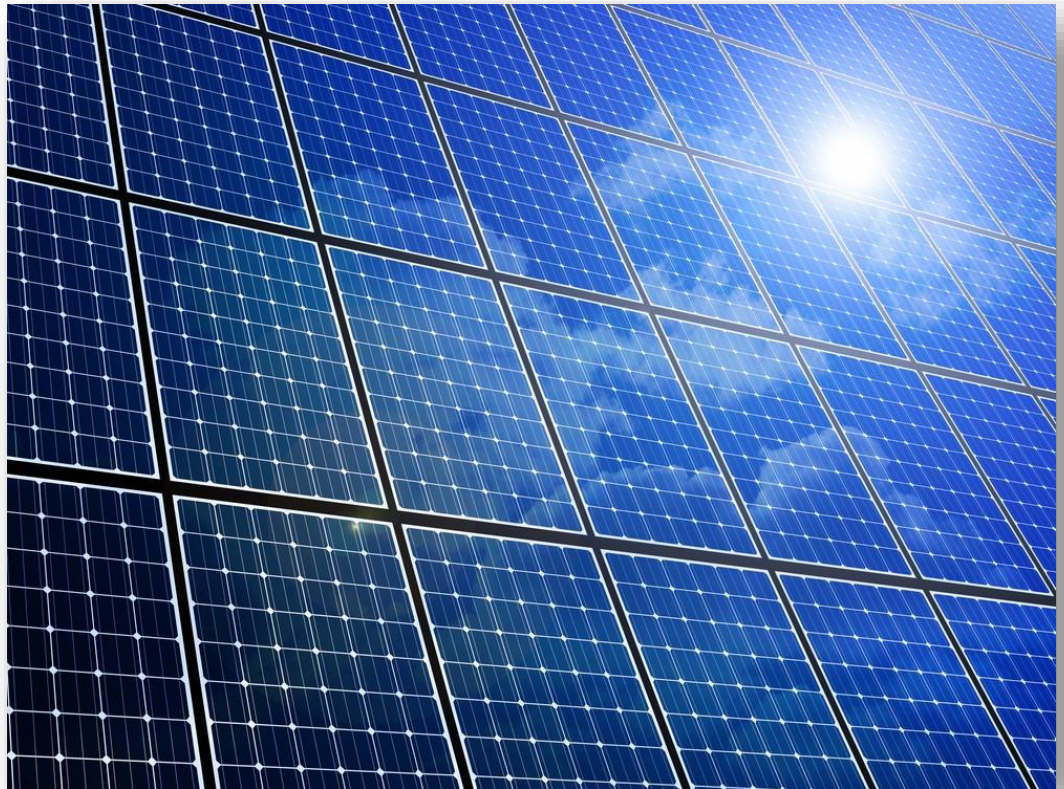


ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA –CURSO 2024

INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

Ing. Diego Oroño
Ing. Gonzalo Hermida



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Temario

- Contenido del curso
- Desarrollo sustentable
- Historia de la energía solar
- Situación actual de la energía solar PV
- Situación en Uruguay
- Perspectivas

Contenido del curso

$Q = mc\Delta T$

$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{(1+x)^n - 1}{x} = n$

$\log_a(x)$

$\log_a x$

$v = v_0 + at$

$T = \frac{2\pi}{\omega}$

$P = mV$

$v = \omega r$

$\frac{v^2 - v_0^2}{2a} = (x - x_0)$

$\frac{\sin \alpha}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \gamma}{c}$

$a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma = c^2$

$E = mc^2$

$F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$

$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$

$E_k = \frac{1}{2}mv^2$

$y = x^2 + a$

$v = f\lambda$

$PV = nRT$

$P = IV$
 $= \frac{V^2}{R}$
 $= I^2 R$

$2H_2 + O_2 \rightleftharpoons 2H_2O$

$\omega = 2\pi f$

$\Delta P = \rho g \Delta h$

$K_{eq} = \frac{[H_2O]^2}{[H_2]^2 [O_2]}$

$\Delta E = h\nu$

$F = \frac{G m_1 m_2}{r^2}$

Diagram of a triangle with sides a, b, c and angles alpha, beta, gamma.

Diagram of a parabolic curve y = x^2 + a.

Diagram of a sine wave with wavelength lambda and frequency f.

Diagram of a circuit with a battery, a resistor, a voltmeter (V), and an ammeter (A).

Diagram of a benzene ring with an OH group.

Diagram of a circular path with radius r and angular velocity omega.

Contenido del curso

Objetivos del curso:

- Entender la realidad de esta tecnología y sus perspectivas tanto en el mundo como en Uruguay.
- Conocer los componentes de un sistema fotovoltaico.
- Comprender el principio de funcionamiento que rige sobre los mismos.
- **Saber diseñar y dimensionar un sistema fotovoltaico de acuerdo a las necesidades del cliente.**
- Poder determinar la irradiación incidente a un sistema.
- Aspectos generales de los sistemas: seguridad, protecciones, monitorización, puesta en servicio.
- Entender los aspectos normativos que rigen a la hora de dimensionar un sistema.
- Conocer las diferentes políticas que se han desarrollado para impulsar la energía solar PV en Uruguay y en el Mundo.

Contenido del curso

- 1) **Historia de la energía solar PV:** Orígenes, el efecto fotoeléctrico, Grecia, Roma antes de Cristo. Los Siglos XVIII y XIX, el efecto fotovoltaico (Bequerel), el siglo XX, Bell Labs, uso en Satelites, el siglo XXI, la energía del futuro.
- 2) **La energía PV en Uruguay y en el Mundo:** Indicadores internacionales de participación por país y por tecnología. Evolución de la potencia instalada en diferentes regiones. Principales fabricantes en el mundo y tendencias. El caso de Uruguay: el decreto 133/013 y las perspectivas de instalación de diferentes parques.
- 3) **Fundamentos de Radiación Solar:** Definiciones generales, componentes de la radiación (directa y difusa), análisis de sombra, mapa solar, pasaje a plano inclinado (método HDKR), métodos para separación de directa y difusa. Repaso por los principales equipos de medida de radiación solar.
- 4) **Tecnologías de Módulos PV:** Repaso de las principales tecnologías de módulos fotovoltaicos: Silicio Cristalino, Silicio Policristalino, Película delgada, materiales amorfos, materiales orgánico. Análisis comparativo costo vs. eficiencia. En qué condiciones es más conveniente cada una de las tecnologías.
- 5) **Sistemas Fotovoltaicos - Componentes y Conceptos:** Repaso de los componentes fundamentales de los sistemas fotovoltaicos: paneles, inversor, transformador, banco de baterías, cableado y consideraciones a tener en cuenta a la hora de su instalación en un sistema fotovoltaico.

Contenido del curso

- 6) **Diseño de Sistemas Fotovoltaicos**: Proceso de diseño de sistemas autónomos, sistemas conectados a red, sistemas con almacenamiento. Dimensionamiento de cada uno de los componentes principales para cada tipo de sistemas.
- 7) **Software de diseño de sistemas PV**: Modelos matemáticos de componentes, repaso de algunos software recomendados para realizar simulaciones de funcionamiento de sistemas PV.
- 8) **Normativa vigente en Uruguay y perspectivas**: Repaso normativo que rige el sector eléctrico uruguayo y particularmente aplicado a la energía solar fotovoltaica (micro y macro generación) y perspectivas para los próximos años.
- 9) **Otros aspectos de los sistemas**: Monitorización, operación y mantenimiento, tendencias tecnológicas y otros aspectos relevantes en la operativa de sistemas fotovoltaicos.



Contenido del curso

- Visita práctica: Instalación de 150 kW – Fecha y hora a coordinar.



Contenido del curso

Forma de evaluación

- Prueba escrita presencial
- Realización de un trabajo final grupal: Diseño de un sistema solar PV
- Defensa final del trabajo



Contenido del curso

- Datos de contacto
 - Diego Oroño: diego.orono@gmail.com
 - Gonzalo Hermida: gonzalohermida@gmail.com
- Página de EVA
 - <https://eva.fing.edu.uy/>

Desarrollo Sustentable



DESARROLLO SUSTENTABLE

« desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades». Esta definición fue empleada por primera vez en 1987 en la Comisión Mundial del Medio Ambiente de la ONU.

Las tres dimensiones del desarrollo sostenible: **medioambiente, economía y sociedad.**

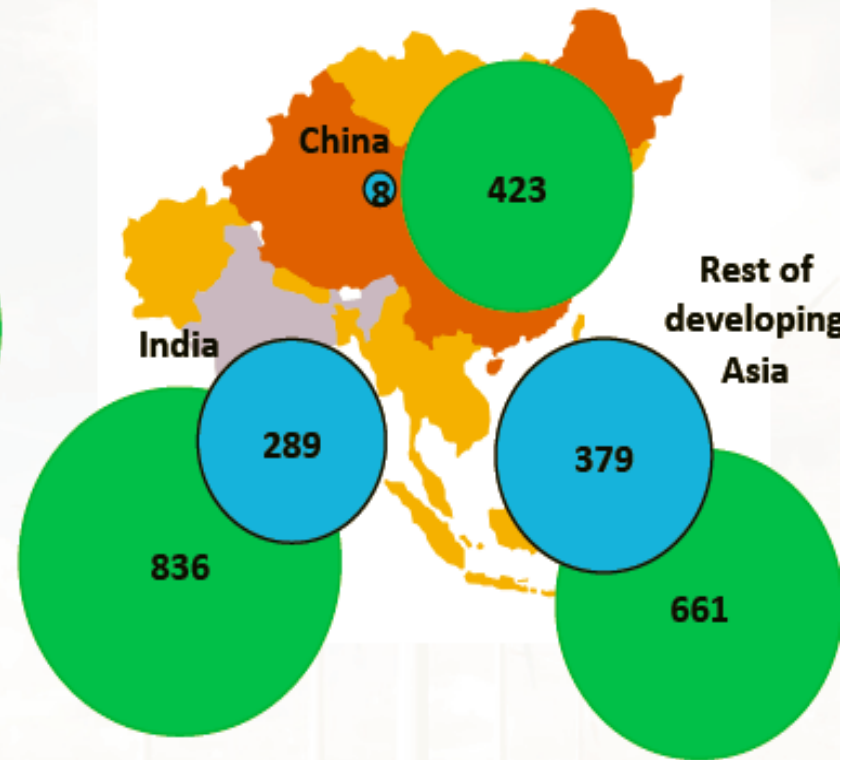
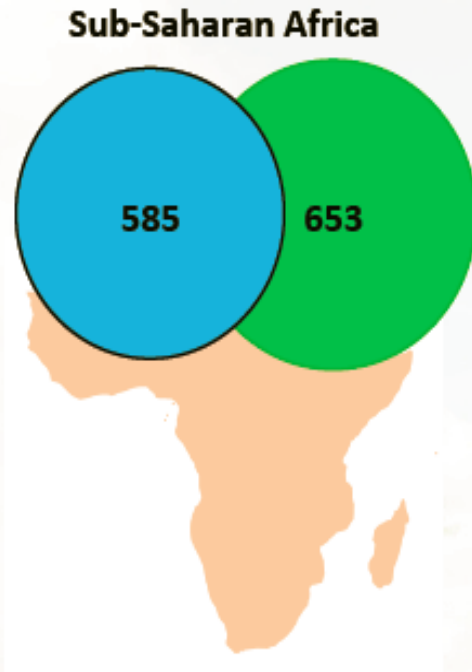
El desarrollo de las actividades humanas ligadas al desarrollo económico y social tiene gran efecto sobre el equilibrio global del planeta.

Los usos energéticos alteran el entorno, esta incidencia ambiental se incrementará en la medida en que precisemos más energía. Actualmente el consumo crece un promedio del 2.3% anual y ha crecido el 100% desde la era industrial.

