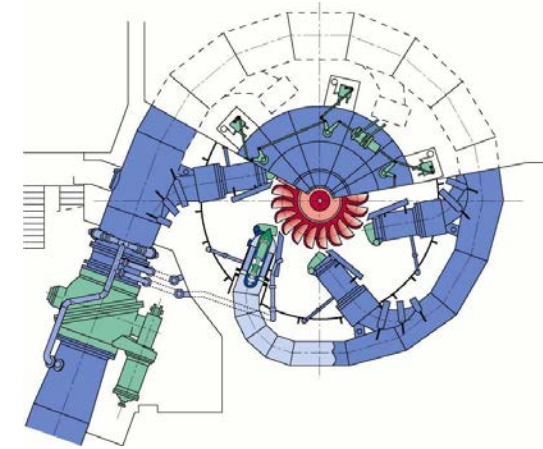
Turbinas Francis



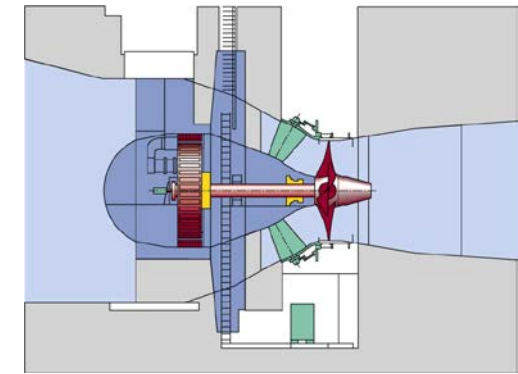
Turbinas Kaplan



Turbinas Pelton



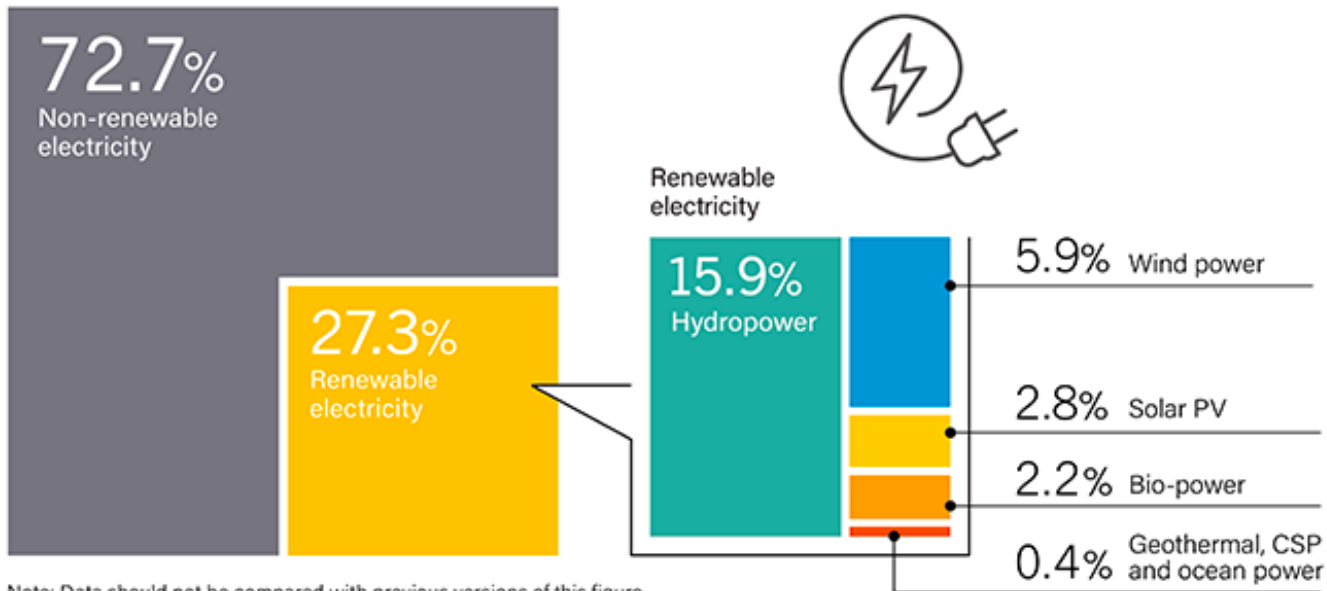
Turbinas Bulbo



# Panorama Internacional en Hidroelectricidad

La contribución de la Energía Hidroeléctrica sigue siendo la más importante cuando se comparan con las demás energías renovables. Más de 60 países dependen mayoritariamente (>50%) de la hidroelectricidad.

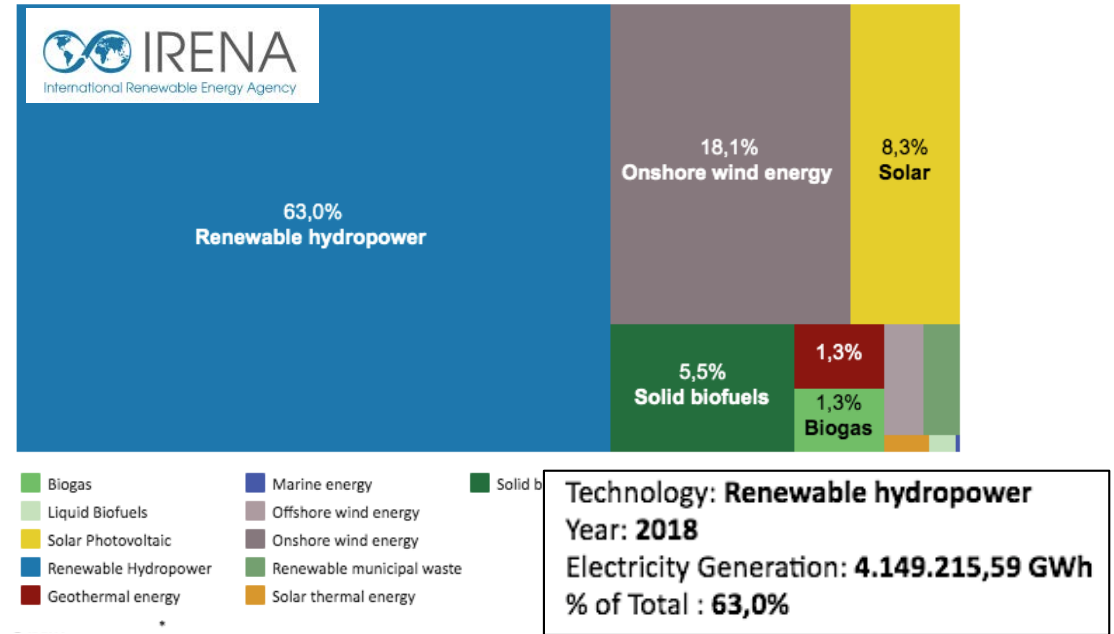
Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2019



Note: Data should not be compared with previous versions of this figure due to revisions in data and methodology.

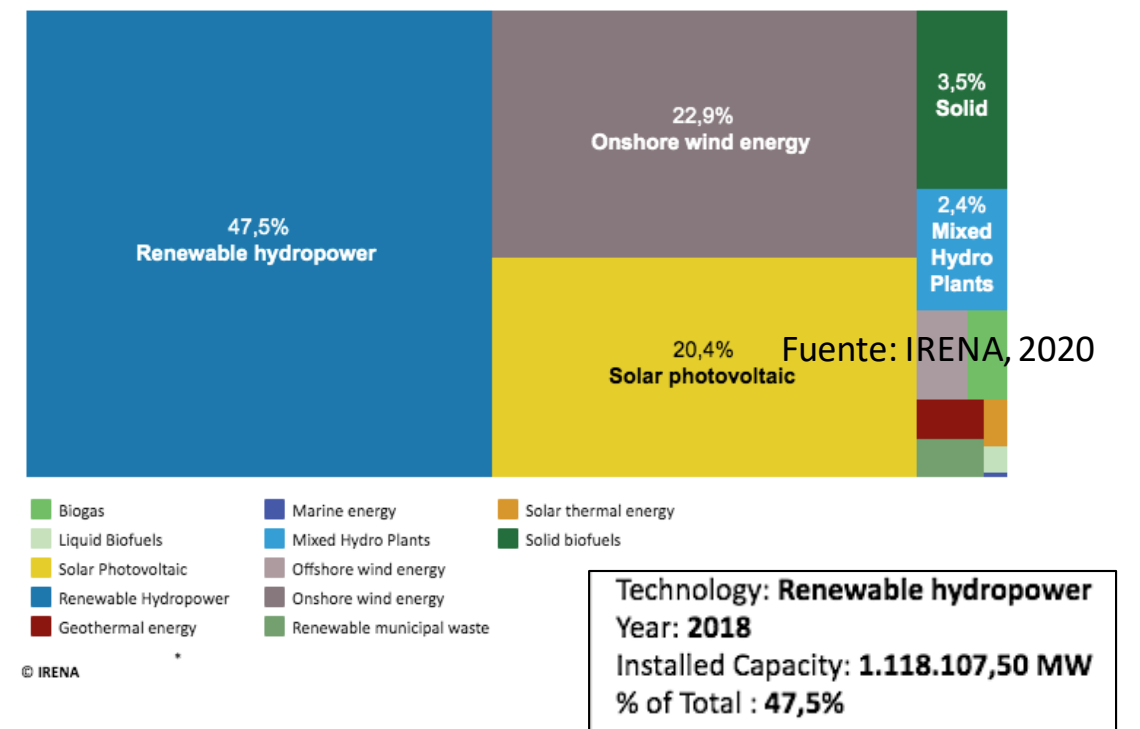
REN21 RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT

Fuente: REN21, 2020



- Biogas
- Liquid Biofuels
- Solar Photovoltaic
- Renewable Hydropower
- Geothermal energy
- Marine energy
- Offshore wind energy
- Onshore wind energy
- Renewable municipal waste
- Solar thermal energy
- Solid biofuels

Technology: **Renewable hydropower**  
 Year: **2018**  
 Electricity Generation: **4.149.215,59 GWh**  
 % of Total : **63,0%**



- Biogas
- Liquid Biofuels
- Solar Photovoltaic
- Renewable Hydropower
- Geothermal energy
- Marine energy
- Mixed Hydro Plants
- Offshore wind energy
- Onshore wind energy
- Renewable municipal waste
- Solar thermal energy
- Solid biofuels

Technology: **Renewable hydropower**  
 Year: **2018**  
 Installed Capacity: **1.118.107,50 MW**  
 % of Total : **47,5%**

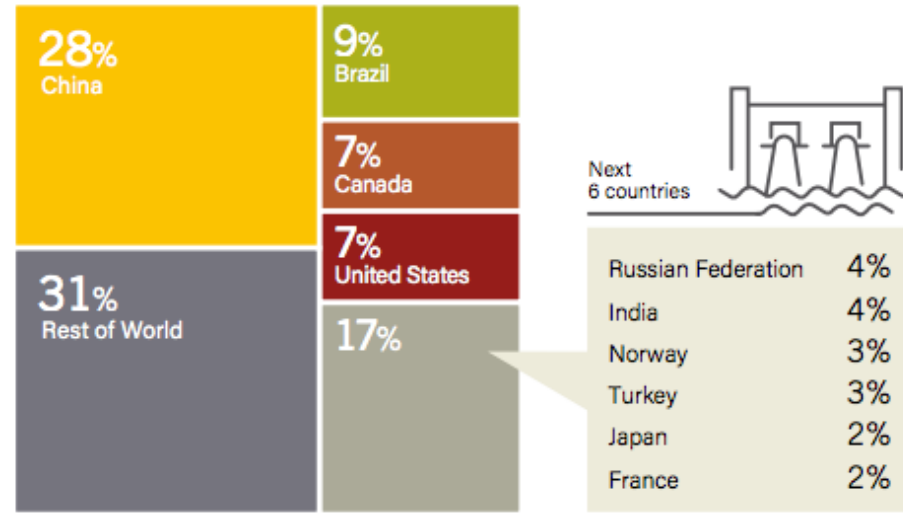
© IRENA

El ranking de los **10 principales** países con mayor capacidad instalada son: **China, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Rusia, India, Noruega, Turquía, Japón y Francia**, que en conjunto representan más de dos tercios de la capacidad mundial para finales de año 2019 (REN21, 2020).