Población mundial: 8000 millones de personas

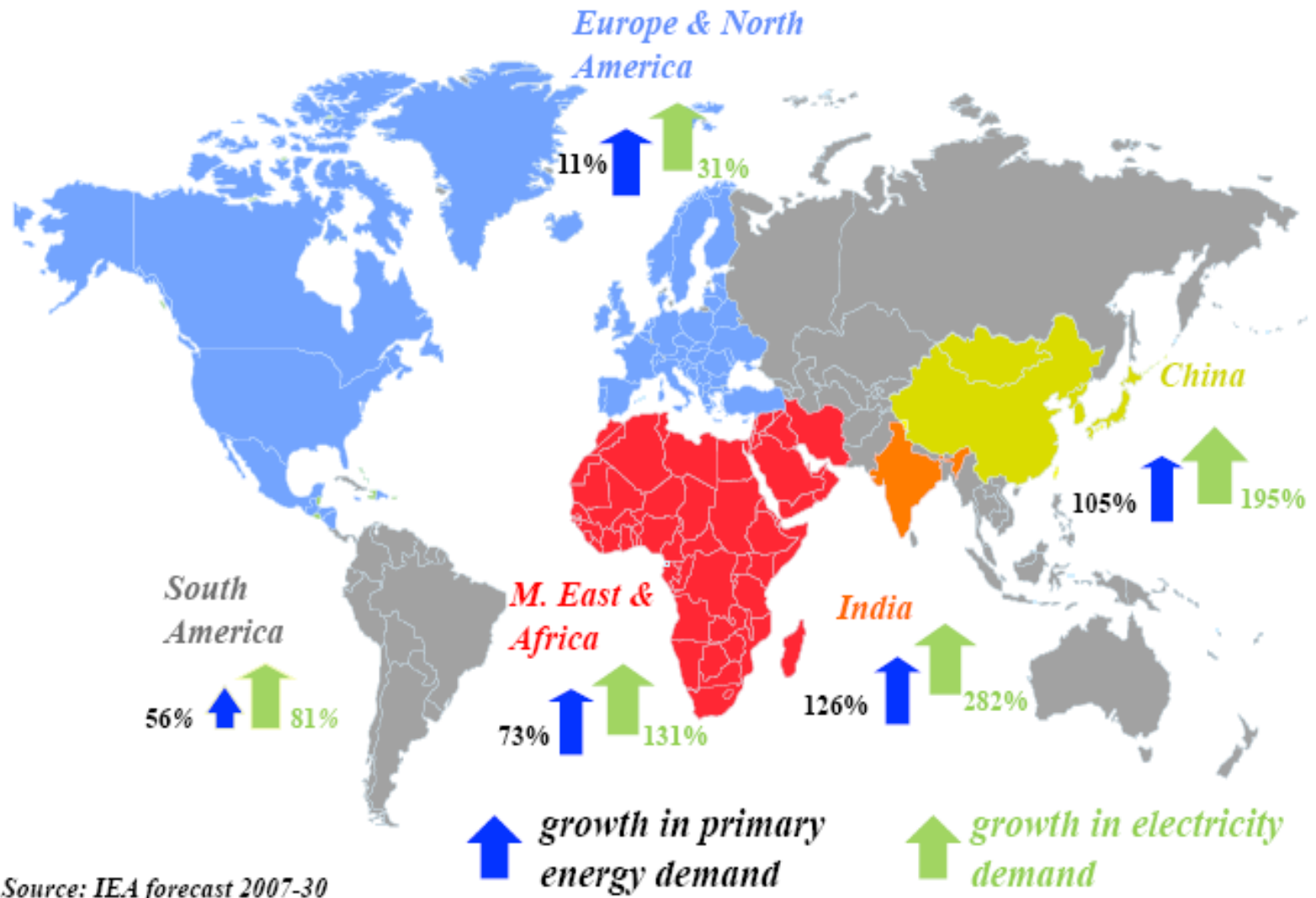
- 1/5 no acceden a energía eléctrica
- 1/3 no accede a medios cocción higiénicos

- Million people without electricity
- Million people without clean cooking facilities

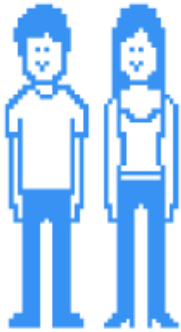


1.3 billion people in the world live without electricity & 2.7 billion live without clean cooking facilities

Previsión del crecimiento de demanda energética



Source: IEA forecast 2007-30



How many people can the earth support?

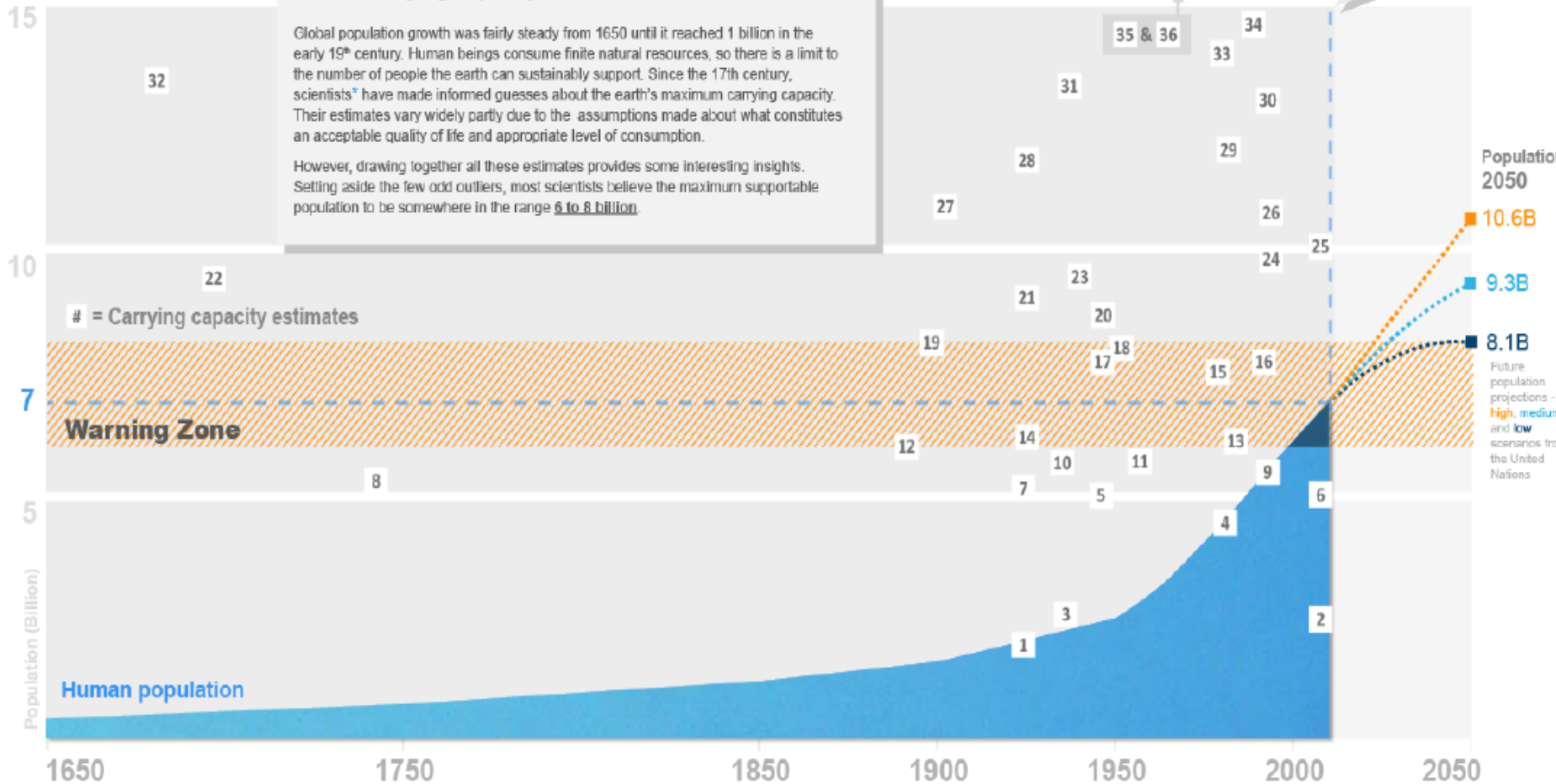
7 billion

7 billion is the total human population on planet earth on 31 October 2011, according to the United Nations.

Global population vs. scientific estimates of the earth's carrying capacity: 1650-2050

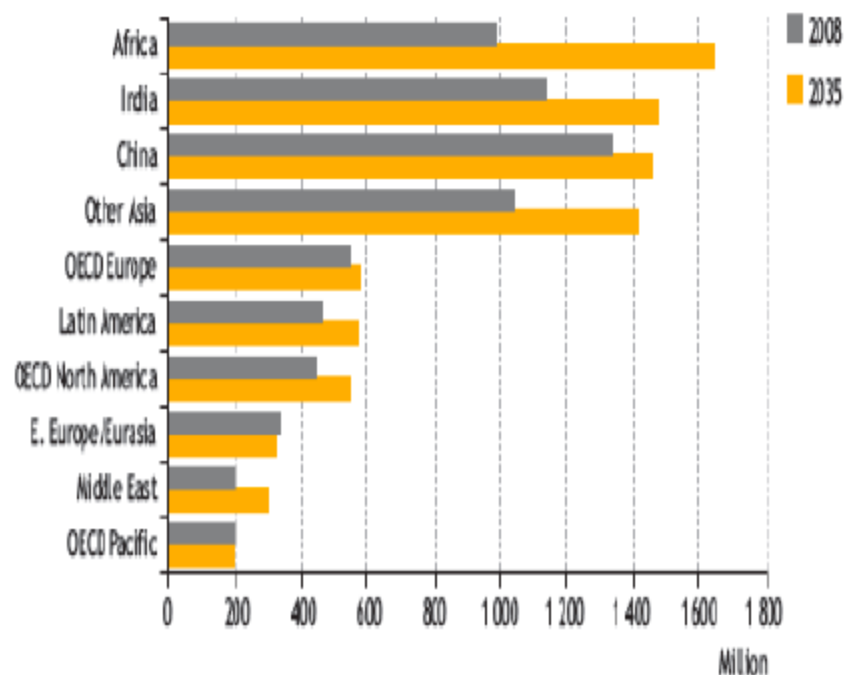
Global population growth was fairly steady from 1650 until it reached 1 billion in the early 19th century. Human beings consume finite natural resources, so there is a limit to the number of people the earth can sustainably support. Since the 17th century, scientists* have made informed guesses about the earth's maximum carrying capacity. Their estimates vary widely partly due to the assumptions made about what constitutes an acceptable quality of life and appropriate level of consumption.

However, drawing together all these estimates provides some interesting insights. Setting aside the few odd outliers, most scientists believe the maximum supportable population to be somewhere in the range **6 to 8 billion**.



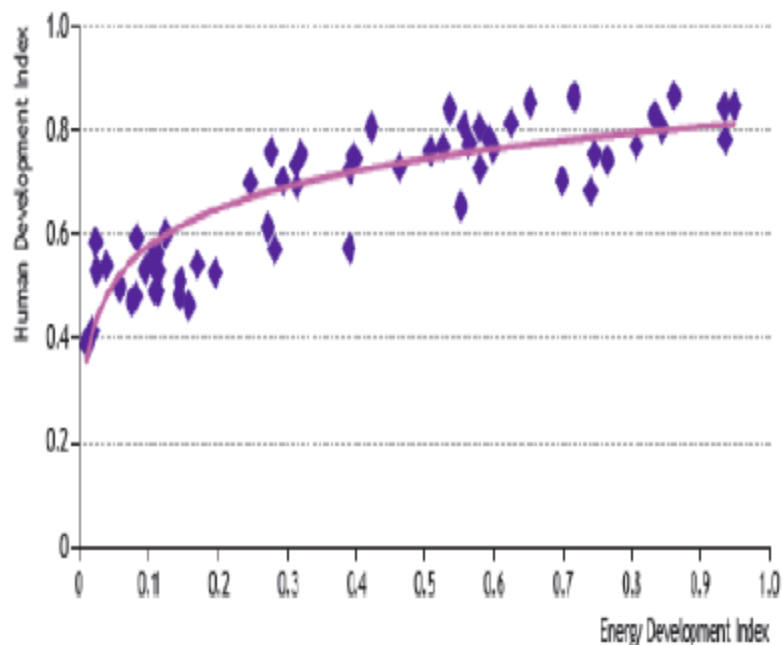
The warning zone represents the most frequently cited values for maximum carrying capacity (the zone bounded by the median and modal values taken from all the cited studies)

Evolución de la población mundial



Sources: UNPD and World Bank databases; IEA analysis.

Desarrollo humano versus energía



La disponibilidad de energía es uno de los elementos básicos de desarrollo de una población mundial creciente



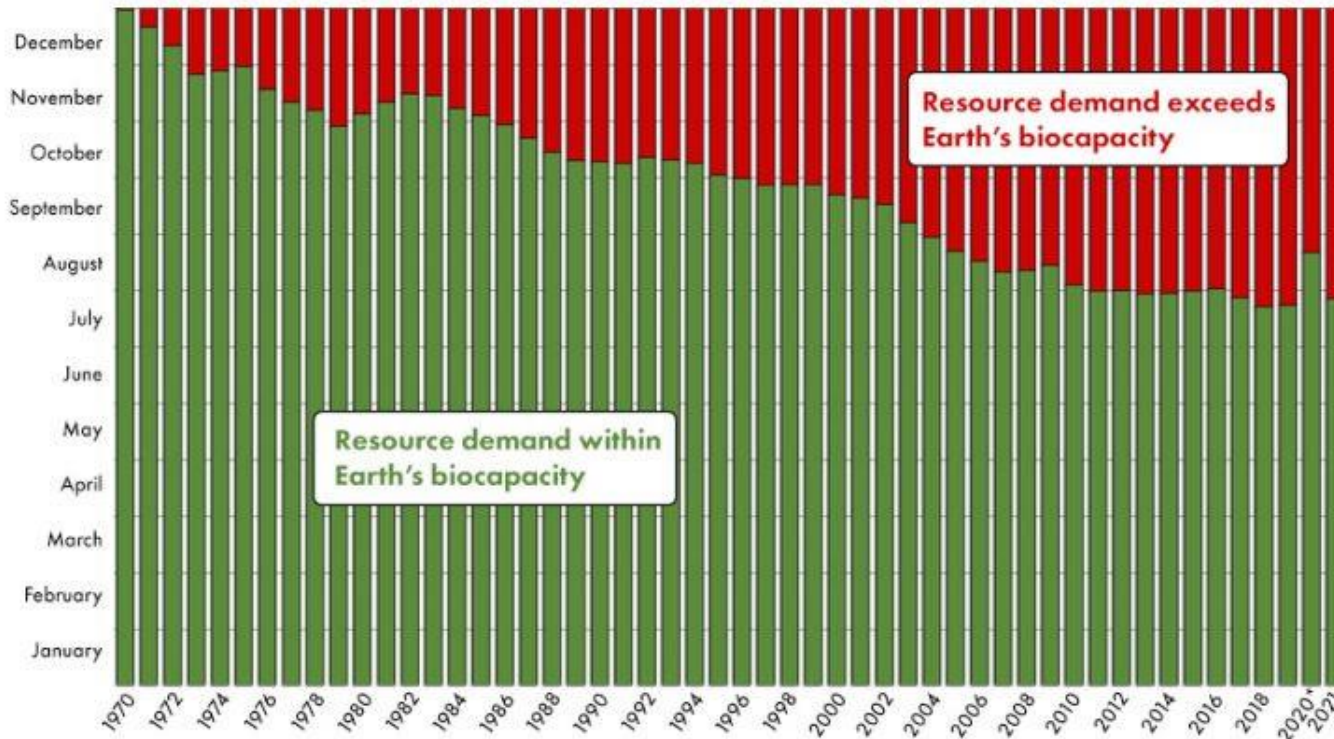


1 Earth

Earth Overshoot Day 1970 - 2021



1.7 Earths



*The calculation of Earth Overshoot Day 2020 reflects the initial drop in resource use in the first half of the year due to pandemic-induced lockdowns. All other years assume a constant rate of resource use throughout the year.

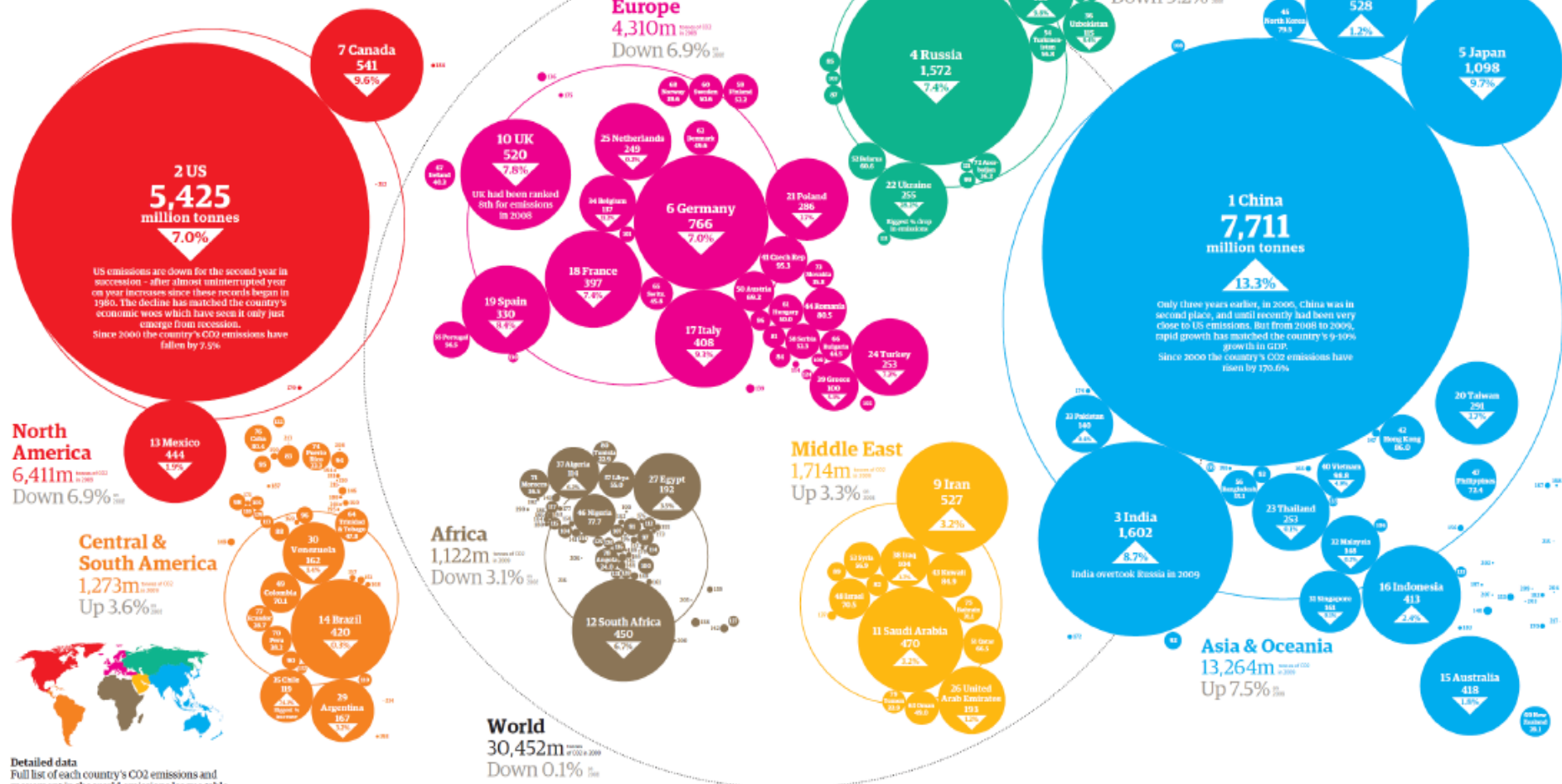
Source: National Footprint and Biocapacity Accounts 2021 Edition
data.footprintnetwork.org

An atlas of pollution: the world in carbon dioxide emissions

Latest data published by the US Energy Information Administration provides a unique picture of economic growth - and decline. China has sped ahead of the US, as shown by this map, which resizes each country according to CO2 emissions. And, for the first time, world emissions have gone down



2009



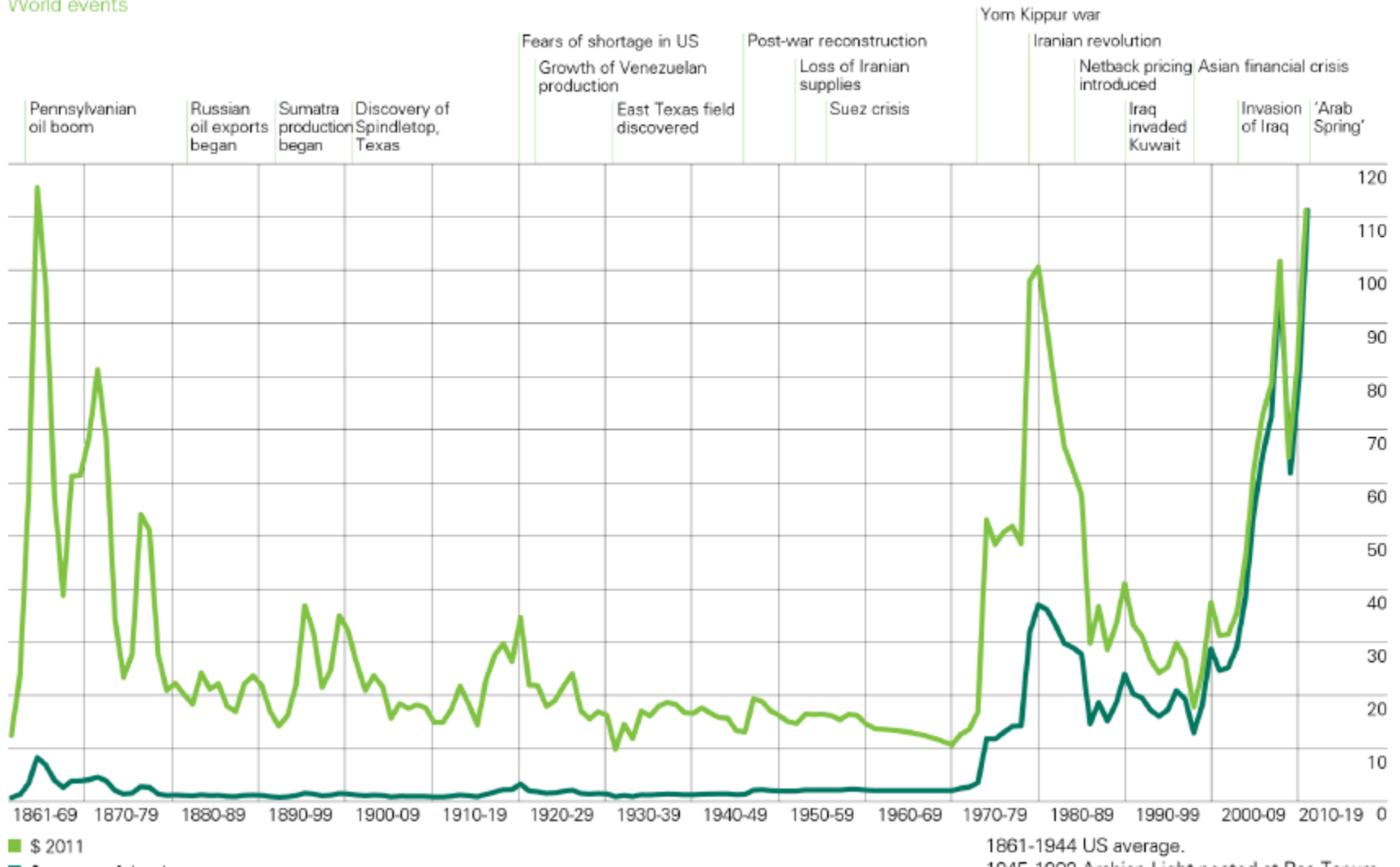
Detailed data
Full list of each country's CO2 emissions and movement in the world emissions league table

Rank	Country	Million tonnes	Percent	Rank	Country	Million tonnes	Percent	Rank	Country	Million tonnes	Percent	Rank	Country	Million tonnes	Percent	Rank	Country	Million tonnes	Percent
1	China	7,711	13.2%	23	Thailand	233	2.7%	41	North Korea	79.5	0.3%	69	Guatemala	10.5	0.03%	97	Maldives	0.1	0.0003%
2	USA	5,425	7.0%	24	Taiwan	291	2.7%	42	South Korea	528	1.2%	70	Paraguay	10.5	0.03%	98	Yemen	0.1	0.0003%
3	India	1,602	8.7%	25	Netherlands	249	3.2%	43	Japan	1,098	9.7%	71	Uruguay	10.5	0.03%	99	Timor-Leste	0.1	0.0003%
4	Russia	1,572	7.4%	26	United Arab Emirates	193	1.1%	44	South Africa	450	6.2%	72	Costa Rica	10.5	0.03%	100	Vanuatu	0.1	0.0003%
5	Japan	1,098	9.7%	27	Egypt	102	3.3%	45	Iran	527	3.2%	73	Chad	10.5	0.03%	101	Samoa	0.1	0.0003%
6	Germany	766	7.0%	28	Kazakhstan	185	1.6%	46	Saudi Arabia	470	2.7%	74	Guinea	10.5	0.03%	102	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
7	France	397	7.4%	29	Uzbekistan	125	1.1%	47	Israel	17.5	0.05%	75	Senegal	10.5	0.03%	103	Sierra Leone	0.1	0.0003%
8	UK	520	7.8%	30	Venezuela	123	1.0%	48	Italy	408	8.3%	76	Sierra Leone	0.1	0.0003%	104	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%
9	Italy	408	8.3%	31	Brazil	420	3.3%	49	Spain	330	8.4%	77	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	105	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
10	Spain	330	8.4%	32	Argentina	167	1.3%	50	Canada	541	5.6%	78	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	106	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
11	South Africa	450	6.2%	33	Colombia	101	0.9%	51	Mexico	444	1.7%	79	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	107	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
12	South Africa	450	6.2%	34	Peru	101	0.9%	52	China	7,711	13.3%	80	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	108	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
13	Iran	527	3.2%	35	Chile	101	0.9%	53	India	1,602	8.7%	81	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	109	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
14	Saudi Arabia	470	2.7%	36	Peru	101	0.9%	54	Russia	1,572	7.4%	82	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	110	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
15	United Arab Emirates	193	1.1%	37	Chile	101	0.9%	55	Germany	766	7.0%	83	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	111	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
16	Indonesia	413	2.4%	38	Peru	101	0.9%	56	UK	520	7.8%	84	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	112	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
17	Italy	408	8.3%	39	Chile	101	0.9%	57	France	397	7.4%	85	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	113	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
18	France	397	7.4%	40	Peru	101	0.9%	58	Spain	330	8.4%	86	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	114	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
19	Spain	330	8.4%	41	Peru	101	0.9%	59	Italy	408	8.3%	87	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	115	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
20	Taiwan	291	2.7%	42	Peru	101	0.9%	60	Canada	541	5.6%	88	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	116	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
21	Poland	286	3.2%	43	Peru	101	0.9%	61	Mexico	444	1.7%	89	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	117	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
22	Ukraine	255	(Emissions in 2008)	44	Peru	101	0.9%	62	China	7,711	13.3%	90	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	118	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
23	Thailand	233	2.7%	45	Peru	101	0.9%	63	India	1,602	8.7%	91	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	119	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
24	Turkey	253	3.3%	46	Peru	101	0.9%	64	Russia	1,572	7.4%	92	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	120	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
25	Netherlands	249	3.2%	47	Peru	101	0.9%	65	Germany	766	7.0%	93	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	121	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
26	United Arab Emirates	193	1.1%	48	Peru	101	0.9%	66	UK	520	7.8%	94	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	122	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
27	Egypt	102	3.3%	49	Peru	101	0.9%	67	France	397	7.4%	95	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	123	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
28	Kazakhstan	185	1.6%	50	Peru	101	0.9%	68	Spain	330	8.4%	96	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	124	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
29	Uzbekistan	125	1.1%	51	Peru	101	0.9%	69	Italy	408	8.3%	97	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	125	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
30	Venezuela	123	1.0%	52	Peru	101	0.9%	70	Canada	541	5.6%	98	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	126	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
31	Brazil	420	3.3%	53	Peru	101	0.9%	71	Mexico	444	1.7%	99	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	127	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
32	Argentina	167	1.3%	54	Peru	101	0.9%	72	China	7,711	13.3%	100	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	128	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
33	Colombia	101	0.9%	55	Peru	101	0.9%	73	India	1,602	8.7%	101	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	129	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
34	Peru	101	0.9%	56	Peru	101	0.9%	74	Russia	1,572	7.4%	102	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	130	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
35	Chile	101	0.9%	57	Peru	101	0.9%	75	Germany	766	7.0%	103	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	131	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
36	Peru	101	0.9%	58	Peru	101	0.9%	76	UK	520	7.8%	104	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	132	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
37	Chile	101	0.9%	59	Peru	101	0.9%	77	France	397	7.4%	105	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	133	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
38	Peru	101	0.9%	60	Peru	101	0.9%	78	Spain	330	8.4%	106	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	134	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
39	Chile	101	0.9%	61	Peru	101	0.9%	79	Italy	408	8.3%	107	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	135	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
40	Peru	101	0.9%	62	Peru	101	0.9%	80	Canada	541	5.6%	108	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	136	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
41	Peru	101	0.9%	63	Peru	101	0.9%	81	Mexico	444	1.7%	109	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	137	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
42	Peru	101	0.9%	64	Peru	101	0.9%	82	China	7,711	13.3%	110	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	138	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
43	Peru	101	0.9%	65	Peru	101	0.9%	83	India	1,602	8.7%	111	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	139	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
44	Peru	101	0.9%	66	Peru	101	0.9%	84	Russia	1,572	7.4%	112	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	140	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
45	Peru	101	0.9%	67	Peru	101	0.9%	85	Germany	766	7.0%	113	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	141	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
46	Peru	101	0.9%	68	Peru	101	0.9%	86	UK	520	7.8%	114	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	142	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
47	Peru	101	0.9%	69	Peru	101	0.9%	87	France	397	7.4%	115	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	143	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
48	Peru	101	0.9%	70	Peru	101	0.9%	88	Spain	330	8.4%	116	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	144	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
49	Peru	101	0.9%	71	Peru	101	0.9%	89	Italy	408	8.3%	117	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	145	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
50	Peru	101	0.9%	72	Peru	101	0.9%	90	Canada	541	5.6%	118	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	146	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
51	Peru	101	0.9%	73	Peru	101	0.9%	91	Mexico	444	1.7%	119	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	147	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
52	Peru	101	0.9%	74	Peru	101	0.9%	92	China	7,711	13.3%	120	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	148	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
53	Peru	101	0.9%	75	Peru	101	0.9%	93	India	1,602	8.7%	121	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	149	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
54	Peru	101	0.9%	76	Peru	101	0.9%	94	Russia	1,572	7.4%	122	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	150	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
55	Peru	101	0.9%	77	Peru	101	0.9%	95	Germany	766	7.0%	123	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	151	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
56	Peru	101	0.9%	78	Peru	101	0.9%	96	UK	520	7.8%	124	Guinea-Bissau	0.1	0.0003%	152	Equatorial Guinea	0.1	0.0003%
57	Peru	101	0.9%	79	Peru	101	0.9%	97	France	397	7.4%	125	Guinea-Bissau	0.1	0.000				