**México se posiciona en el lugar 19 con el 1% mundial (12,126 MW), de acuerdo con el Reporte de IHA (2020).**

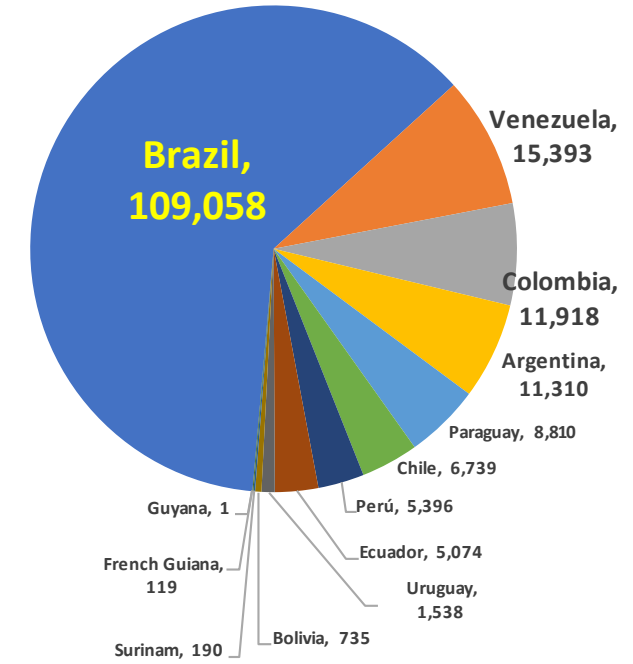
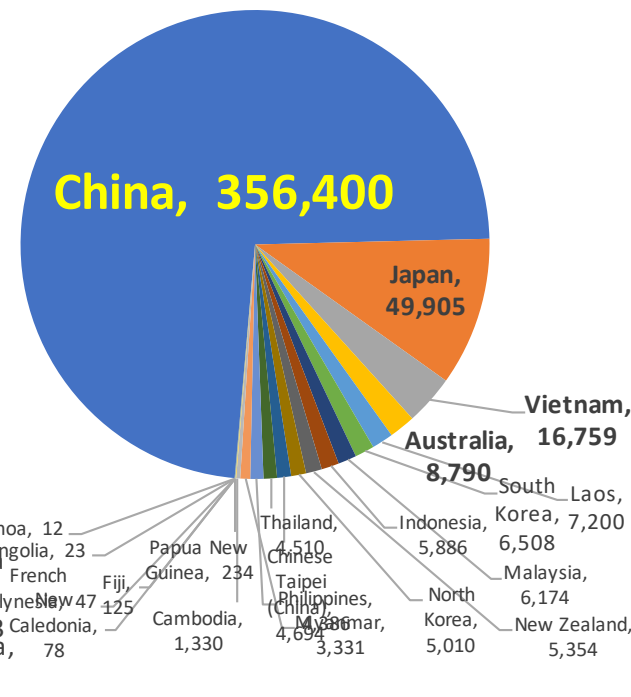
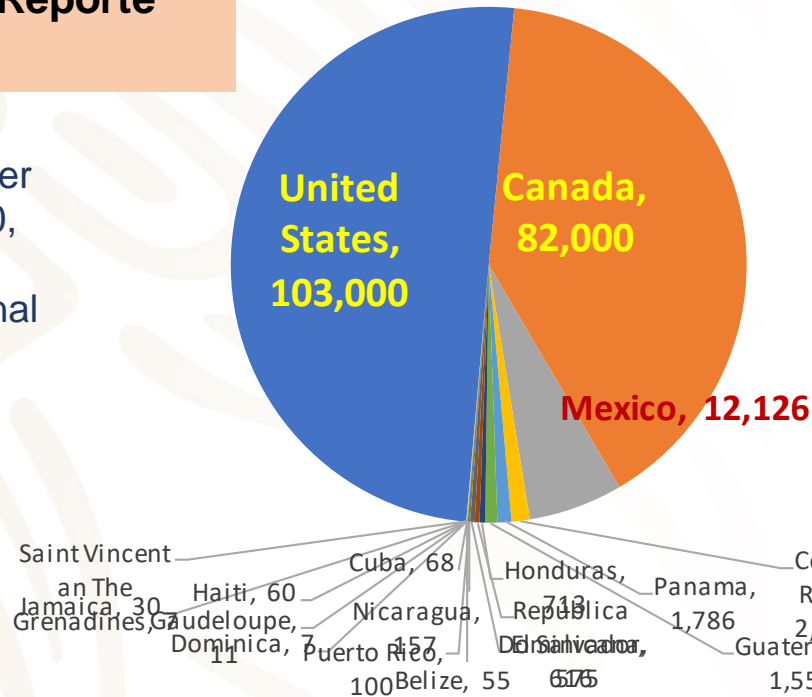
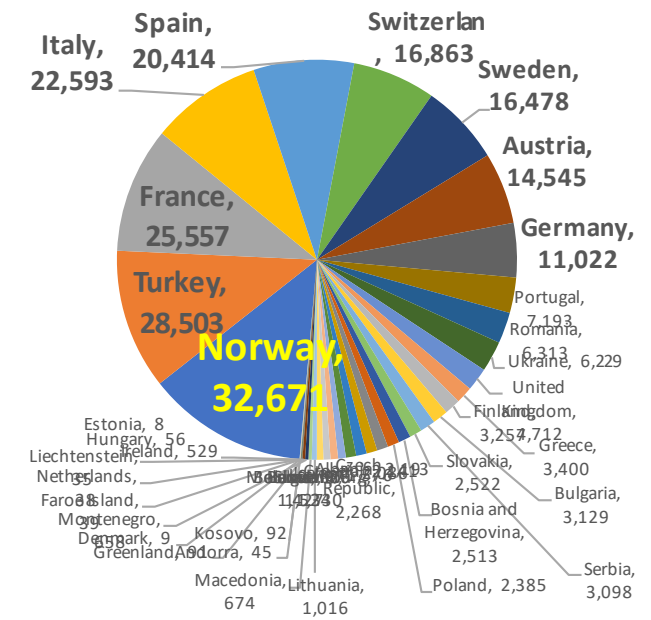
**Fuente.** Hydropower Status Report 2020, Sector trends and insights. International Hydropower Association, IHA.

FIGURE 26. Hydropower Global Capacity, Shares of Top 10 Countries and Rest of World, 2019



Note: Totals may not add up due to rounding.

Source: Global to



# Panorama Nacional

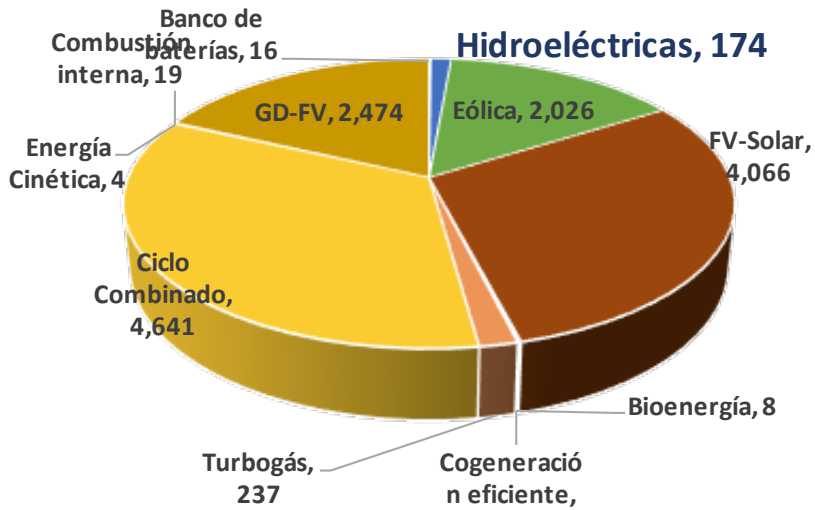
## PROGRAMA DE DESARROLLO DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

2020-2034

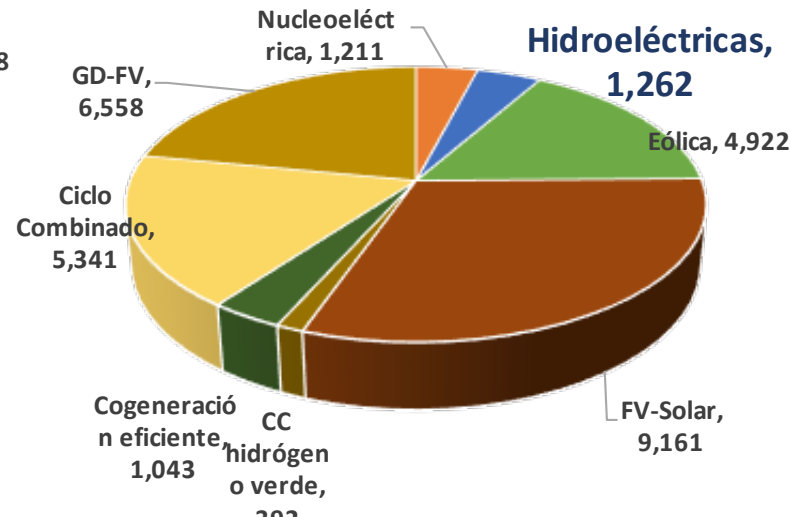
### PRODESEN 2020-2034

(1 de Febrero de 2021)  
6.1 Programa de Centrales Eléctricas de proyectos estratégicos de infraestructura

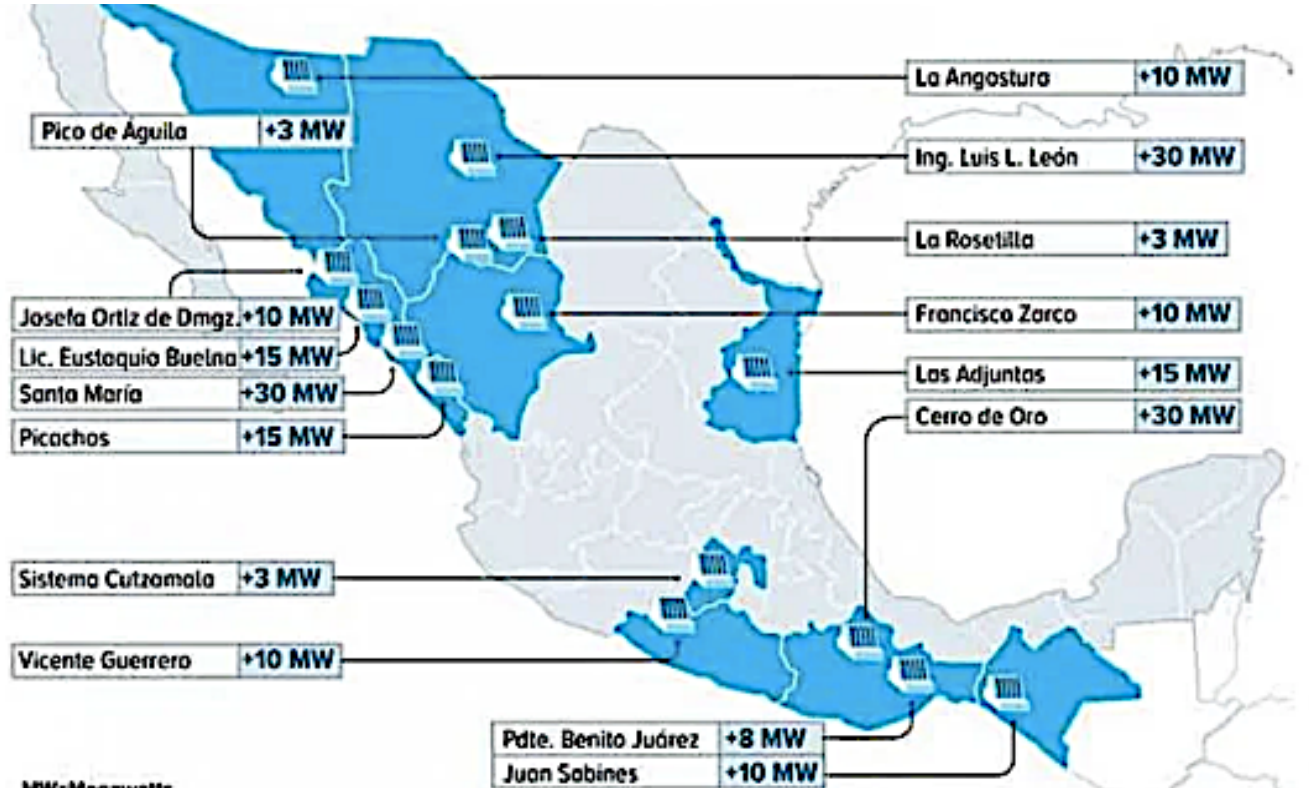
### Adición de capacidad por tecnología de 2020 al 2024



### Adición de capacidad por tecnología de 2025 al 2034



## Equipamiento y Repotenciación



Fuente: CFE/Gráfico: Horacio Sierra

La CFE se encuentra trabajando en un programa de equipamiento y repotenciación de 15 presas de la CONAGUA para convertirlas a hidroeléctricas, lo que representa 214 MW (CONAGUA, 2020).

Adicionalmente se están considerando equipar 24 Presas de riego para generación.

# Posibilidades de Desarrollo Hidroeléctrico

## Proyectos Hidroeléctricos Multitpropósitos

Elementos importantes para la *seguridad hídrica* de un país.

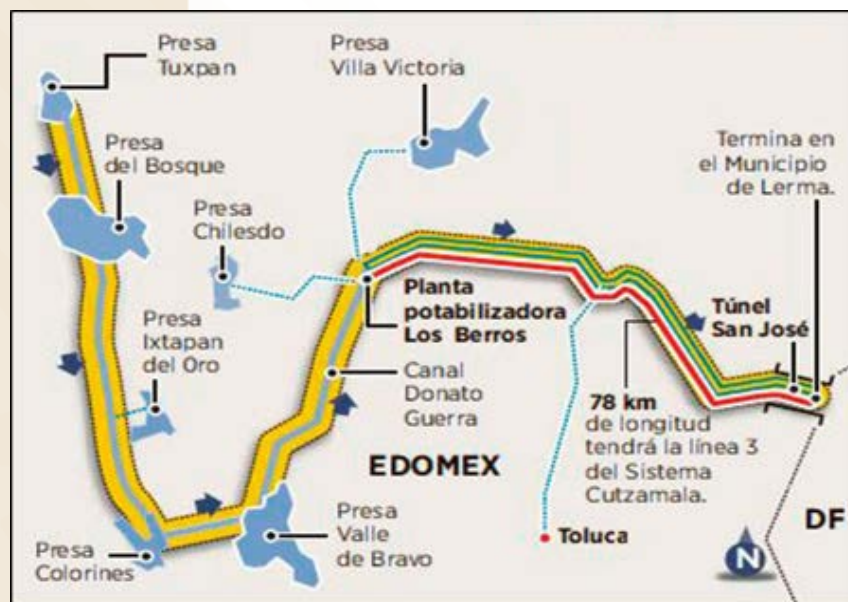
- Desarrollo de las comunidades cercanas a los proyectos,
- Regulación de avenidas: control de inundaciones
- Almacenamiento de reservas de agua
- Derrama económica local y regional
- Desarrollo de vías de comunicación: vaso y la cortina
- Demanda de agua: potable y de riego

**Presas del Sistema Cutzamala. Abastecimiento de agua**

## Modernización y/o Repotenciación de Centrales Hidroeléctricas

Se identifican 101 presas de generación actual tanto de CFE como de privados, entre grandes (mayores a 30 MW) y pequeñas (menores a 30 MW) de capacidad instalada y que van desde 1 unidad de generación hasta 8 unidades.