Crude oil prices 1861-2011

US dollars per barrel

World events



Below, we show how the price of oil has changed in response to various events over the last five decades.

● Imported Refiner Acquisition Cost ● West Texas Intermediate

Crude oil price (\$/barrel, real 2010 dollars)

\$150

\$125

\$100

\$75

\$50

\$25

\$0



1971
U.S. spare capacity exhausted

1973
Arab Oil Embargo

1978
Iranian Revolution

1980
Iran-Iraq War

1986
Saudis abandon swing producer role

1990
Iraq invades Kuwait

1997
Asian financial crisis

1999
OPEC cuts production targets by 1.7M barrels a day

2001
9/11 attacks

2005
Low spare capacity

2008
Global financial collapse

2009
OPEC cuts production targets by 4.2M barrels a day

2015
OPEC production quota unchanged despite low oil prices

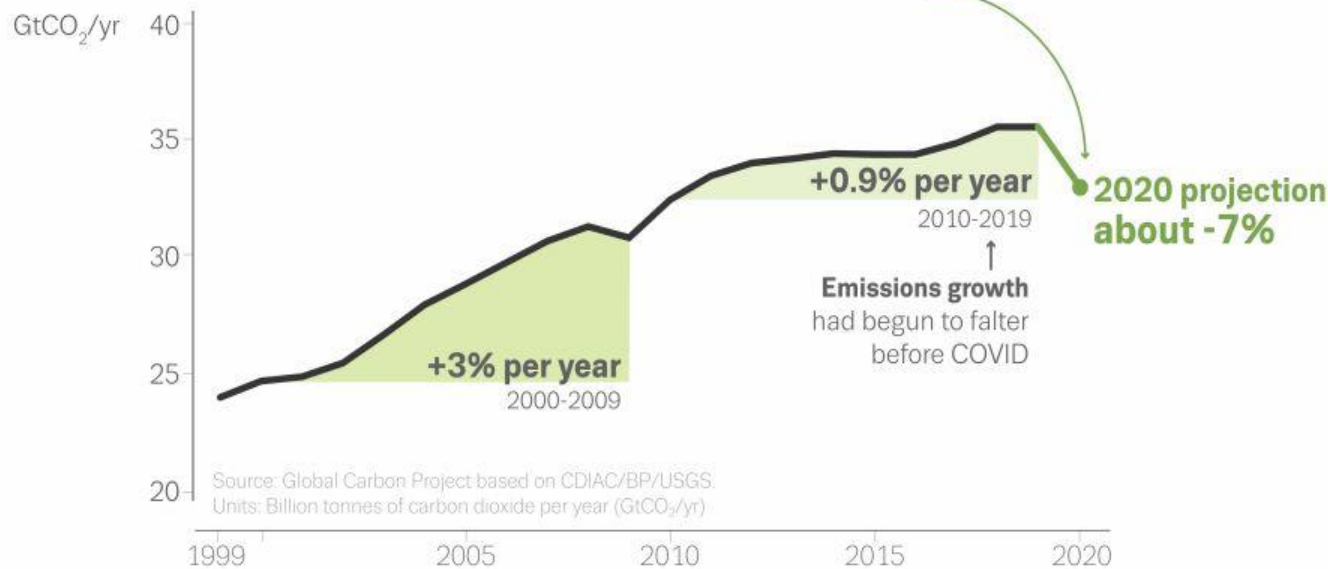
2020
Global pandemic reduces oil demand

2022
Russia invades Ukraine

Source: U.S. Energy Information Administration, Refinitiv (Mar 2022)

2020 AÑO DE NUEVA NORMALIDAD POR COVID 19

2020 fossil emissions **decrease of 2.4 billion tonnes** is largest ever recorded



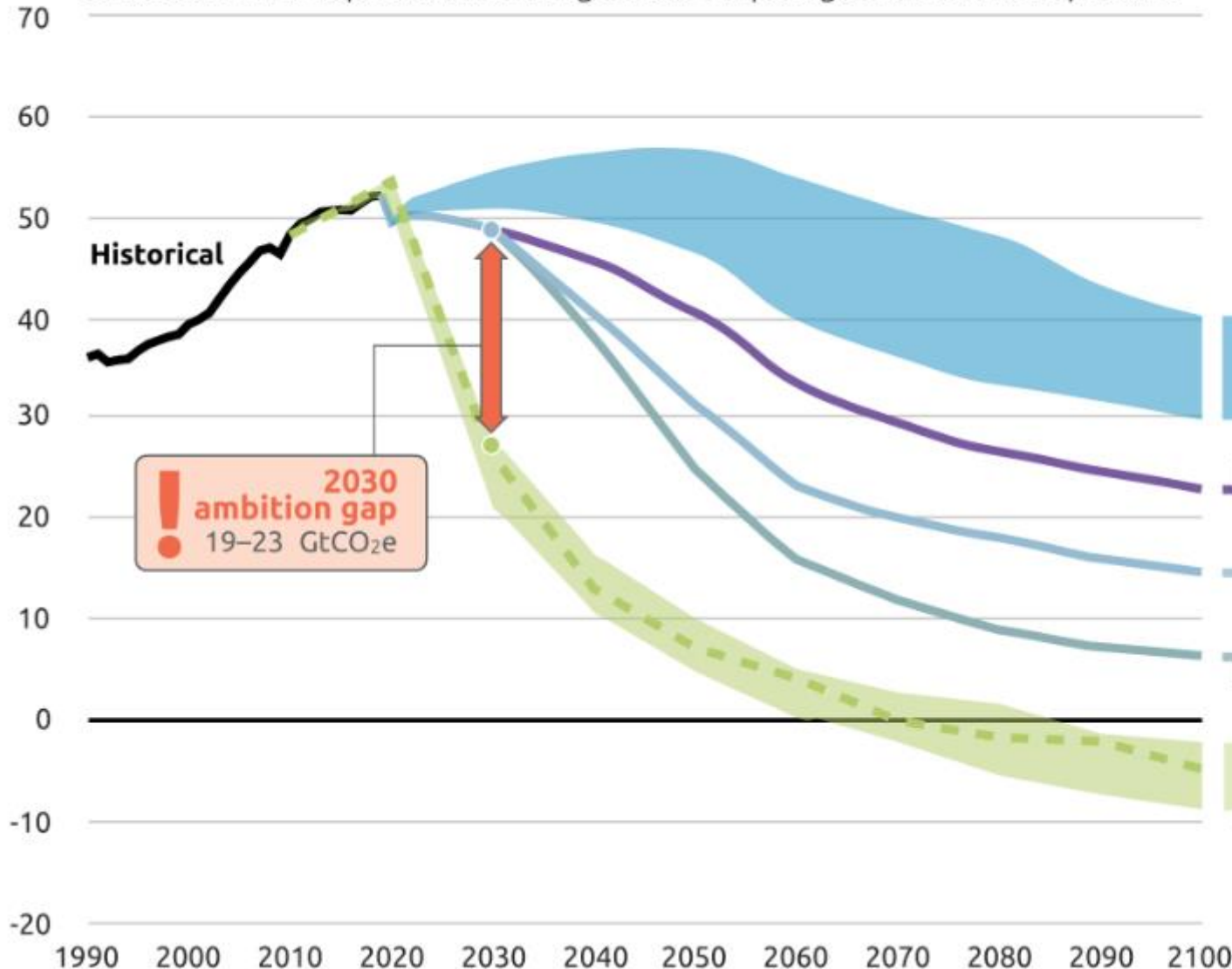
CO₂ emissions
cuts of 1 to 2 billion tonnes are needed each year between 2020 and 2030 to limit climate change in line with Paris Agreement goals

2020 AÑO DE LA MAYOR REDUCCION DE EMISIONES DE CO2 NUNCA ANTES REGISTRADA

2100 WARMING PROJECTIONS

Emissions and expected warming based on pledges and current policies

Global greenhouse gas emissions GtCO_{2e} / year



Warming projected by 2100

Policies & action
+2.5 – 2.9°C

2030 targets only
+2.4°C

Pledges & targets
+2.1°C

Optimistic scenario
+1.8°C

1.5°C consistent
+1.3°C

¿Por qué Renovables?

Dentro de las **tres dimensiones del desarrollo sostenible: medioambiente, economía y sociedad**, la problemática energética presenta grandes dificultades.

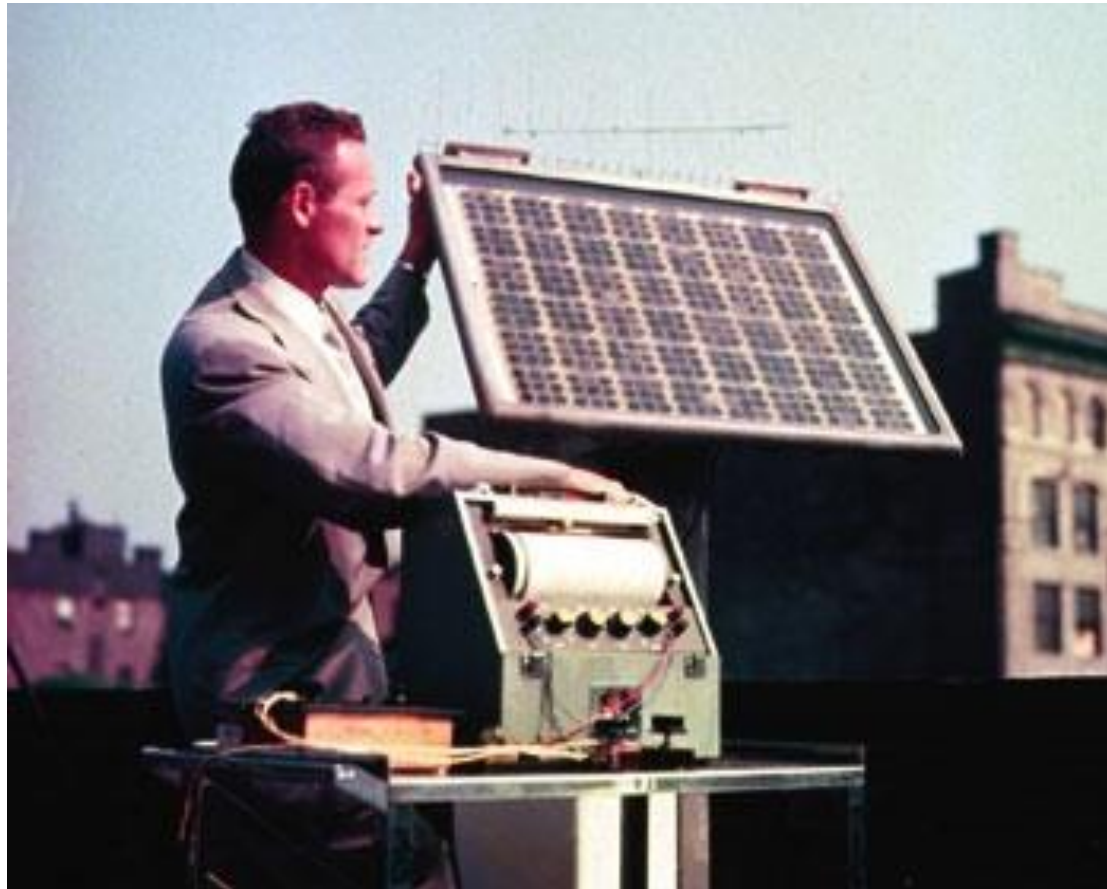
Será necesaria una evolución hacia modelos de desarrollo que demanden un consumo energético reducido (**eficiencia energética**) y su vez, la demanda deberá ser abastecida por medio de energías amigables con el medio ambiente y que se encuentren accesibles en las distintas regiones del planeta, es decir por fuentes de **energías autóctonas y renovables**.