**Existen 54 centrales actuales de generación con vida útil mayor a 50 años.**



# Equipamiento en infraestructura existente

**2,917 estructuras hidráulicas susceptibles de generación**

**362 estructuras hidráulicas para riego con potencial de generación para pequeña, mini y micro generación**

**484.41 MW de capacidad y 1,697 GWh de generación anual esperada**



Presas "Juan Sabines", Chiapas

Fuente: Sistema de Seguridad de Presas, SISP, CONAGUA, 2017

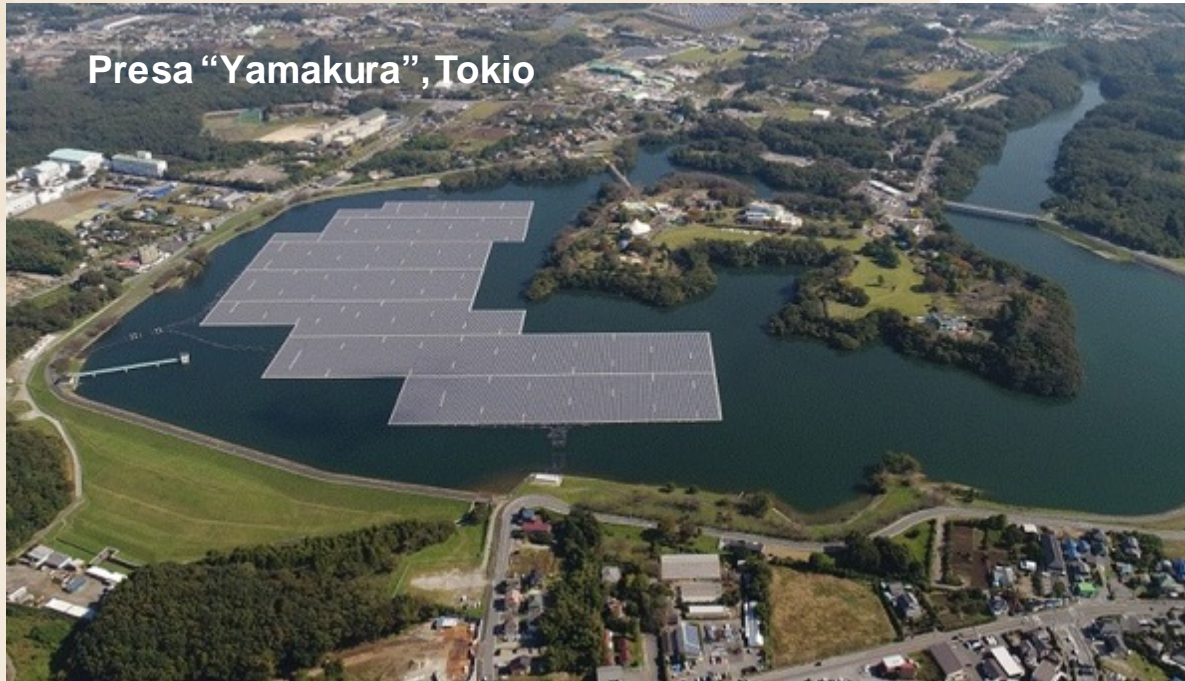
# Minihidroeléctricas en canales de riego

En México existen **86 Distritos de Riego (DR)**, que manejan un volumen de agua de **30,913.612 Mm<sup>3</sup>** extraído de diversas fuentes (presas de almacenamiento 70%, acuíferos y bombeos).

Ese volumen es conducido hacia los distritos por canales donde es posible generar energía hidroeléctrica.



## Sistemas híbridos: fotovoltaico-hidroeléctrico



### Potencial de generación fotovoltaica en embalses

18,422 MW de potencial de capacidad instalable y 40,346 GWh en 180 embalses de presas

### Potencial de generación fotovoltaica en cortinas

1,730 MW de potencial de capacidad instalable y 3,793.30 GWh en 1600 cortinas de presas



Fuente: Palacios A., Baltazar A., Ocampo E., Peña G., Cervantes A., Guitrón A. Bases para un Centro Mexicano de Innovación en Energía Hidroeléctrica 2da Parte. Posibilidades de Desarrollo Hidroeléctrico en México. IMTA, 2018



*La energía hidroeléctrica es una de las formas más estables de generación de energía renovable, con una alta flexibilidad de operación, bajos costos de operación y mantenimiento, amplio ciclo de vida y con capacidad de dar soporte a la participación de otras fuentes renovables.*

*La hidroelectricidad ha sido la energía renovable pionera a nivel mundial*

# ...GRACIAS

Correo: [ana\\_palacios@tlaloc.imta.mx](mailto:ana_palacios@tlaloc.imta.mx)

[anapalf27@gmail.com](mailto:anapalf27@gmail.com)

[www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx)

***“Biggest Dam in the World”  
Three Gorges Project (TGP), RPC. China***

***Installed Capacity = 22,500 MW  
Generation = 97,605 GWh (2017)***

*32 turbines (700 MW) and 2 (50 MW)*

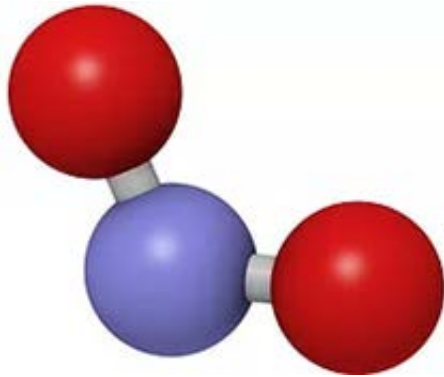
*Height=186 m*

*Discharge capacity,  $Q = 120,600 \text{ m}^3/\text{s}$*

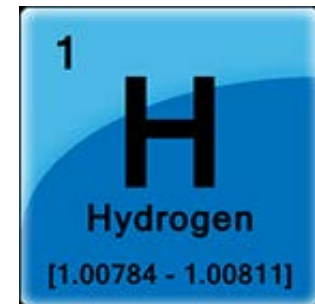
*Dam axis = 2.309 km*



# ***Estado y Perspectiva de La Energía Limpia en Mexico***



## ***El Hidrógeno***



## ***Vector Energético Oportunidades en México***

**Dr. Alejandro López Ortiz**



# El Hidrogeno



El  $H_2$  es el elemento más abundante en el universo; sin embargo, no se encuentra en la Tierra como sustancia química libre



El hidrógeno debe ser extraído de diferentes sustancias como los hidrocarburos líquidos, gas natural o el agua



El  $H_2$  tiene una alta densidad energética por unidad de peso, pero una baja densidad energética en términos volumétricos



Existen muy pocos ductos de hidrógeno. Algunos gasoductos de gas natural pueden transportar hidrógeno en forma de mezcla



Actualmente el 95% del hidrógeno producido en el mundo proviene de fuentes fósiles y tiene emisiones asociadas al cambio climático



Se espera una disminución de hasta el 40% del costo de la electrólisis del agua con energía renovable para el año 2030

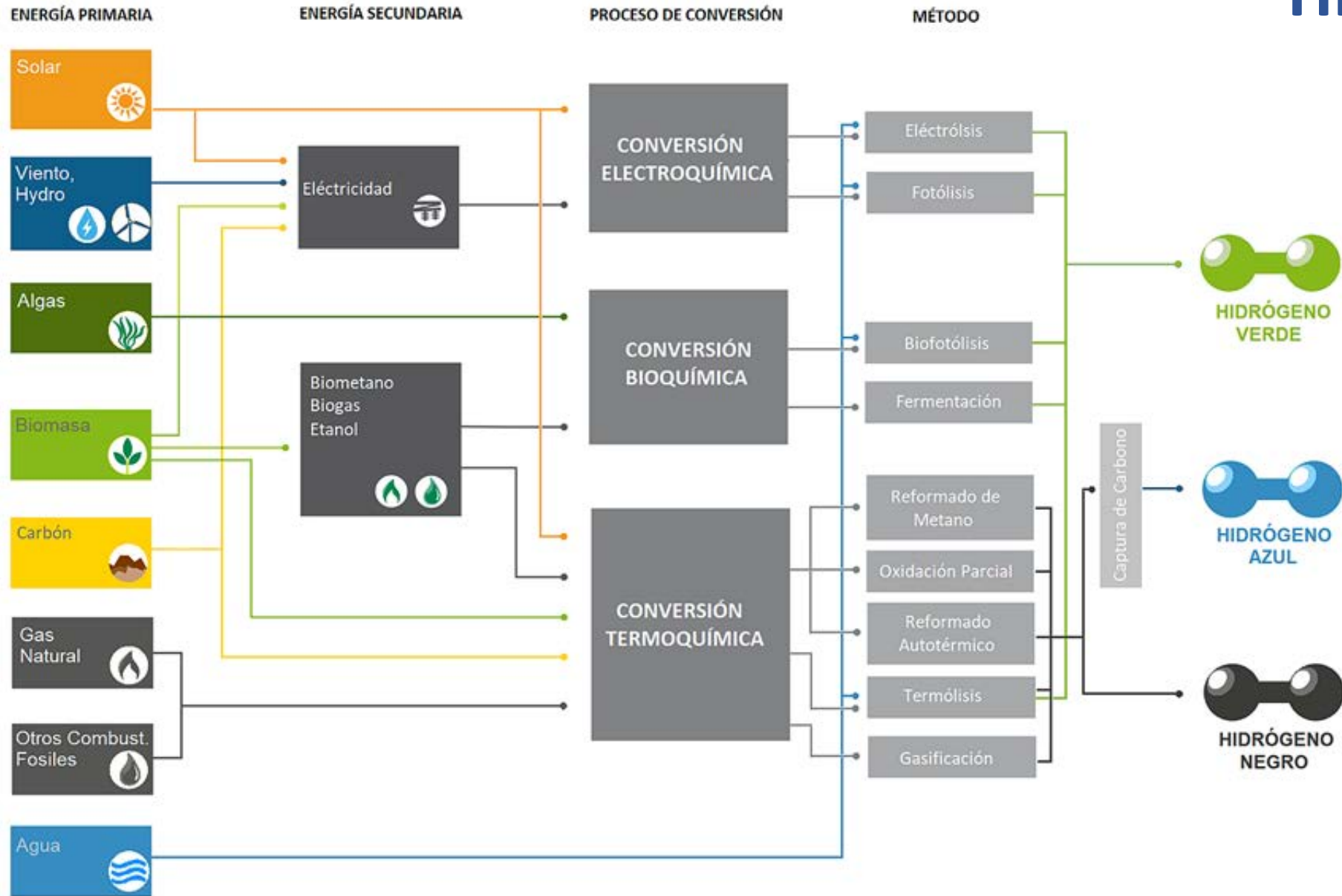


El hidrógeno permite la integración sectorial de la electricidad, el gas, el transporte y la industria



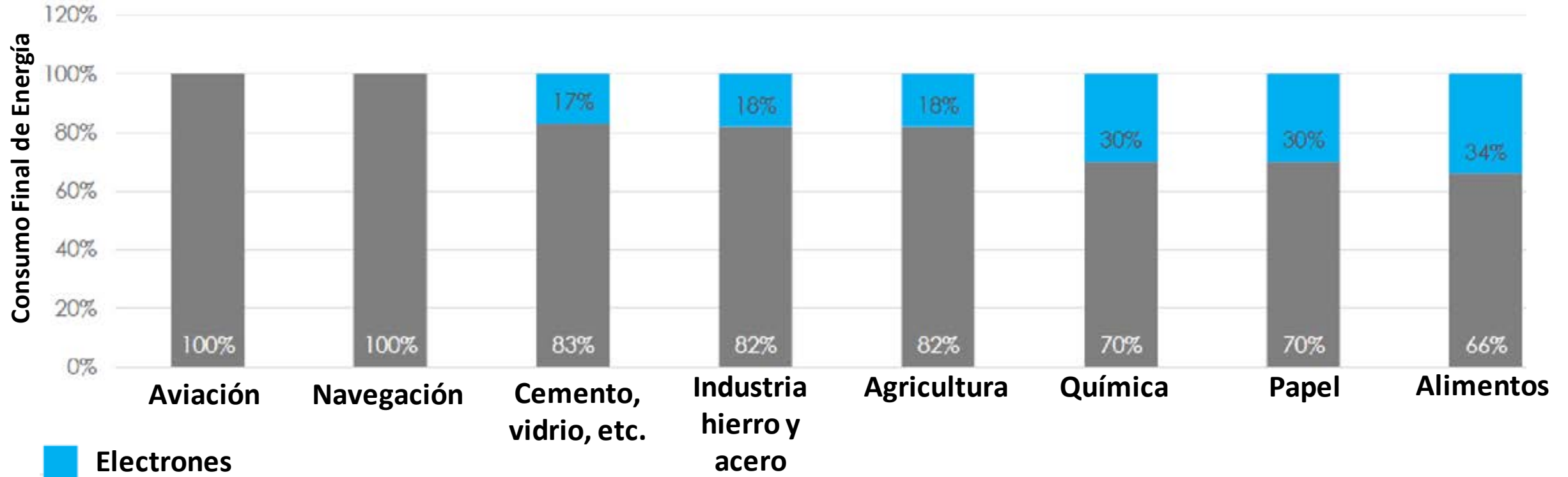
Una tonelada de  $H_2$  producida por SMR emite hasta 14 toneladas de  $CO_2$ . Mediante electrólisis con fuentes renovables, es casi 0.