¿Por qué Renovables en URUGUAY ?

- Mantienen bajo nivel de emisiones de GEI
- Evitan importación de combustibles
- Reducen y estabilizan costos
- Permiten desarrollar de capacidades locales
- Generan Soberanía energética
- **PORQUE DISPONEMOS DEL RECURSO!!**



Historia de la Energía Solar





 **Pigreco**
valerate artistiche



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Grecia y Roma – Antes de Cristo

- **Arquímedes:** Durante la batalla de Siracusa en el siglo II antes de Cristo, los griegos utilizó un dispositivo de bronce que concentraba los rayos solares con el objetivo de quemar los barcos romanos y como este dispositivo se conocía como este dispositivo se conocía como los espejos de Arquímedes.

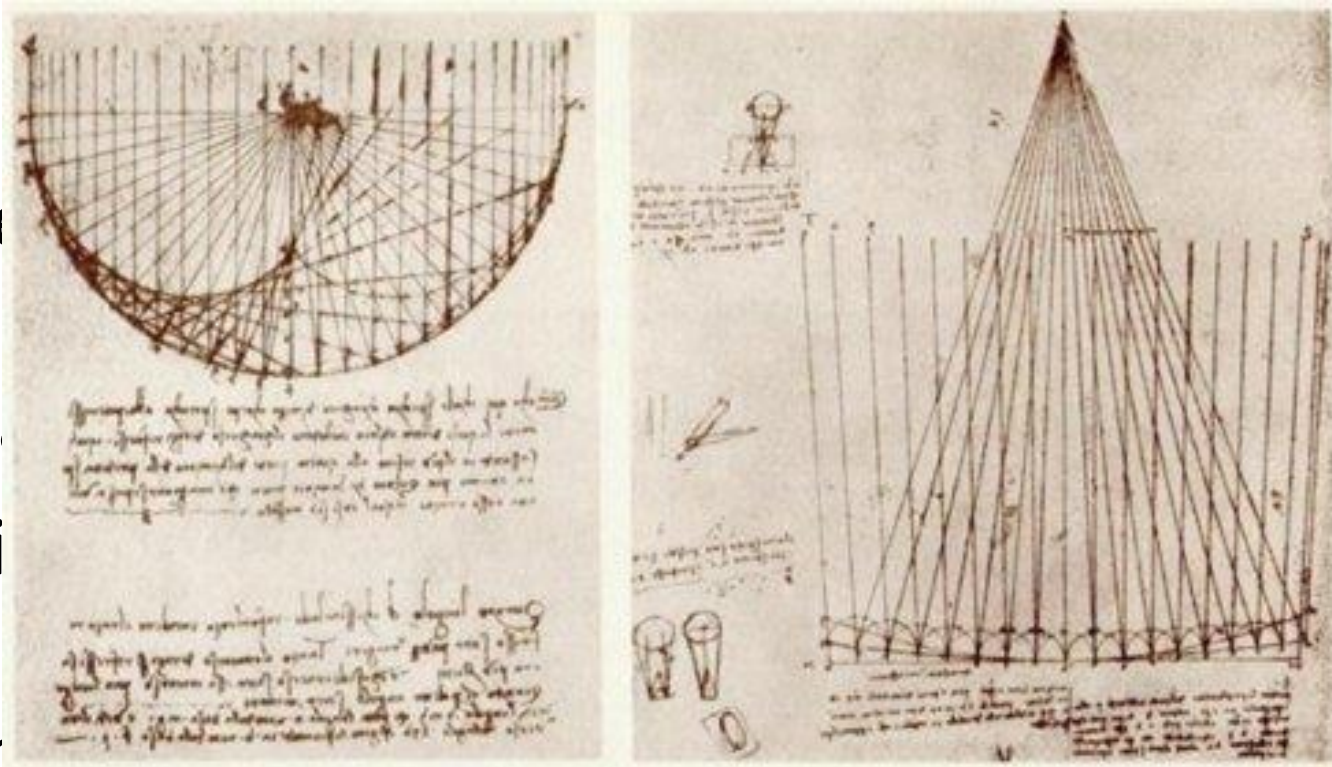


Siglo XIV

Leonardo da Vinci



- En el proyecto del catino
- El interior espesa 6 km



ra la
con

con
r de

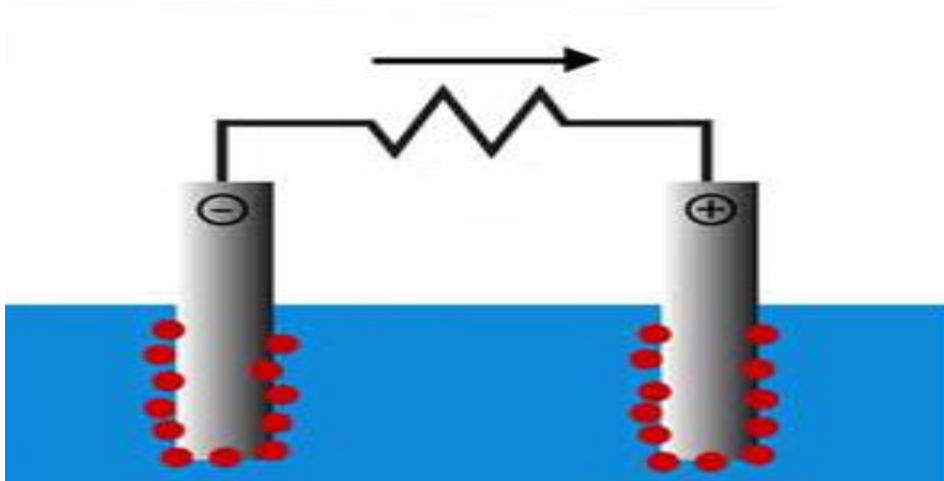
Siglos XVII y XIX

- En el año 1767 el científico suizo Horace de Saussure fue el creador del primer colector solar, una caja aislada con tres hojas de vidrio



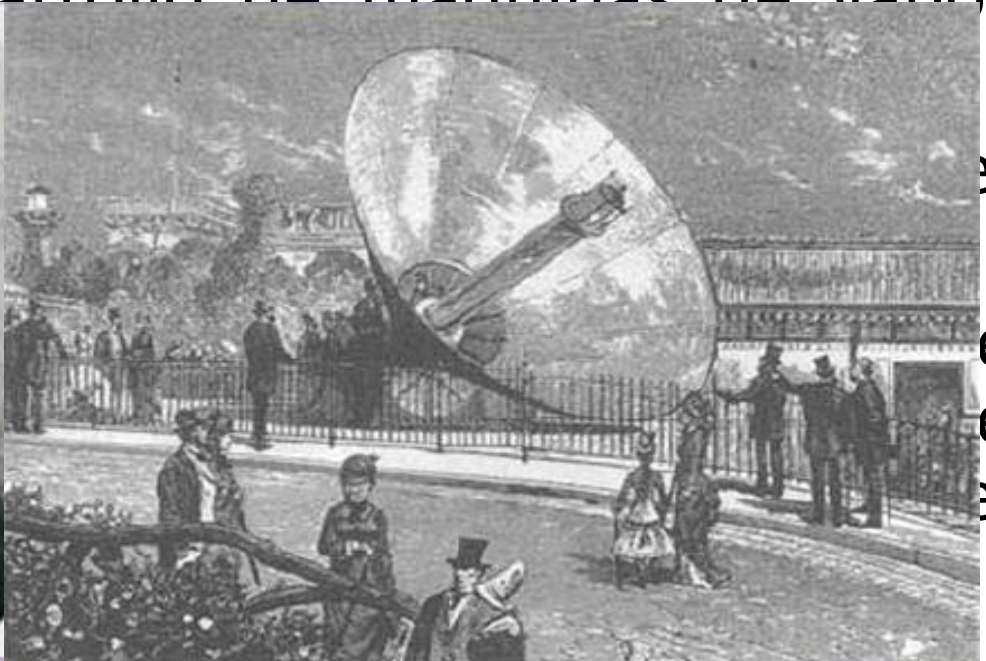
Siglos XVII y XIX

- En 1839 el científico francés **Edmond Becquerel** descubre el efecto fotovoltaico (generación de voltaje o corriente en un material cuando es expuesto a la luz).



Siglos XVII y XIX

- En las décadas de los 60's y 70's del siglo XIX, el matemático francés **August Mouchet**, ante la idea de que las reservas de carbón eran limitadas, trabajó en el desarrollo de máquinas de vapor con el fin de reducir el consumo de carbón.
- En este contexto, se desarrolló la máquina de vapor de Mouchet, que utilizaba un sistema de escape de vapor que permitía un mayor rendimiento y menor consumo de combustible.
- Ante el problema de la escasez de carbón, se buscó alternativas energéticas como la energía hidráulica y la energía solar, lo que impulsó el desarrollo de tecnologías como el motor de vapor de Mouchet.



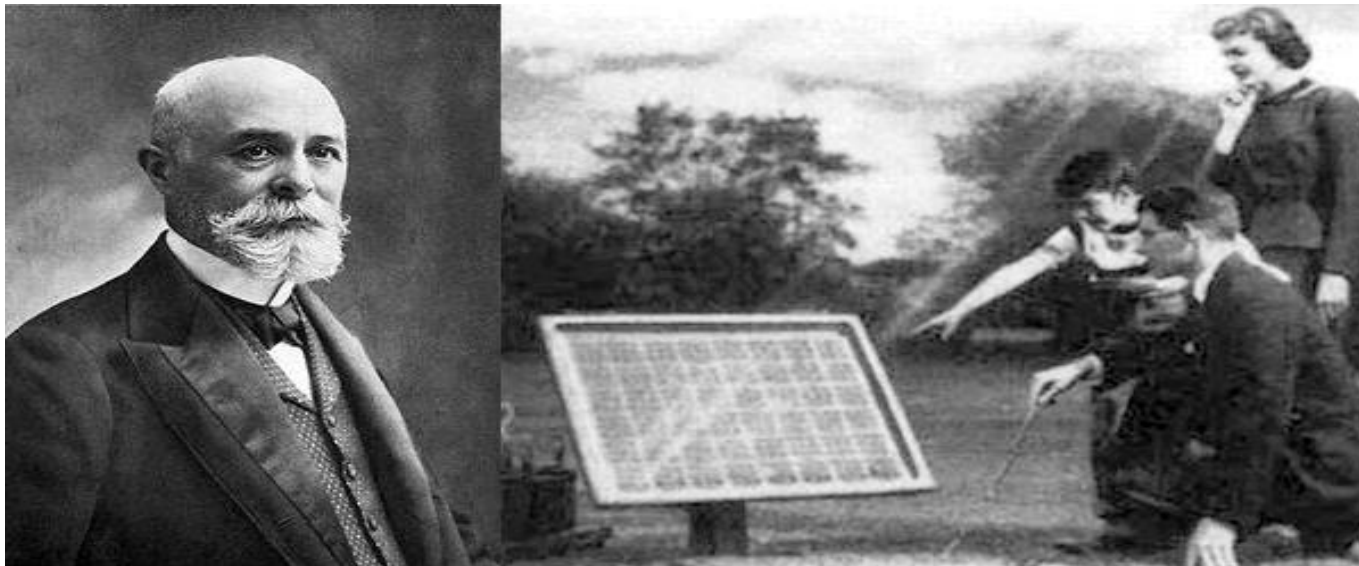
Siglos XVII y XIX

- **William Grylls Adams y Richard Evans** demostraron en 1876 que el selenio producía electricidad al ser expuesto a la luz. Si bien la performance del dispositivo era muy pobre, probaron que un material sólido podía transformar luz en electricidad sin calor o partes móviles.



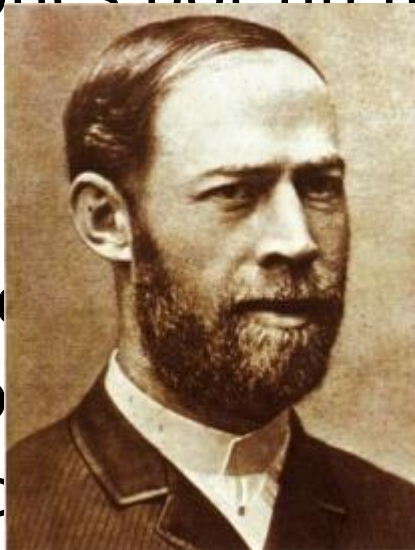
Siglos XVII y XIX

- Siete años después, **Charles Fritts** desarrolló un dispositivo fotovoltaico basado en una juntura de oro y selenio con una eficiencia de un 1% en la conversión de luz a electricidad



Siglos XVII y XIX

- En 1887 **Heinrich Hertz** descubrió el efecto fotoeléctrico, el cual consiste en la emisión de electrones por un material cuando se hace incidir sobre él luz ultravioleta.
- Hertz demostró que la luz es una onda electromagnética que viaja a una velocidad constante en el vacío.