# Producción de Hidrogeno



# ELECTRIFICACIÓN INDIRECTA: PILAR DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

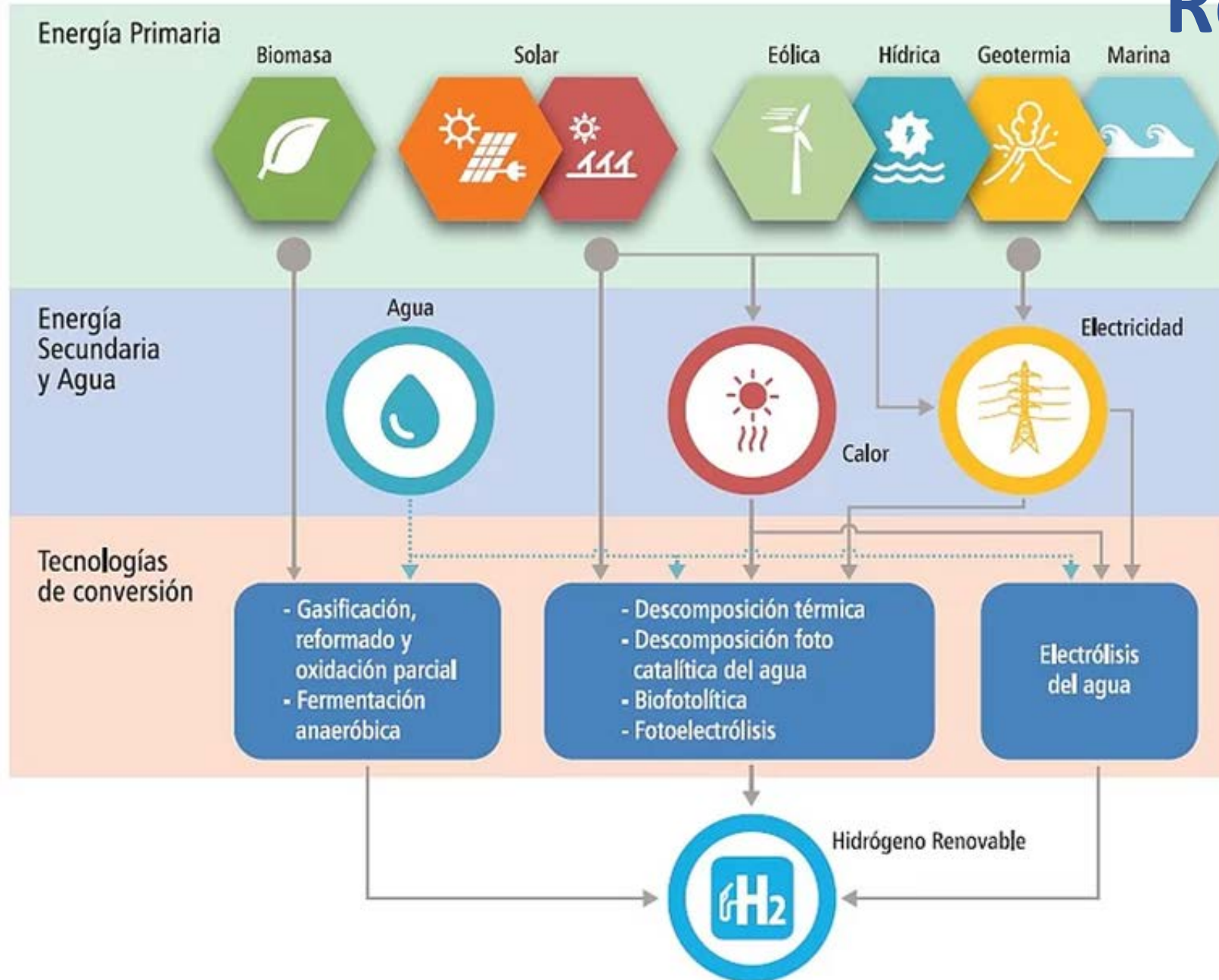
## Problemática



- Muchas industrias están electrificando sus procesos, mientras que otras siguen necesitando energía de forma "molecular"
- ¿Cómo proporcionar la energía contenida en estas moléculas sin utilizar fuentes fósiles?

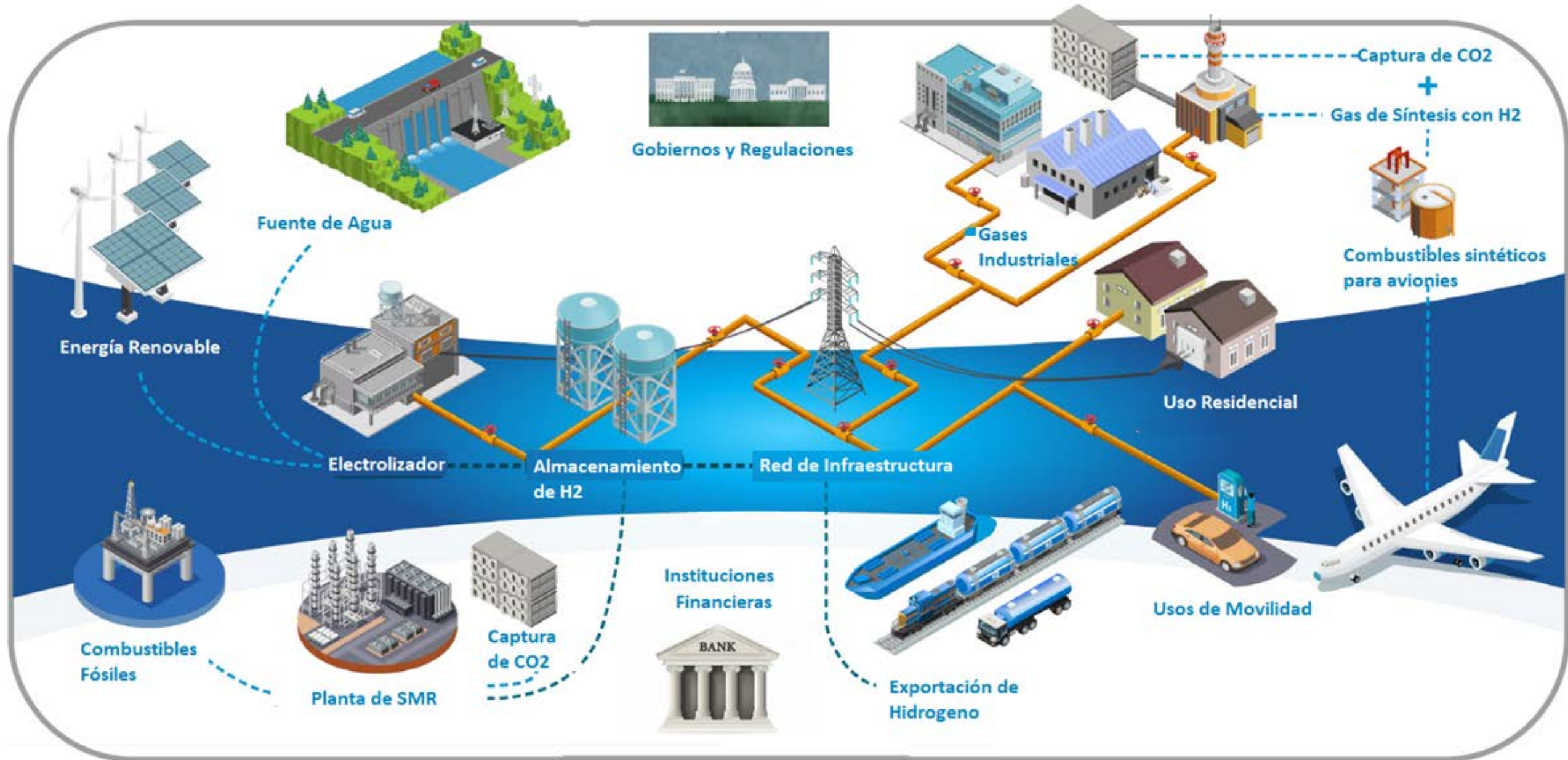
## ¡Hidrógeno Verde!

# Hidrógeno Renovable



# DESARROLLO DEL ECOSISTEMA DEL HIDRÓGENO

# VISION



# Retos operativos en la red eléctrica Mexicana



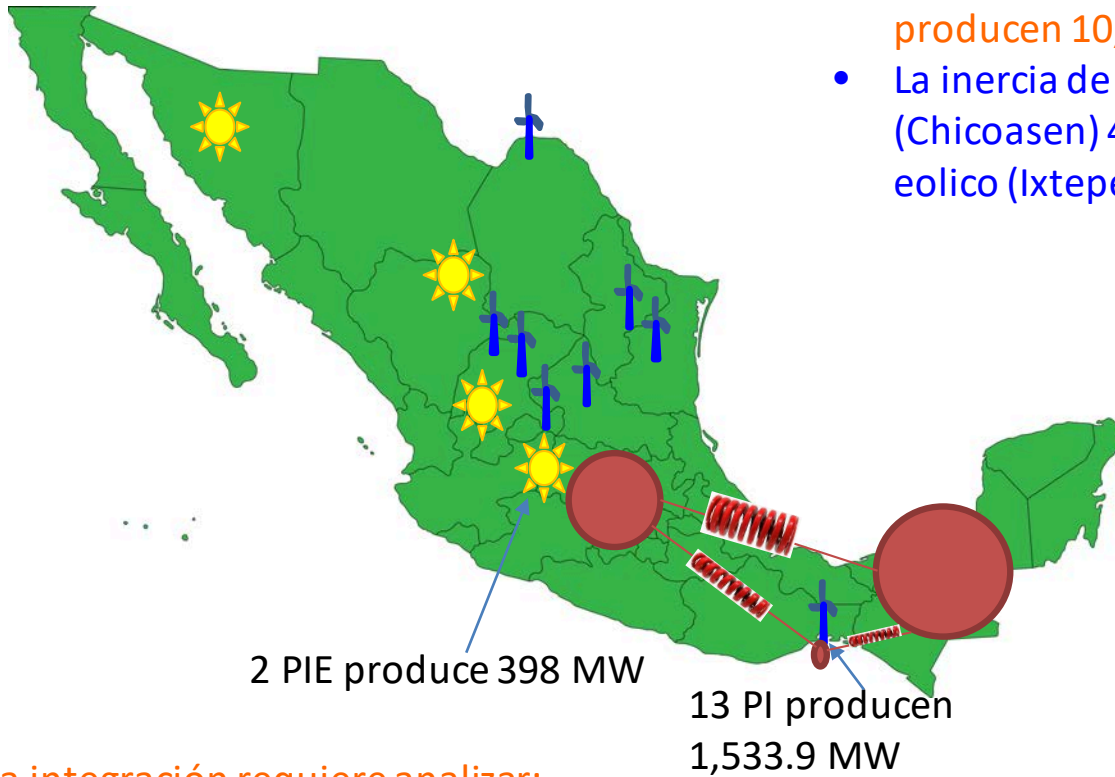
<https://sites.google.com/view/grouptitan/home?authuser=0>







# Penetración de la energías renovables: Eólica en el sureste y solar en centro-norte del país



- 45 productores independiente producen 10,267 MW.
- La inercia de un Hidrogenerador (Chicoasen) 4.7 contra un generador eolico (Ixtepect) 0.00237

1983 GEolicos

2 PIE produce 398 MW

13 PI producen 1,533.9 MW

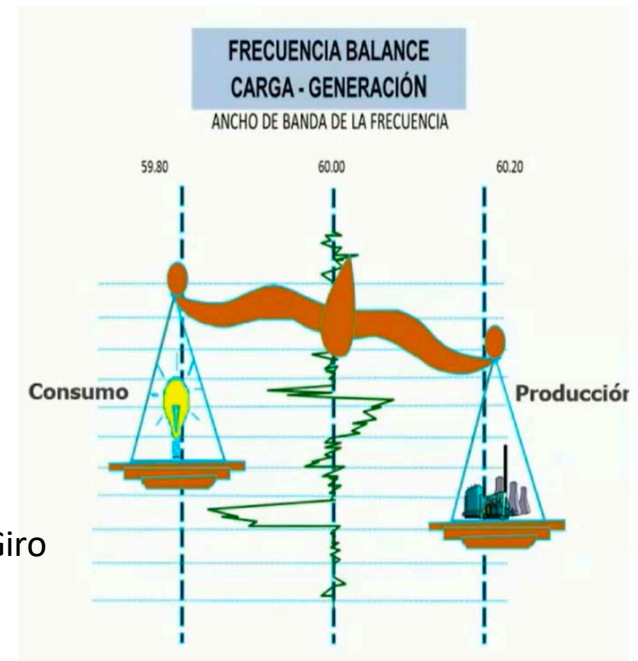
## La integración requiere analizar:

- Distribucion espacial
- Punto de inteconecion
- Reserva dinamica
- Variabilidad del flujo de potencia
- Tamaño relativo
- Respuesta dinamica
- .....

$$F = P \cdot V_g / 60$$

F: Frecuencia

$V_g$ : Velocidad de Giro

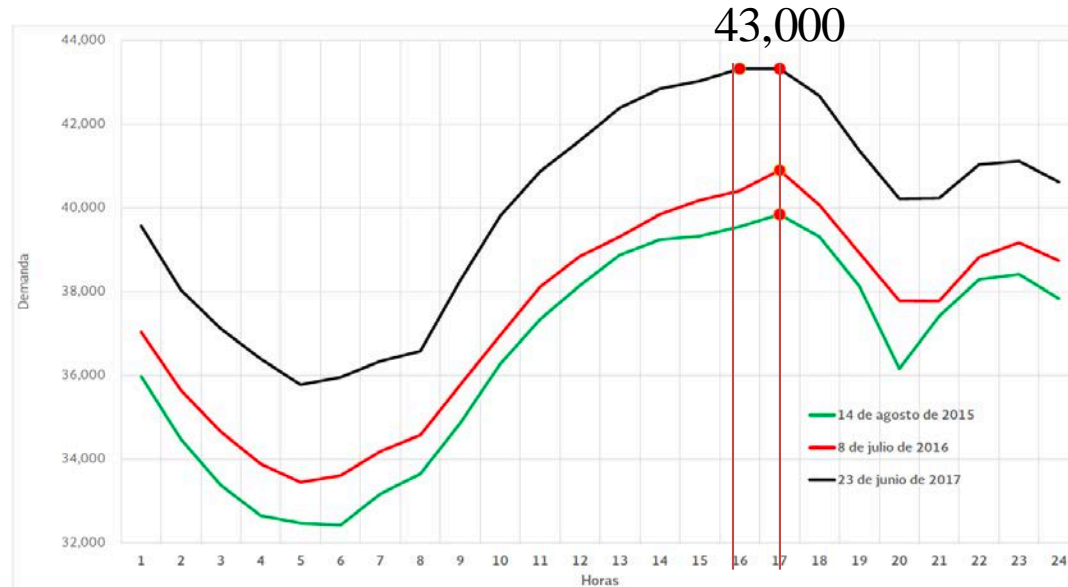




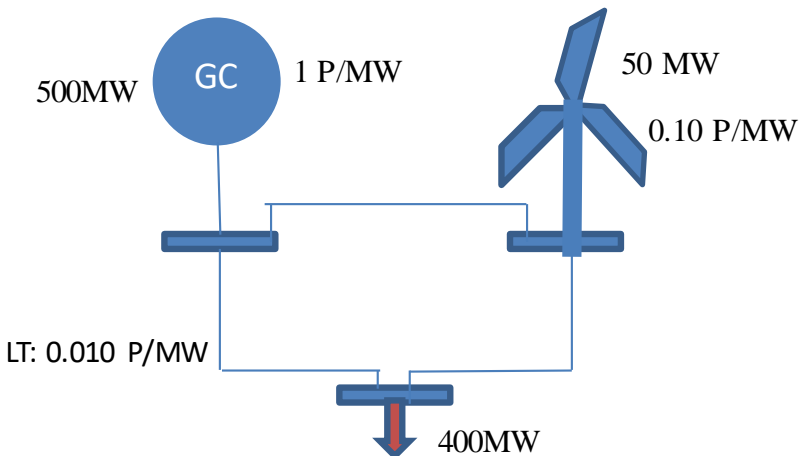
# Precio en el Mercado de energía

GRÁFICO 1

DEMANDAS MÁXIMAS DEL SIN 2015, 2016 y 2017  
(Megawatt-hora/hora)



Fuente: Elaborado por la SENER con información del CENACE.



## Precios por escenario

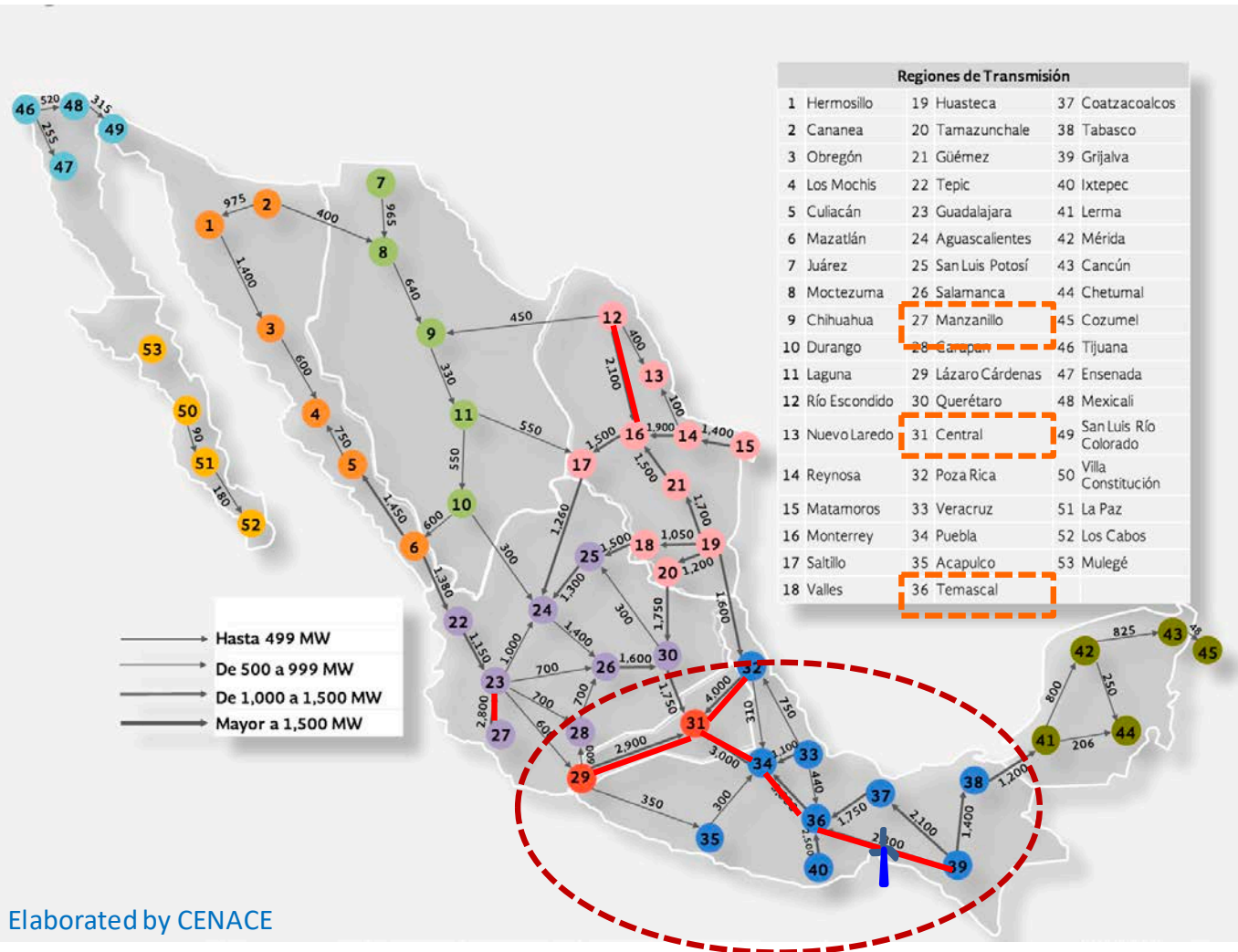
- A)  $GC (350) + GE (50) = 355 P$ , sin cobro por porteo en las LT.
- B)  $GC (400) + GE (0) = 400 P$ , sin cobro por porteo de energía en las LT.
- C)  $GC (350) + GE(50) + LT (350 \cdot 0.010) = 358.5 P$ ,





# Congestión de energía y cambio climático

Se requiere mayor inversión en el sistema de transmisión para transferir mayor cantidad de energía.



LA temperatura promedio tiene un incremento cercano a 1 grado centigrado

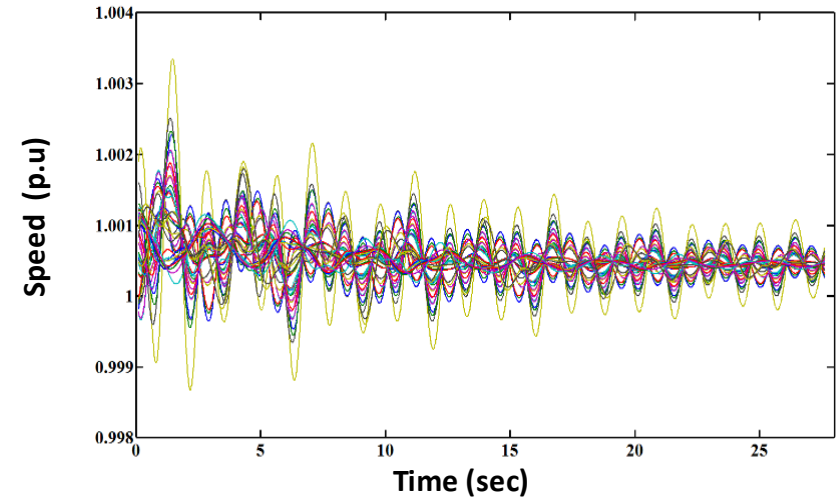
Elaborated by CENACE

<https://www.gob.mx/cenace/archivo/prensa>

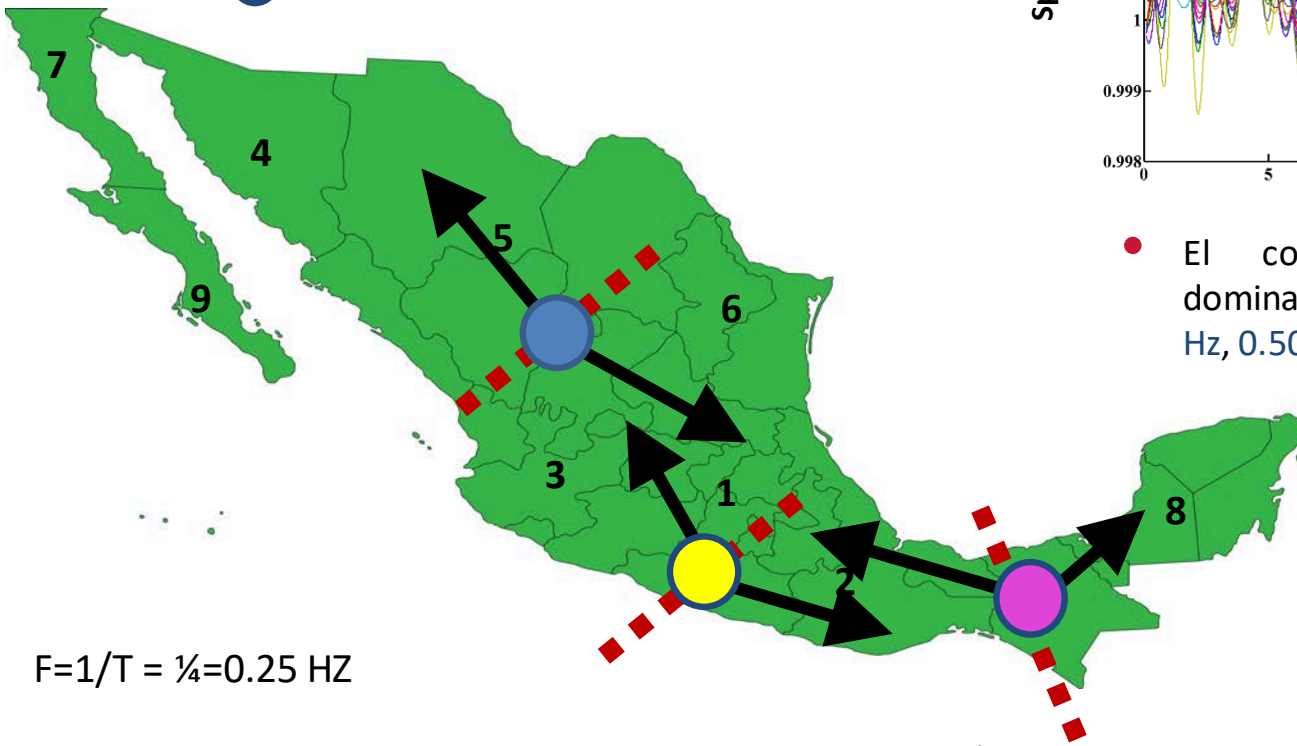


# Comportamiento dinámico complejo

- Mode 2: 0.52 Hz
- Mode 1: 0.25 Hz
- Mode 3: 0.78 Hz



● El comportamiento dinámico está dominado por 3 modos oscilatorios: 0.72 Hz, 0.50 Hz y 0.26 Hz.



$$F=1/T = \frac{1}{4}=0.25 \text{ HZ}$$

Actualmente el sistema cuenta con un monitoreo de área amplia con 300 PMUs. Esto permite visualizar a tasas de 60 f/sec: Bancos de transformadores, variabilidad en las líneas de transmisión, intercambio de energía, problemas de calidad de la energía y sistemas de protección.