Siglo XX

- En 1905 **Albert Einstein** publica el revolucionario artículo Heurística de la generación y conversión de la luz, basándose en la cuantización de la energía propuesta por Max Planck, y el efecto fotoeléctrico descubierto por Heinrich Hertz.
- Más tarde, en 1921, Einstein recibió el Premio Nobel de Física por su teoría de la relatividad especial, desarrollada diez años antes. En 1923, Einstein concluyó que los fotones pueden tener momento lineal, lo que fue confirmado por experimentos de Arthur Compton en 1923.



Siglo XX

- El científico polaco Jan Czochralsky desarrolló en 1918 una manera de hacer crecer silicio monocristalino, una técnica de gran importancia para la tecnología de células solares de Silicio monocristalino, creada en la segunda



Siglo XX

- En el año 1932 fue descubierto por Audobert y Stora el efecto fotovoltaico en los semiconductores II-VI, particularmente y como ejemplo de un semiconductor compuesto por materiales de estos grupos aparece el Sulfuro de Cadmio (CdS).

Close-up of the periodic table showing elements Phosphorus (P), Sulfur (S), and Selenium (Se). The image highlights the atomic numbers and chemical symbols for these elements.

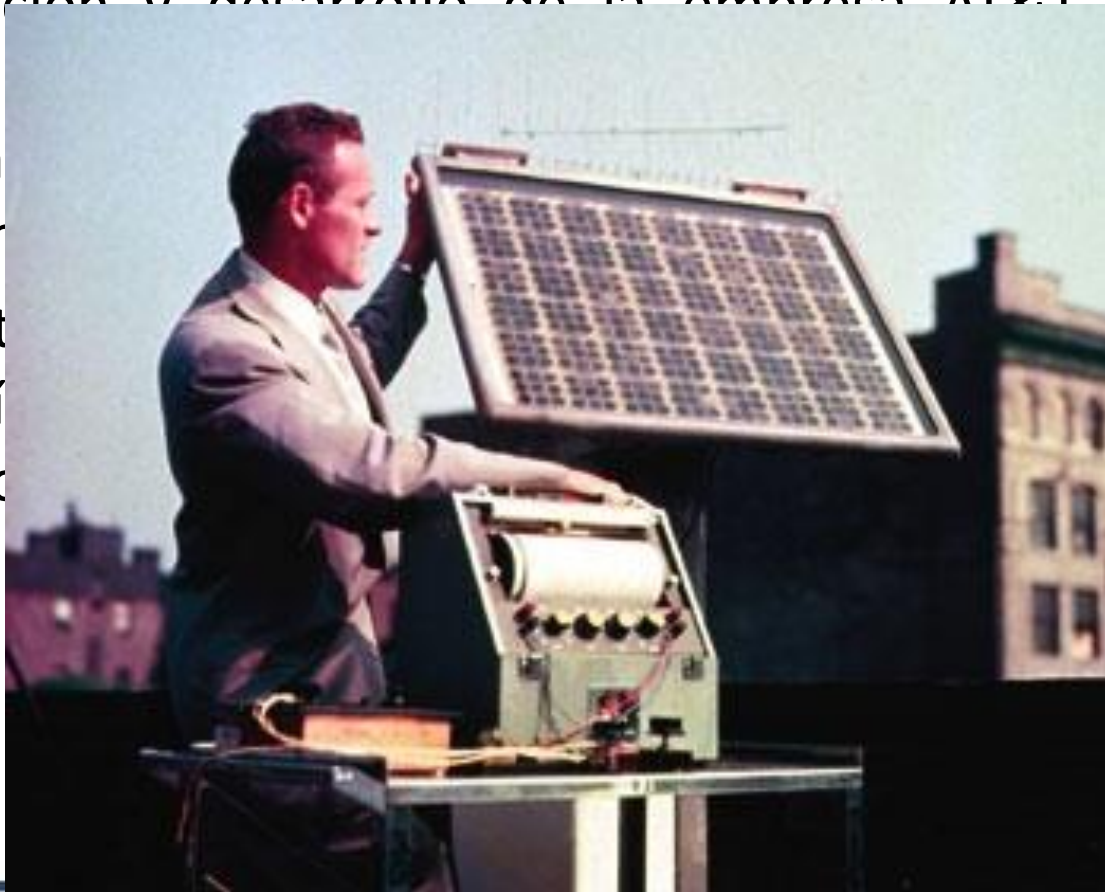
15 P Phosphorus 30.973761 [Ne]3s ² 3p ³ 4867	16 S Sulfur 32.065 [Ne]3s ² 3p ⁴ 10.3600	34 Se
---	---	----------

Close-up of the periodic table showing elements Silver (Ag) and Cadmium (Cd). The image highlights the atomic numbers and chemical symbols for these elements.

47 Ag Silver 107.8682 1.9	48 Cd Cadmium 112.411 1.7	49 In
---------------------------------------	---------------------------------------	----------

1954 – Año clave

- Tres investigadores de los famosos **Bell Labs**, el centro de investigación y desarrollo de la empresa AT&T, dieron a conocer el primer prototipo de célula eléctrica que convierte directamente la luz solar en energía eléctrica. Este prototipo generaba el 6% de eficiencia para dar lugar a las células modernas.



Fines del Siglo XX

- En el año 1968 el profesor **Giovanni Francia**, construyó el primer panel solar cerca de
- **Dave** en 1976, desarrolló la primera calculadora basada en silicio
- En el año 1975 se lanzó al mercado la primera calculadora solar



Fines del Siglo XX

- En los años 70, debido a la crisis del petróleo y el consiguiente aumento en los precios de los derivados, el interés público en tecnologías fotovoltaicas para aplicaciones terrestres comenzó a crecer, dejando de ser solamente un nicho tecnológico para la aplicaciones espaciales.
- Los años siguientes se pueden signar en el avance de la investigación y el desarrollo que permitieron comenzar una carrera en el aumento de la eficiencia de los diferentes tipos de tecnologías.
- **Para fines de los años 90 el total mundial instalado de energía solar fotovoltaica llegaba a 1 GW.**

MUY INTERESANTE

MIGRACIONES:
Ida y vuelta hacia
la supervivencia



SALMONELLA

**Cómo burlar
a la bacteria
del verano**

ECONOMIA

**Por un
puñado
de rublos**

GF
EDITORIAL
GARCIA FERRE

CELULAS FOTOVOLTAICAS
**LA ENERGIA
DEL FUTURO**

PICTOGRAMAS:
el nuevo esperanto

LA REVISTA DE DIVULGACION CIENTIFICA MAS LEIDA DEL MUNDO

Revista "Muy
Interesante"
Octubre 1990



Comienzos del siglo XXI

- Desde el 2000 la energía solar entró en una era donde los temas ambientales, económicos y la posibilidad real de que las reservas de combustibles fósiles se acaben hicieron que el interés en las energías renovables se tornara aún mas fuerte y de carácter popular.
- Esta es la era donde el mercado solar se transformó de un mercado local a un mercado global.



CUANTA FV HAY INSTALADA EN EL MUNDO A CIERRE DE 2023?



Comienzos del siglo XXI

- Alemania ha tomado la delantera en las políticas de feed-in tariff, que llevaron al liderazgo de este país a nivel industria y mercado.
- Desde el 2008 el gobierno Chino invirtió fuertemente en la industria solar local y en pocos años se ha transformado en el fabricante dominante a nivel mundial.
- En el año 2012 la energía solar fotovoltaica instalada sobrepasó la barrera de los **100 GW**
- En el año 2015 la energía solar fotovoltaica instalada sobrepasó la barrera de los **200 GW**
- En 2016 se sobrepasaron los **300 GW**
- En 2018 se sobrepasaron los **500 GW**
- En 2019 se sobrepasaron los **600 GW**
- En 2020 se sobrepasaron los **750 GW**
- En 2021 se sobrepasaron los **940 GW**
- En 2022 se sobrepasaron los 1180 GW
- **Al cierre de 2024 se registraron 1589 GW de capacidad instalada**

Situación actual



Los grandes números

30%

of total electricity generation was supplied by renewables in 2022



174 countries have renewable power targets, but only 37 have 100% targets

Only 3 countries announced new or revised renewable heating targets in 2022, for a total of 46 countries



Investment in renewables grew

+17.2%

in 2022, but growth was uneven across technologies and geographies



Electricity accounts for 23% of total final energy consumption



Newly installed renewable power capacity accounted for

348 GW

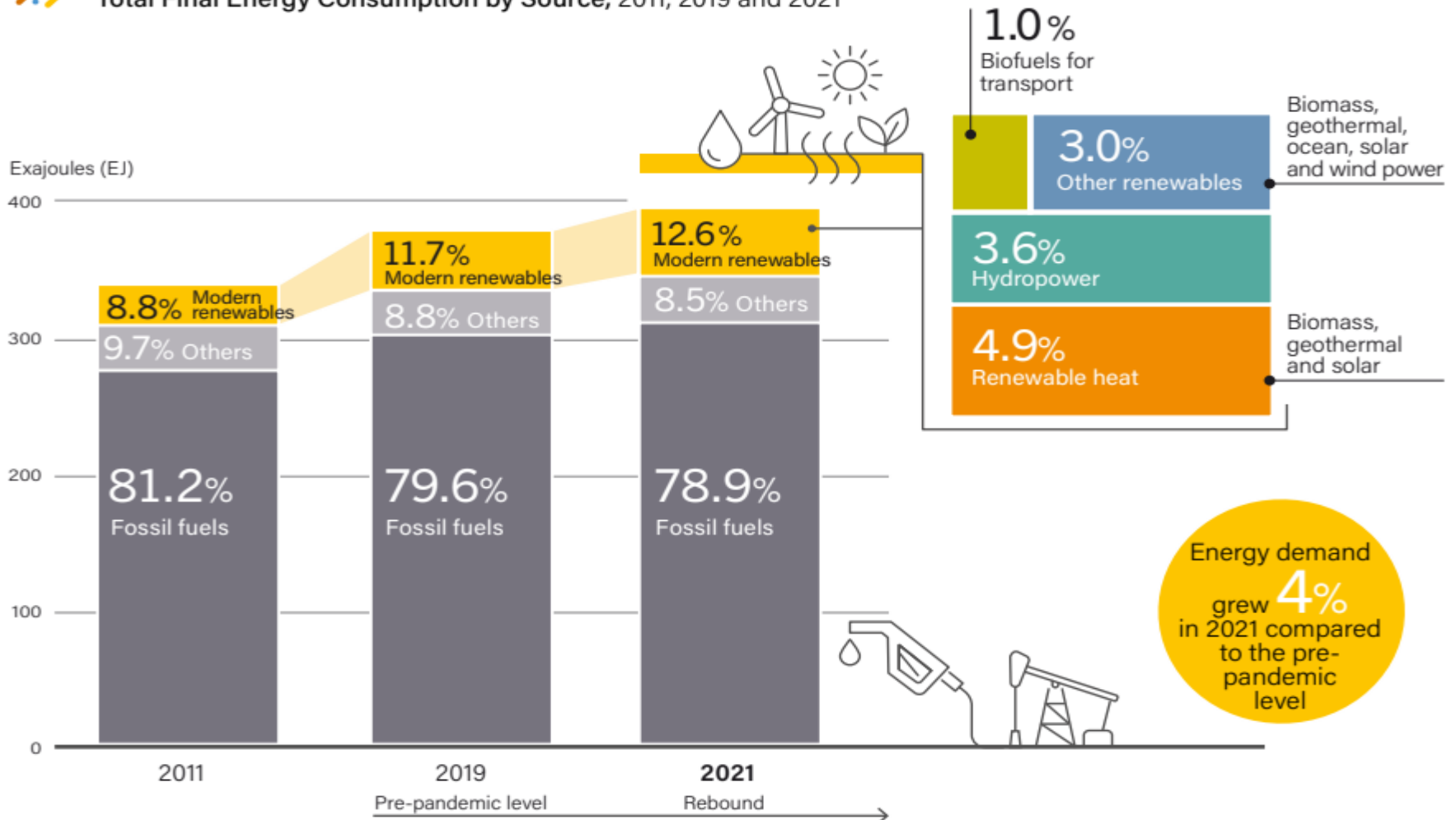
in 2022.