---

# DESEMPEÑO DE PRECIOS EN EL MEM

## Objetivo

Explicar la naturaleza del comportamiento de los precios en el mercado eléctrico mayorista mexicano.

## Indice

1. Despacho económico y curva de orden merito
2. Distribucion de la matriz energética por tecnología en México
3. Factores que afectan el mercado eléctrico

---

*Iván Montenegro Gutiérrez*

*(Analista del MEM – Consultor Independiente)*



---

## 1. DESPACHO ECONÓMICO

- El sistema eléctrico nacional (SEN) busca satisfacer la demanda en todos los puntos del sistema, bajo un criterio de minimización de costos totales de operación.

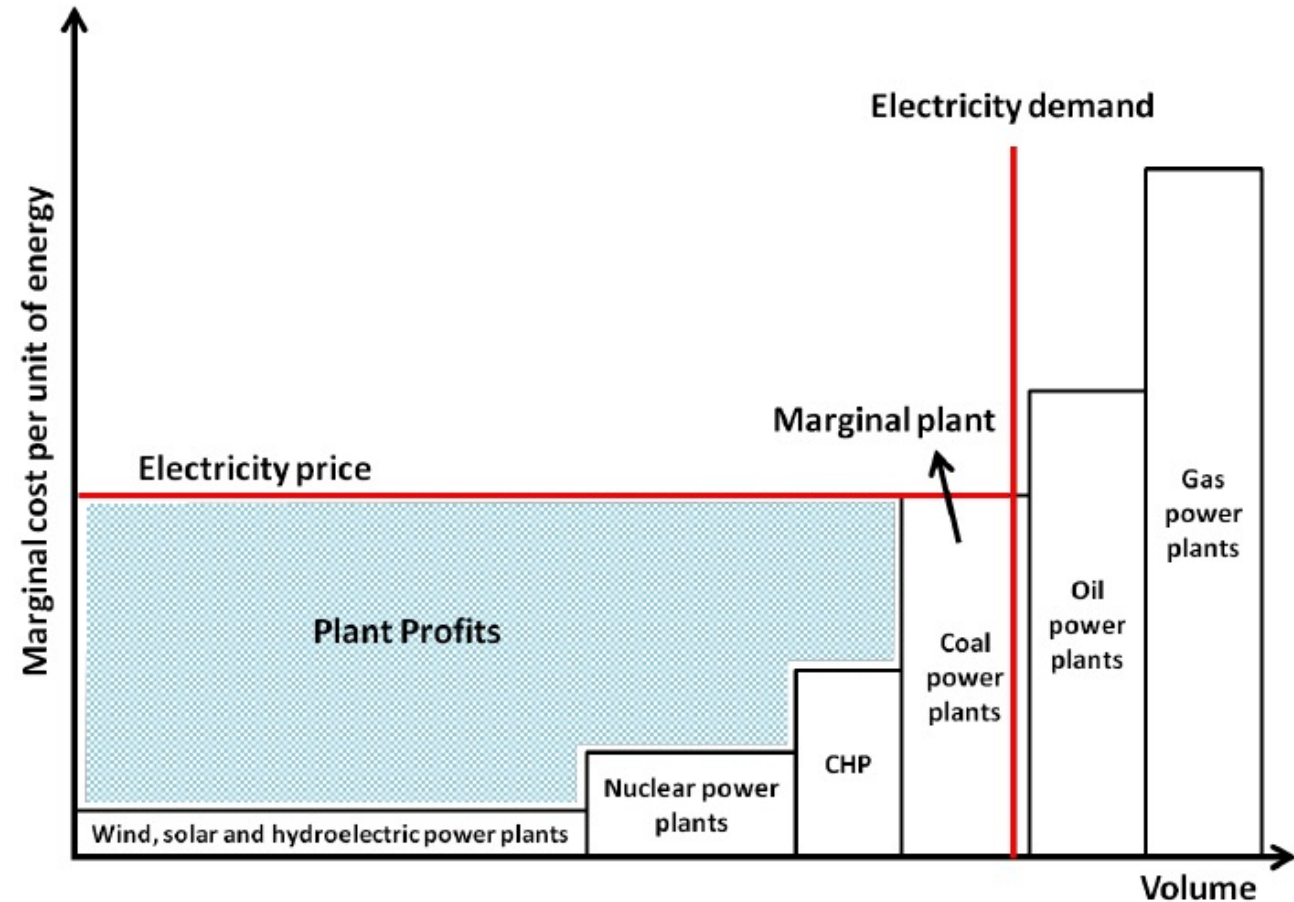


Figura 1. Orden de mérito para el despacho económico. Power System Optimization Modeling in GAMS. 2017

## 2. DISTRIBUCIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA EN MÉXICO

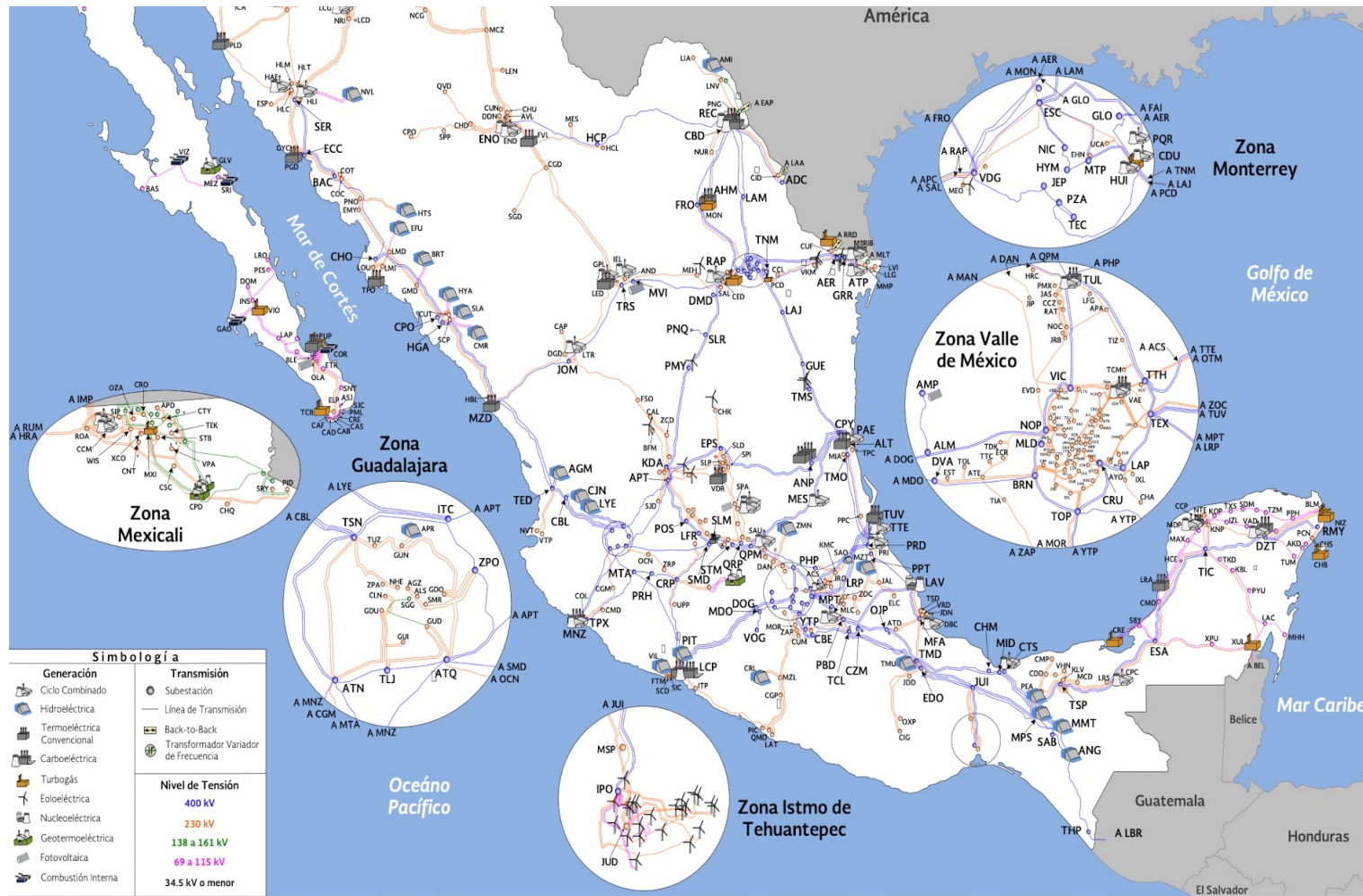


Figura 2. Sistema Eléctrico Nacional (SEN). PRODESEN 2018

## 2. DISTRIBUCIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA EN MÉXICO

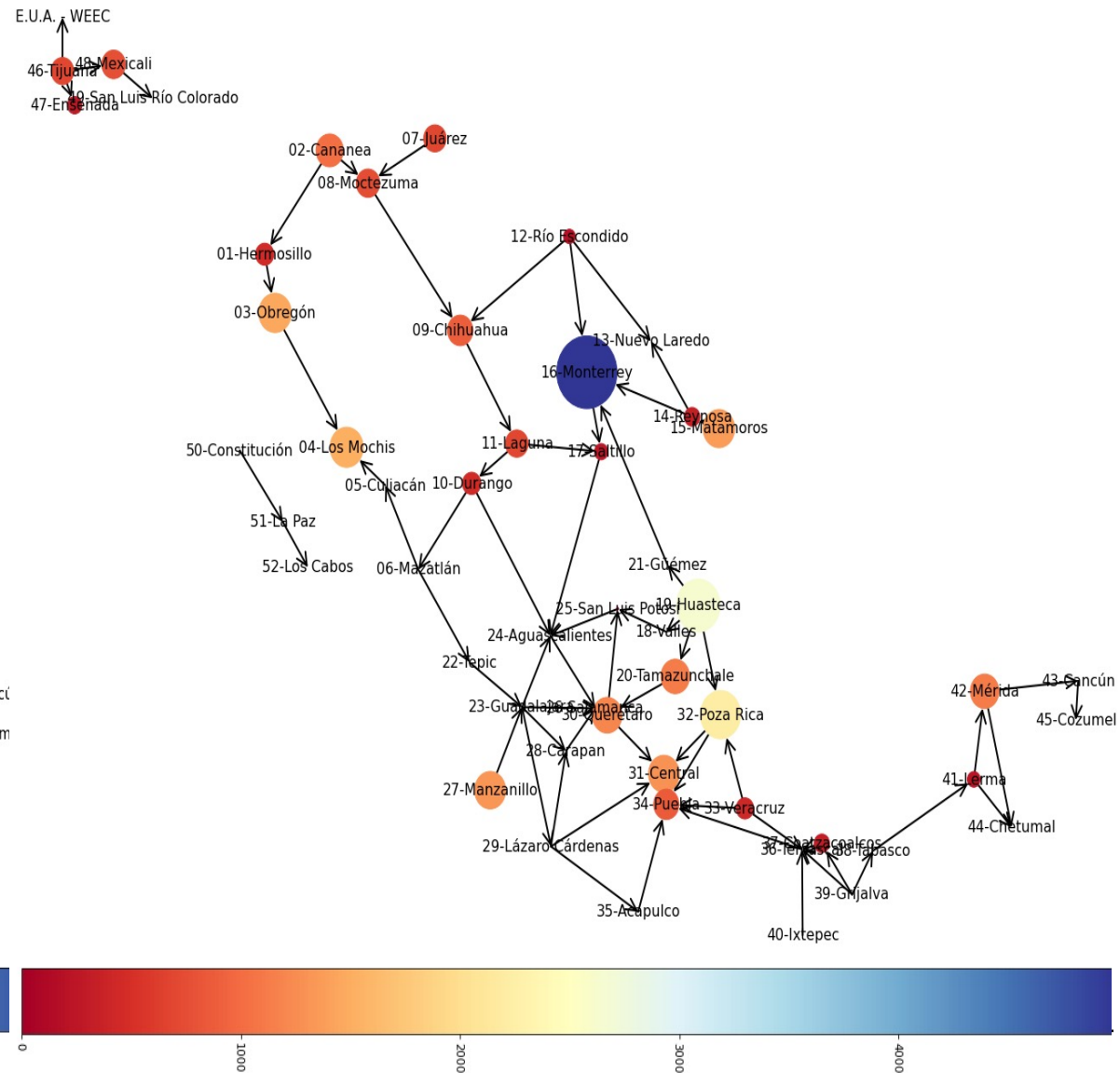
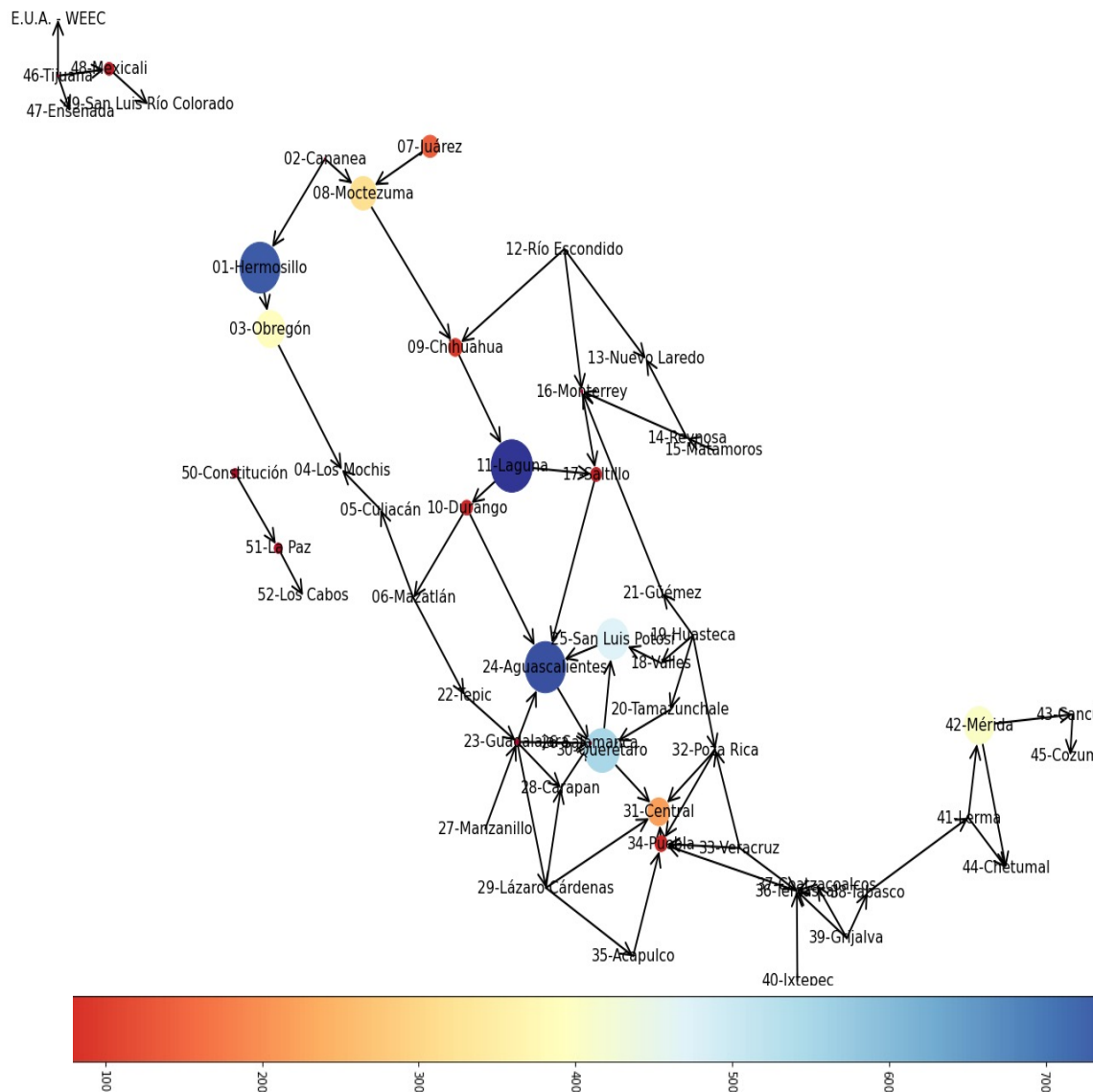


Figura 3. Distribución de parques fotovoltaicas por región de transmisión (MW)

Figura 4. Distribución de plantas de ciclo combinado por región de transmisión



## 2. DISTRIBUCIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA EN MÉXICO

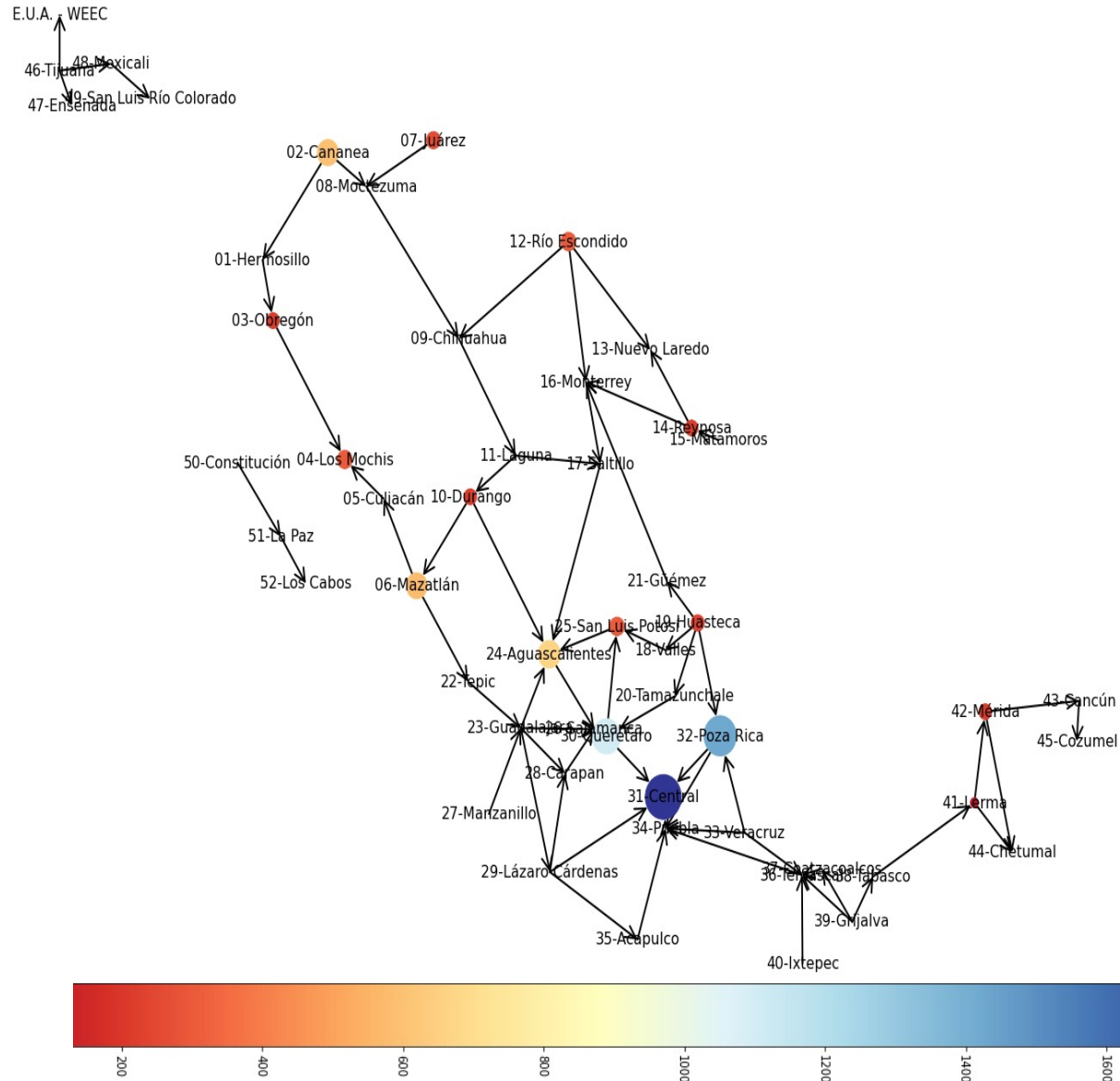


Figura 5. Distribución de plantas termoeléctricas convencionales por región de transmisión

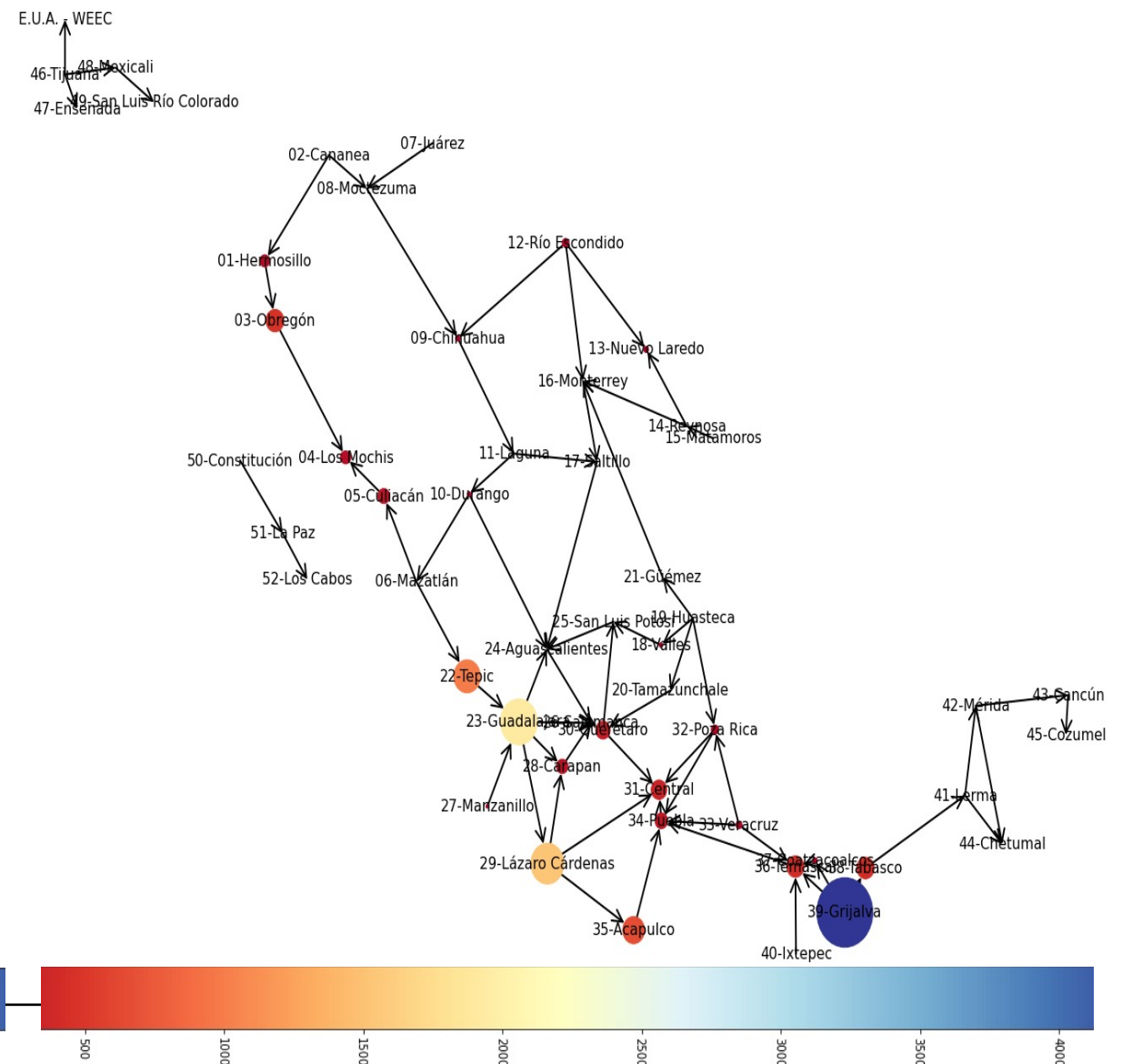


Figura 6. Distribución de plantas de hidroeléctricas por región de transmisión

### 3. FACTORES QUE AFECTAN EL MERCADO ELÉCTRICO



Figura 7. Resumen de los distintos factores que pueden afectar el desempeño de precios en el MEM

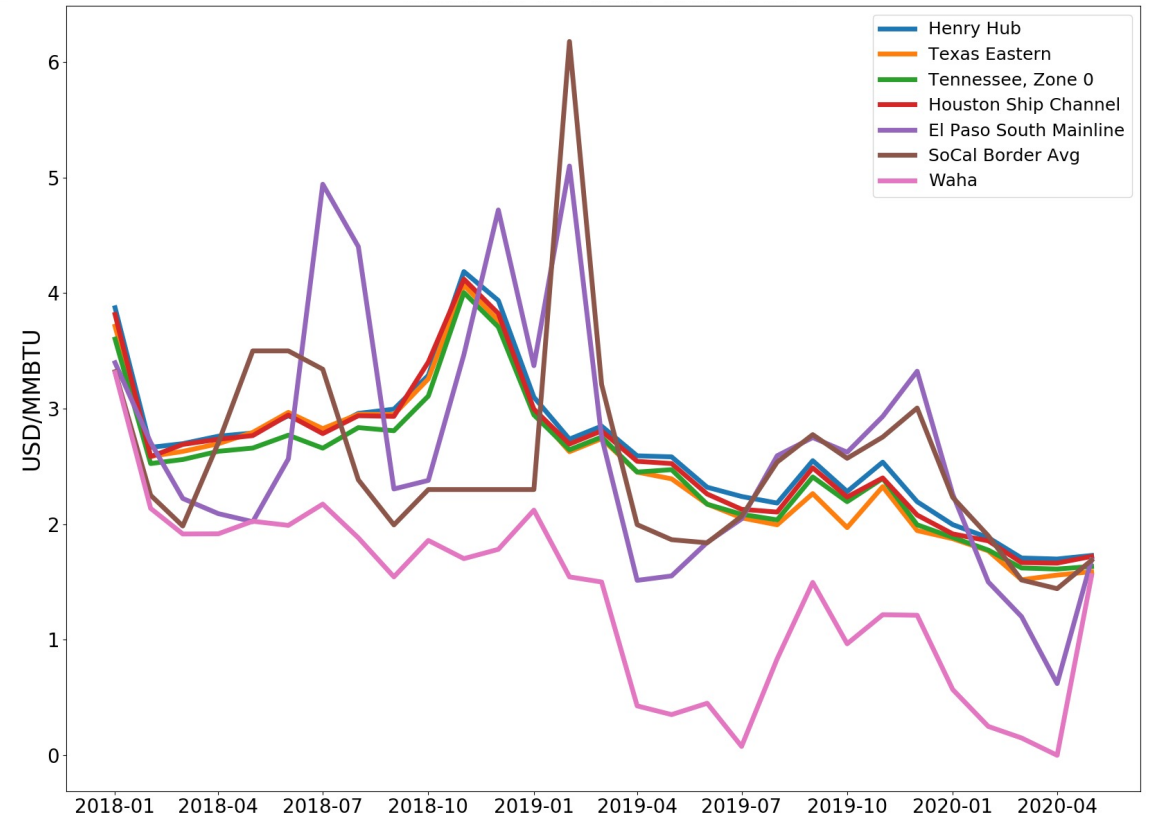


Figura 8. Comportamiento de los precios del gas en distintos puntos de inyección por importación