Renovables en la matriz primaria

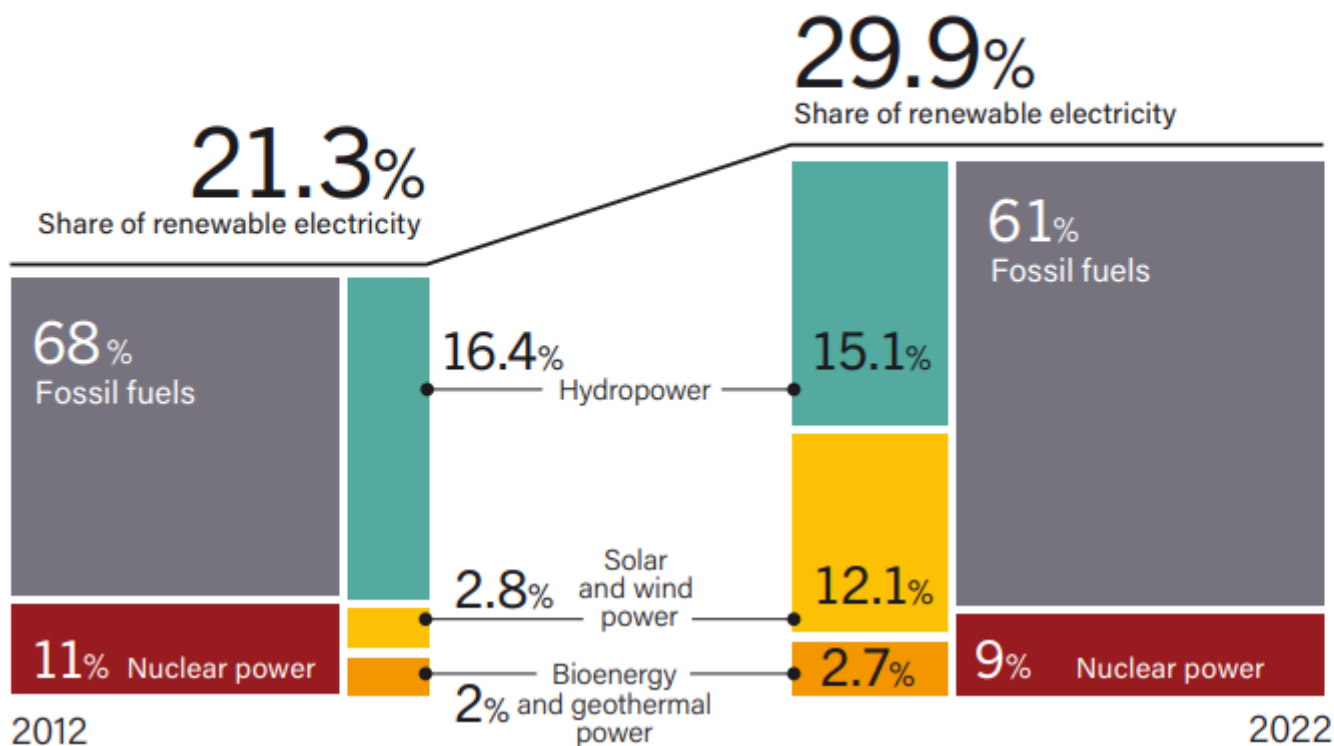


FIGURE 2.
Total Final Energy Consumption by Source, 2011, 2019 and 2021



Participación de renovables en la generación de electricidad

 **FIGURE 2.**
Share of Renewable Electricity Generation, by Energy Source, 2012 and 2022

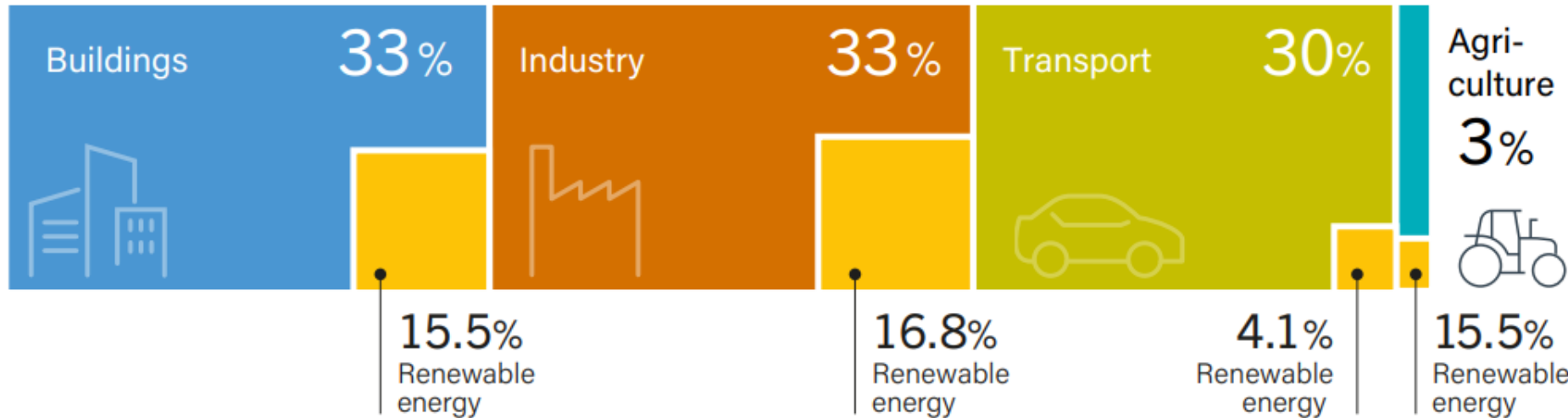


Renewable share of electricity generation increased by almost **9** percentage points in the past decade.



Renovables en el consumo final de energía

Total Final Energy Consumption and Total Modern Renewable Energy Consumption, by Sector, 2020



Total renewable energy demand grew

4.7%

per year on average between 2010 and 2020



As of 2022, **94 countries** had either a renewable energy policy or target in at least one demand sector

As of 2022, **3 countries** had renewable energy targets or policies in **all** four demand sectors



Agriculture and transport have the fastest yearly growth rates of renewable energy adoption with more than

7%



The share of renewable electricity in TFEC grew 3% in the last decade to reach

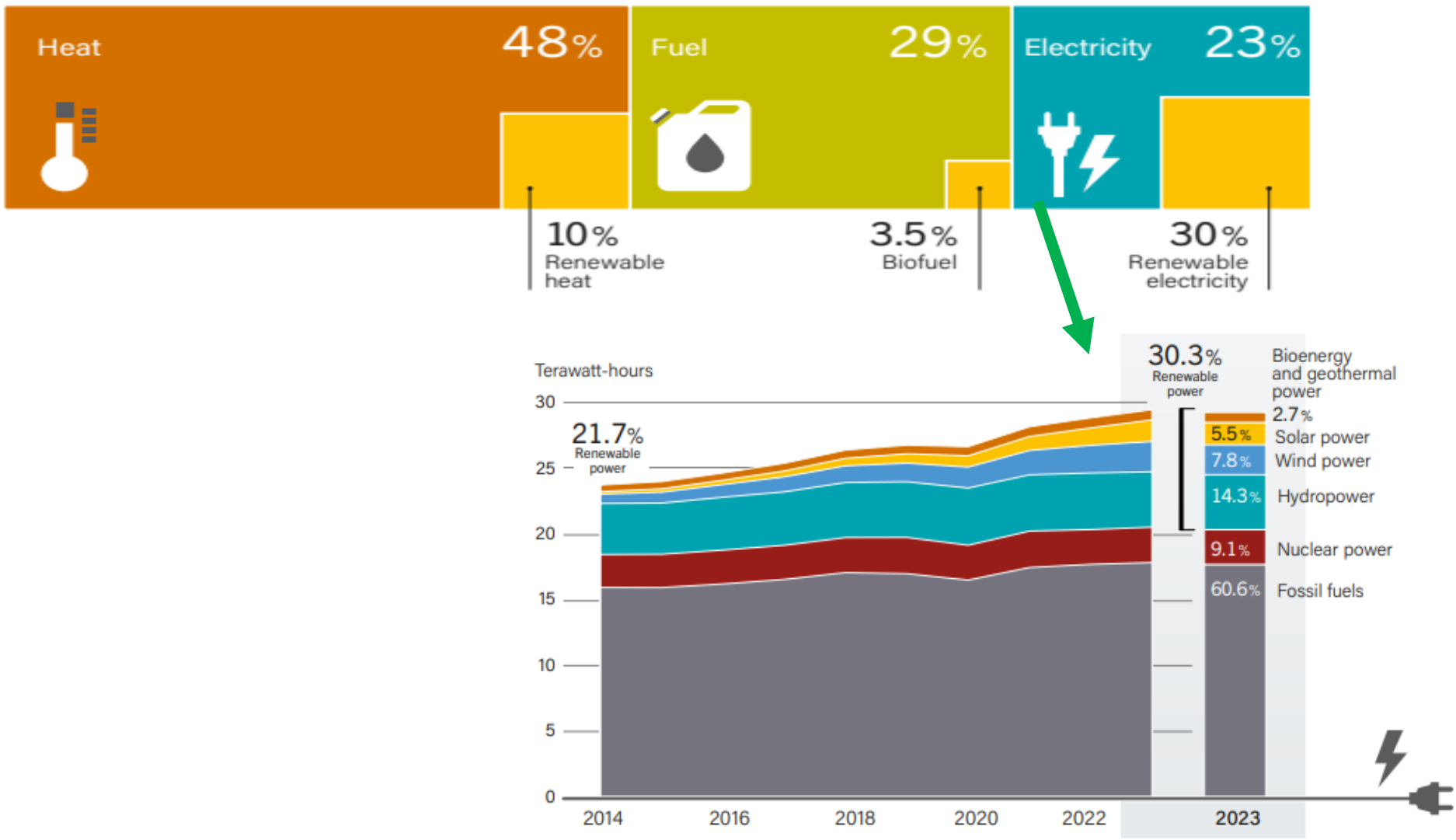
7% in 2020





FIGURE 2.

Total Final Energy Consumption and Share of Modern Renewables, by Energy Carrier, 2021

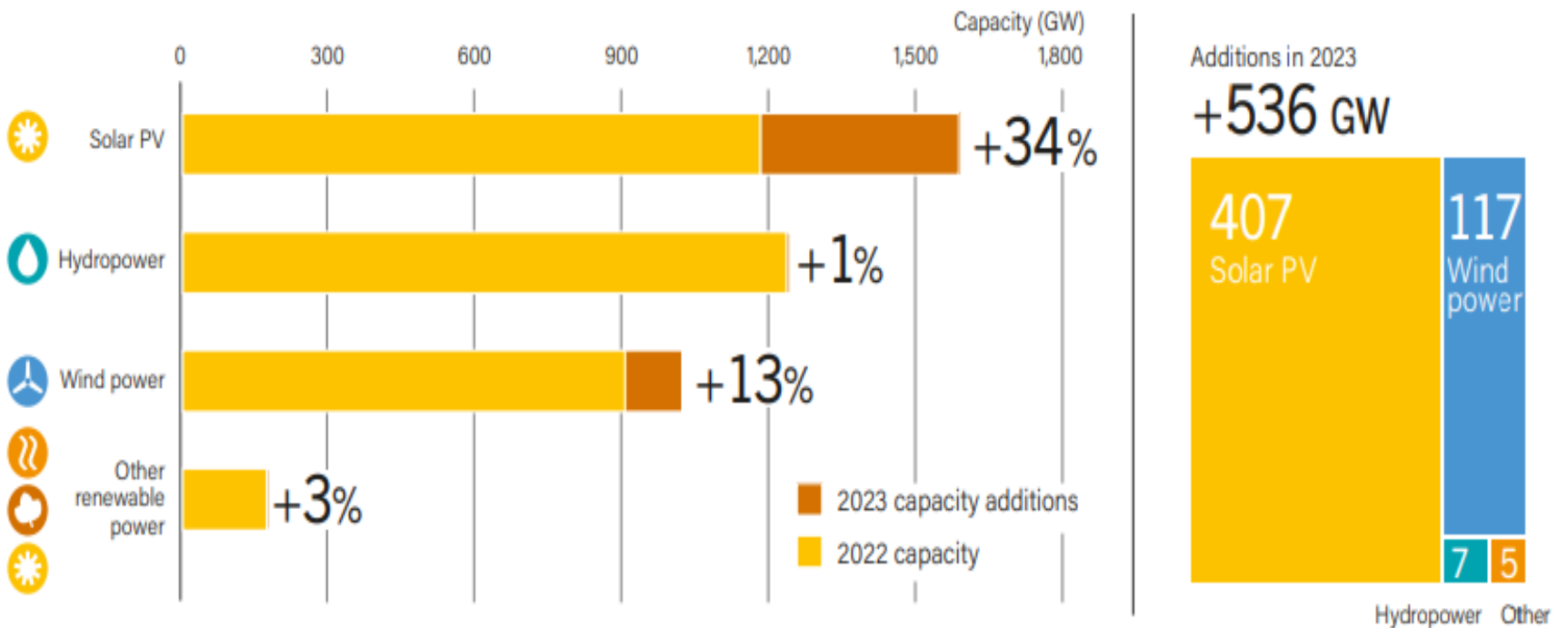


Fuente: REN 21 – GLOBAL STATUS REPORT





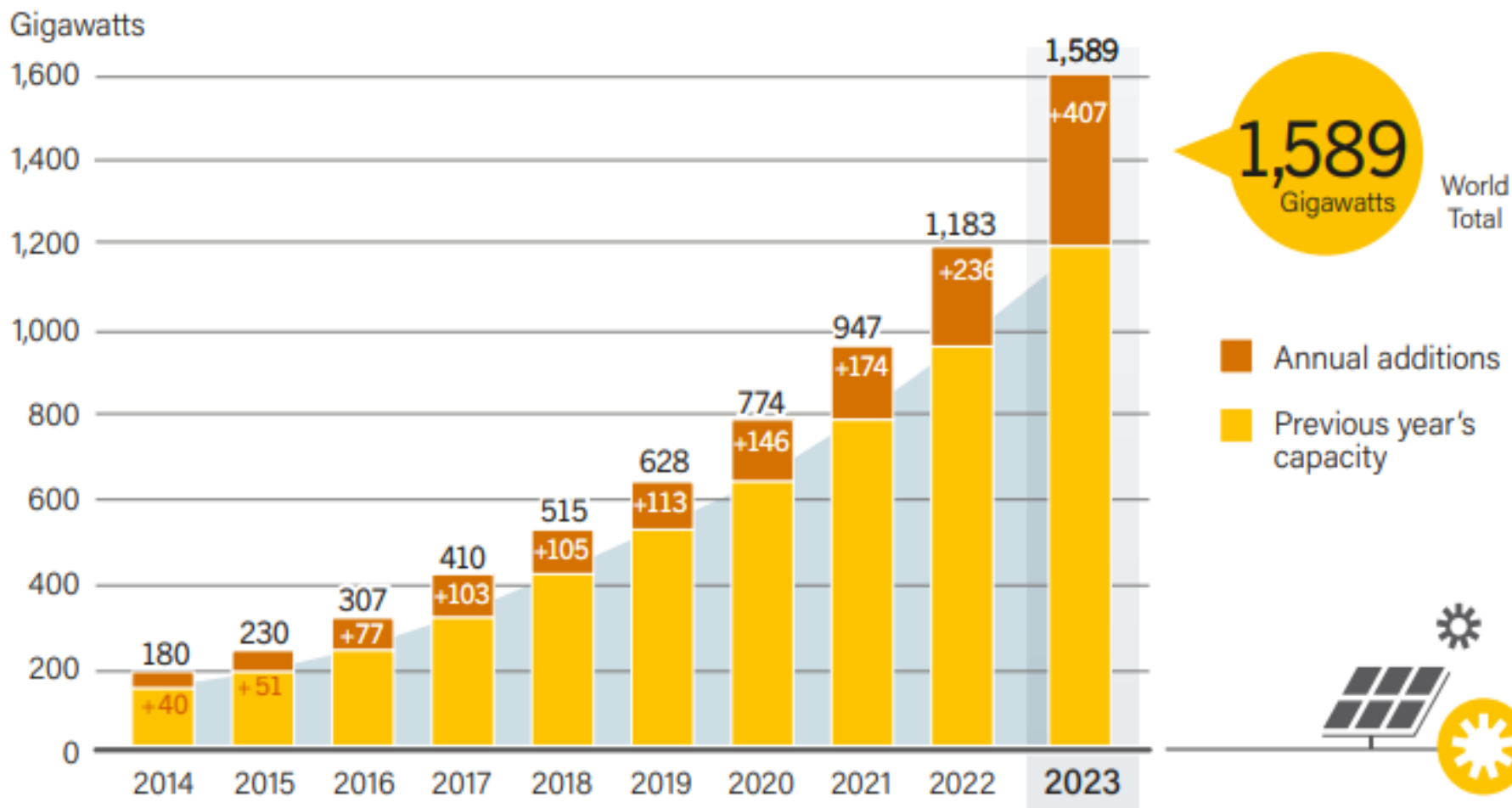
FIGURE 6.
Renewable Power Total Installed Capacity and Additions, by Technology, 2023