### 3. FACTORES QUE AFECTAN EL MERCADO ELÉCTRICO

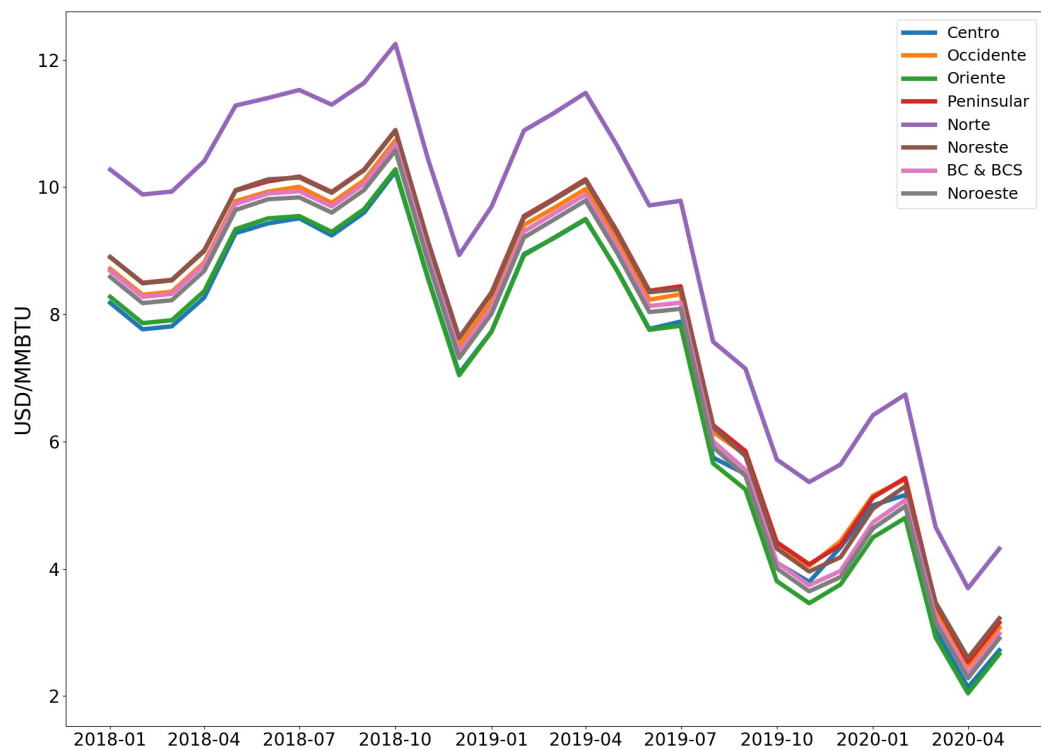


Figura 9. Comportamiento de los precios de combustoleo nacional

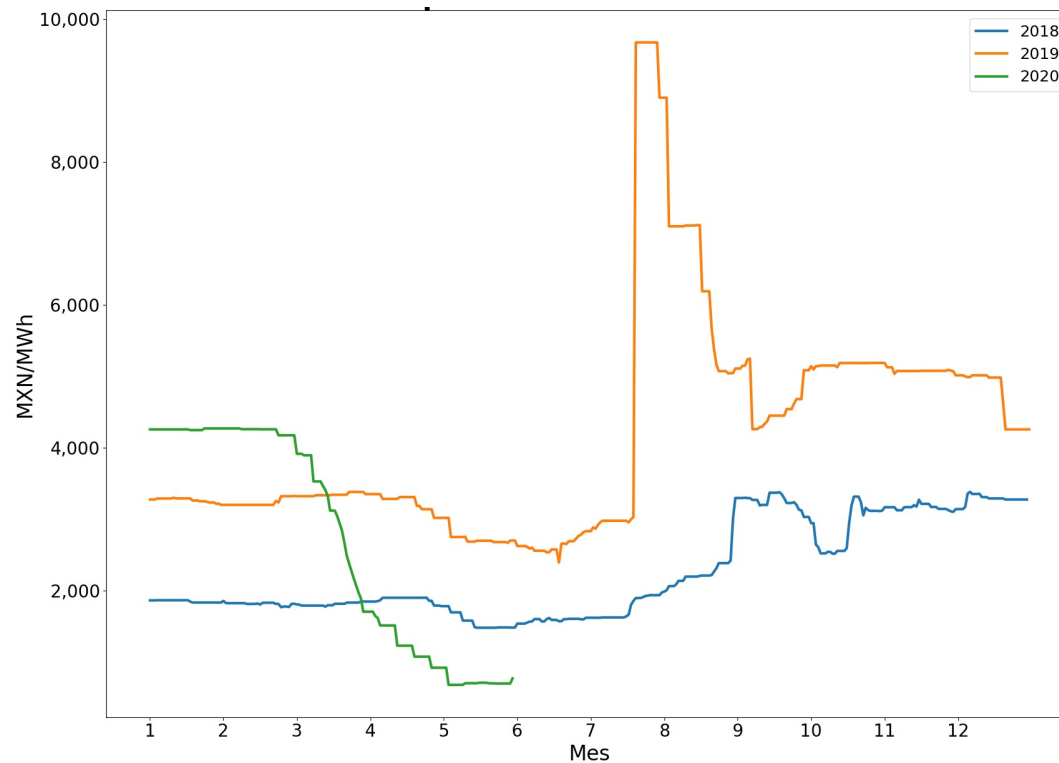


Figura 10. Comportamiento del costo de oportunidad promedio del SIN

# CV participantes

- **Emilio Barocio.** Doctor en ingeniería por el CINVESTAV-GDL, Marie Curie Fellowship en el Colegio Imperial de Londres. Profesor en los posgrados de ingeniería eléctrica y ciencia de datos. Líder del laboratorio Big Blue Box, dedicado al desarrollo de herramientas avanzadas para análisis de sistemas eléctricos de potencia basados en ciencia de datos. [ebarocioe@gmail.com](mailto:ebarocioe@gmail.com)
- **Armando Miguel Gómez Torres.** Doctor en Ingeniería por la Universidad Técnica de Múnich (TUM), en conjunto con el Instituto de Física de Reactores y Tecnología Nuclear del Instituto Tecnológico de Karlsruhe (KIT) en Alemania. Desde 2003 colabora en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), en donde desarrolla programas de cómputo para el análisis y diseño de reactores nucleares. Es líder del proyecto Aztlan Platform. [armando.gomez@inin.gob.mx](mailto:armando.gomez@inin.gob.mx)

# CV de participantes

- **Rafael Escarela Perez.** Doctor por el Imperial College de la Universidad de Londres e Ingeniero Electricista con especialidad en Sistemas de Potencia de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A). Se incorporó a la Universidad Autónoma Metropolitana en octubre de 1996. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel II. [epr@azc.uam.mx](mailto:epr@azc.uam.mx)
- **Juan C. Olivares Galvan.** Obtuve el doctorado en el CINVESTAV, campus Guadalajara en el 2003. Fui estudiante visitante por 12 meses en Virginia Tech, Blacksburg, VA, Estados Unidos en 1999 (12 meses) y profesor visitante por 12 meses en la University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canadá en 2014. Trabajé durante ocho años en la fabricación de transformadores de distribución como ingeniero de diseño. Actualmente soy profesor–investigador de tiempo completo en la UAM-Azcapotzalco y Senior Member del IEEE. [jolivaresgalvan@gmail.com](mailto:jolivaresgalvan@gmail.com)

# CV participantes

**LUIS C.A. GUTIÉRREZ NEGRÍN.** Es Ingeniero Geólogo, jubilado de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en 2008. Actualmente es Director Técnico de Geocónsul, SA de CV, Secretario del CeMIE-Geo, AC, Miembro del Comité Supervisor del World Geothermal Congress 2020+1, Editor en Jefe del journal Geothermal Energy y Miembro de la Junta Directiva del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. [l.g.negrin@gmail.com](mailto:l.g.negrin@gmail.com)

**Javier Cuitláhuac Palacios Hernández.** Obtuvo el Doctorado en Ciencias Nucleares, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México. En el año de 1990 ingresó como investigador al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. A partir del 2019 es el Director General del ININ. En el año 2000 ingresó al Sistema Nacional de Investigadores, al cual continúa perteneciendo. En el año 2010 el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) lo designó miembro del grupo de expertos “Technical Working Group on Advanced Technologies for Light Water Reactors”, al cual perteneció durante el periodo 2010 - 2012. En diciembre de 2017 recibió el Premio Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de México, en la categoría Ingeniería y Tecnología. Desde enero del 2019 es miembro académico titular de la International Nuclear Energy Academy. Desde 2019 y hasta el 2020 ocupó el cargo de Presidente de la Sociedad Nuclear Mexicana, es miembro de la Sociedad Mexicana de Materiales y de la American Nuclear Society de los Estados Unidos, Actualmente es Vicpresidente (Presidente Electo) de la “Latin American Section de la American Nuclear Society. [javier.palacios@inin.gob.mx](mailto:javier.palacios@inin.gob.mx)

# CV participantes

- **Iván Montenegro.** Ingeniero en Energía por la UAM-Iztapalapa especializado en optimización matemática aplicada en temas de planeación y operación de sistemas de energéticos. Sus temas de interés destacan entre desarrollo de modelos de optimización para subastas, modelos de despacho económico del mercado eléctrico mayorista y modelos de planeación energética a largo plazo.  
[ivan.teotl@gmail.com](mailto:ivan.teotl@gmail.com)
- **Ana Alicia Palacios Fonseca.** Maestra en Ingeniería Hidráulica por la UNAM. Estudiante de Doctorado en Ingeniería en Energía por el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. Colaboró en la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos de la CFE en Instrumentación hidráulica de presas. Desde 2014, como Investigadora en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en la Subcoordinación de Planeación Hídrica donde desarrolla proyectos de identificación de potencial hidroeléctrico. Actualmente junto con INEEL lidera el proyecto binacional México-China para el desarrollo de las pequeñas centrales hidroeléctricas en México, socialmente viables y ambientalmente sustentables.  
[ana\\_palacios@tlaloc.imta.mx](mailto:ana_palacios@tlaloc.imta.mx)

# CV participantes

- **Jorge Alberto Rosas Flores.** Es Doctor en Ingeniería en el área de Energía en la División de estudios de posgrado de Facultad de Ingeniería de la UNAM. Realizó un estancia posdoctoral en el centro Economics for energy en conjunto con la Universidad de Vigo en España. Ha realizado proyectos en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, así como en el Instituto Nacional de electricidad y Energías Limpias en Cuernavaca Morelos. Las líneas de Investigación se centran en eficiencia energética en el sector residencial, ahorro de energía por usos finales, subsidios y uso de energías renovables. [jorge.rosas.flores@gmail.com](mailto:jorge.rosas.flores@gmail.com)
- **Alejandro López Ortiz.** Doctorado en Ingeniería Química en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Estatal de Louisiana (LSU), además de contar con estudios posdoctorales en el Departamento de Energía Limpia del Research Triangle Institute (RTI) en Carolina del Norte EEUU. En la actualidad el Dr. López se desempeña como Investigador Titular C, en el Departamento de ingeniería y Química de Materiales del CIMAV además de ser investigador Nivel II en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI). En la actualidad el Dr. López es presidente de la Sociedad Mexicana del Hidrogeno A. C., la cual es una organización civil sin fines de lucro y que fue fundada en 1999 por un entusiasta grupo de investigadores, académicos y empresarios, con el objetivo de promover la investigación, el desarrollo, la formación de recursos humanos, así como el establecimiento de normas de seguridad para el uso del hidrógeno y sus tecnologías como energía limpia. El Dr. López cuenta con 17 años de experiencia en investigación relacionada con la producción de hidrogeno, catálisis, materiales nanoestructurados, así como en temas de síntesis por química suave, cinética de reacción, simulación termodinámica de sistemas químicos y de proceso de flujo y reactores. Su experiencia en proyectos academia-industria y liderazgo al frente de grupos de investigación le han conducido a ser apoyado con importantes proyectos de investigación como por ejemplo: la producción de hidrogeno combinada con captura de CO2 del fondo de Ciencia Básica del CONACyT, así como con empresas como Johnson Controls de corte ambiental y en el desarrollo de un novedoso catalizador nano-estructurado para ser utilizado en celdas de combustible tipo PEM, para la empresa DaimlerChrysler A. G. en Alemania. [alejandro.lopez@cimav.edu.mx](mailto:alejandro.lopez@cimav.edu.mx)



# CV participantes

- **Raúl Tauro.** Doctor en Ingeniería en Energía, graduado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Actualmente es investigador posdoctoral en la ENES-UNAM, Morelia, y preside la Red Mexicana de Bioenergía. Sus líneas de investigación están orientadas a la evaluación de recursos biomásicos para su uso sustentable en pequeñas y medianas industrias. [rjtauro@gmail.com](mailto:rjtauro@gmail.com)