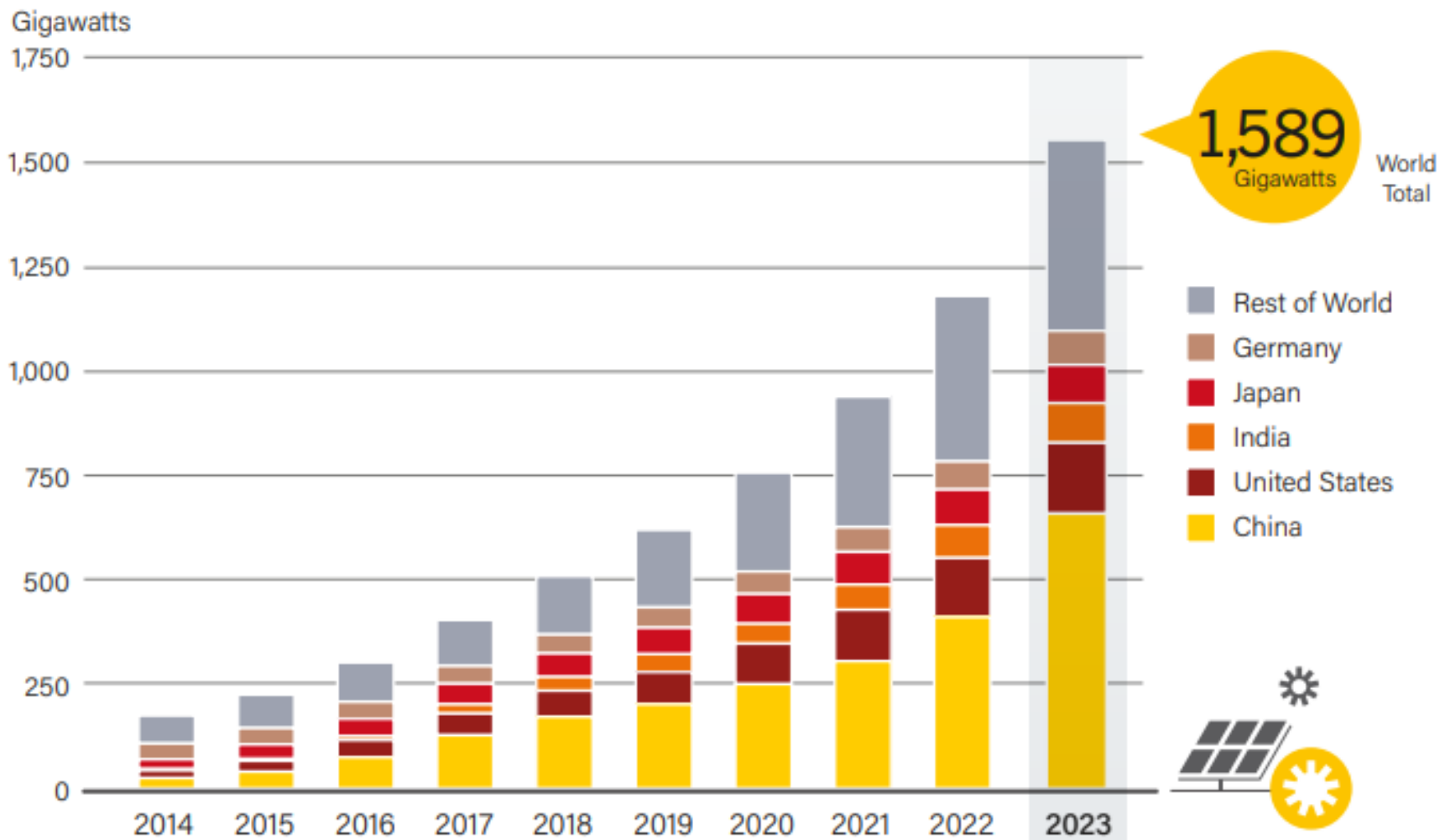


Note: Data is for capacity that is grid-connected and in operation.

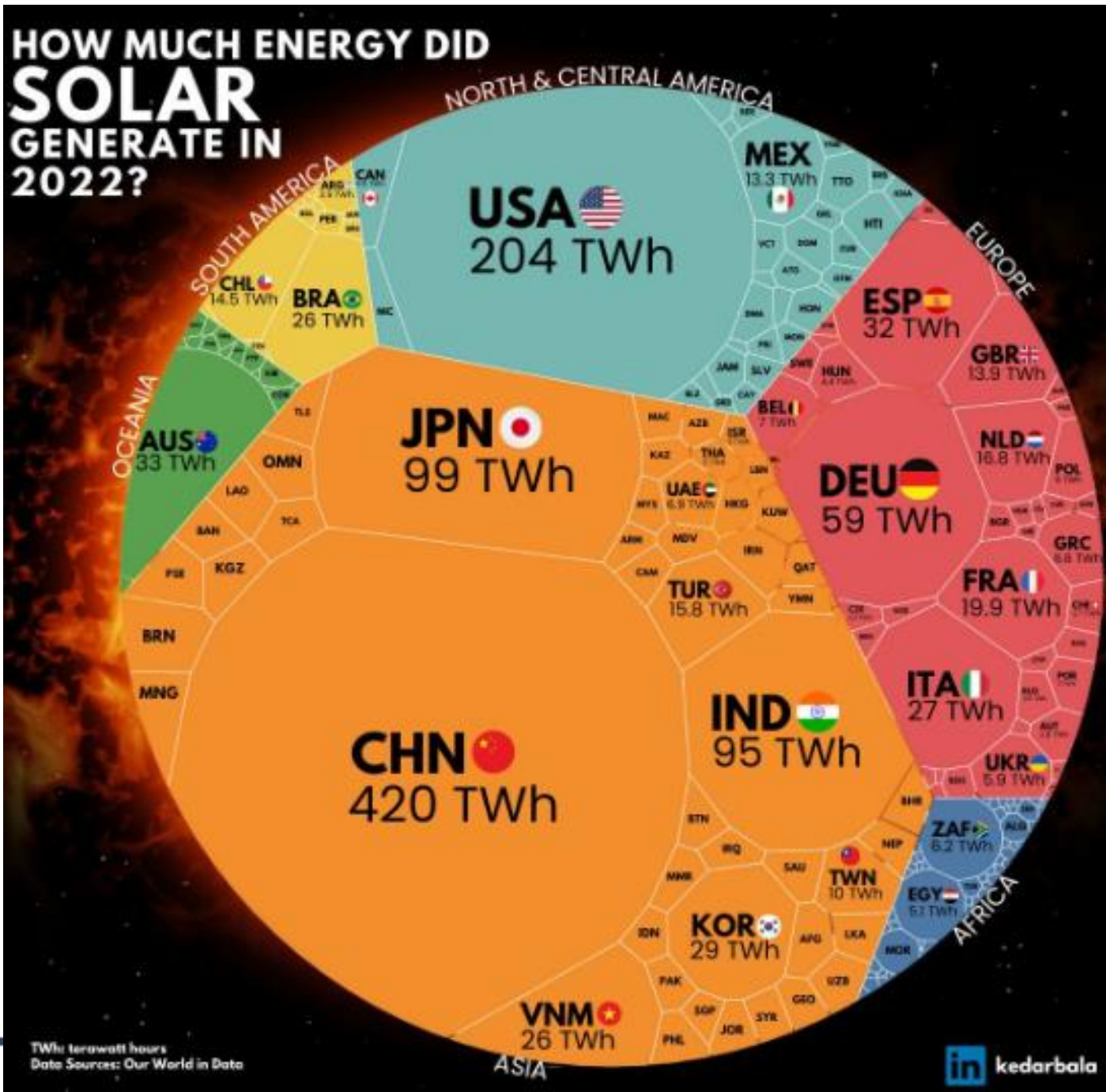
Source: See endnote 36 for this section.





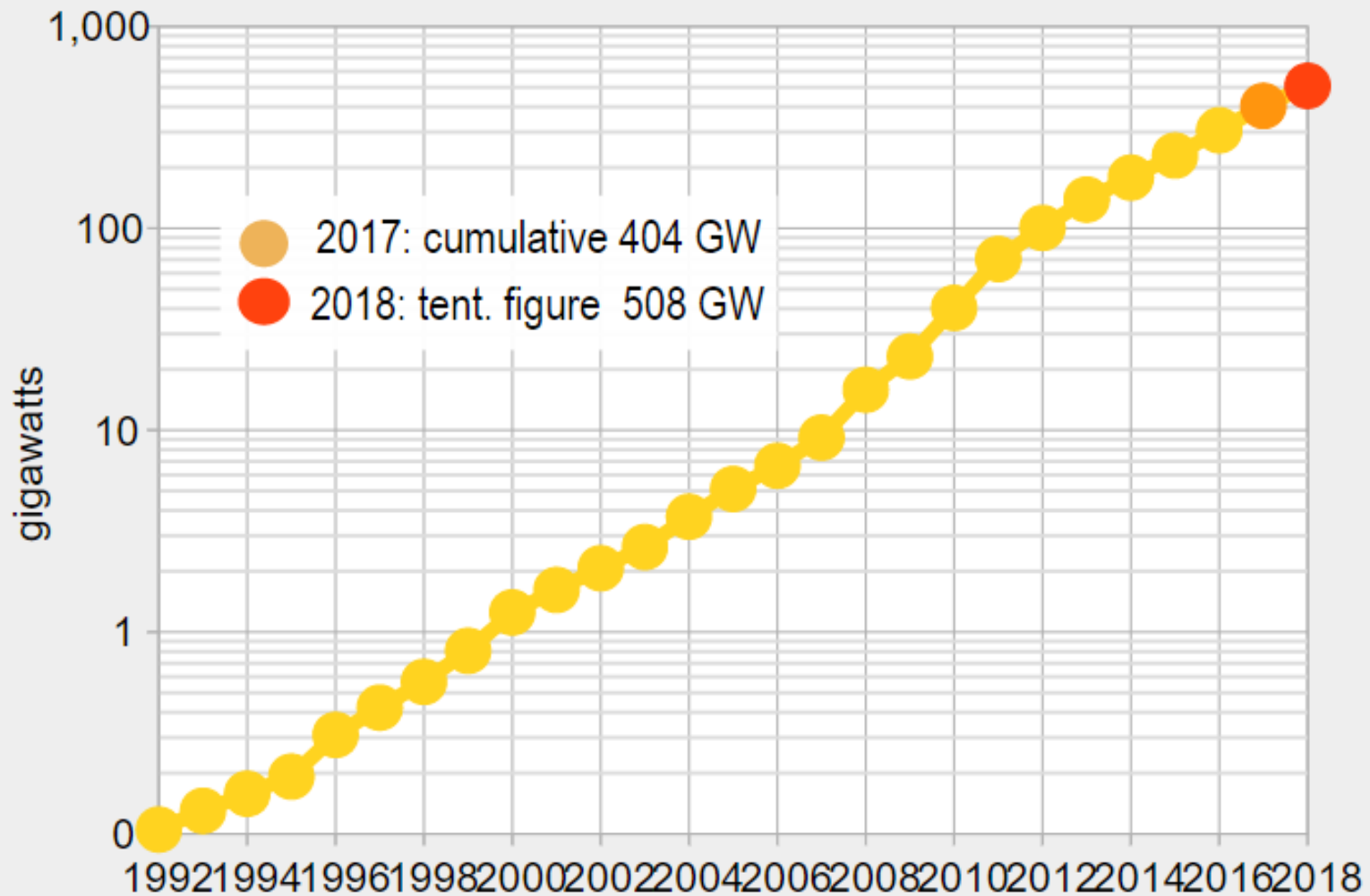


HOW MUCH ENERGY DID SOLAR GENERATE IN 2022?

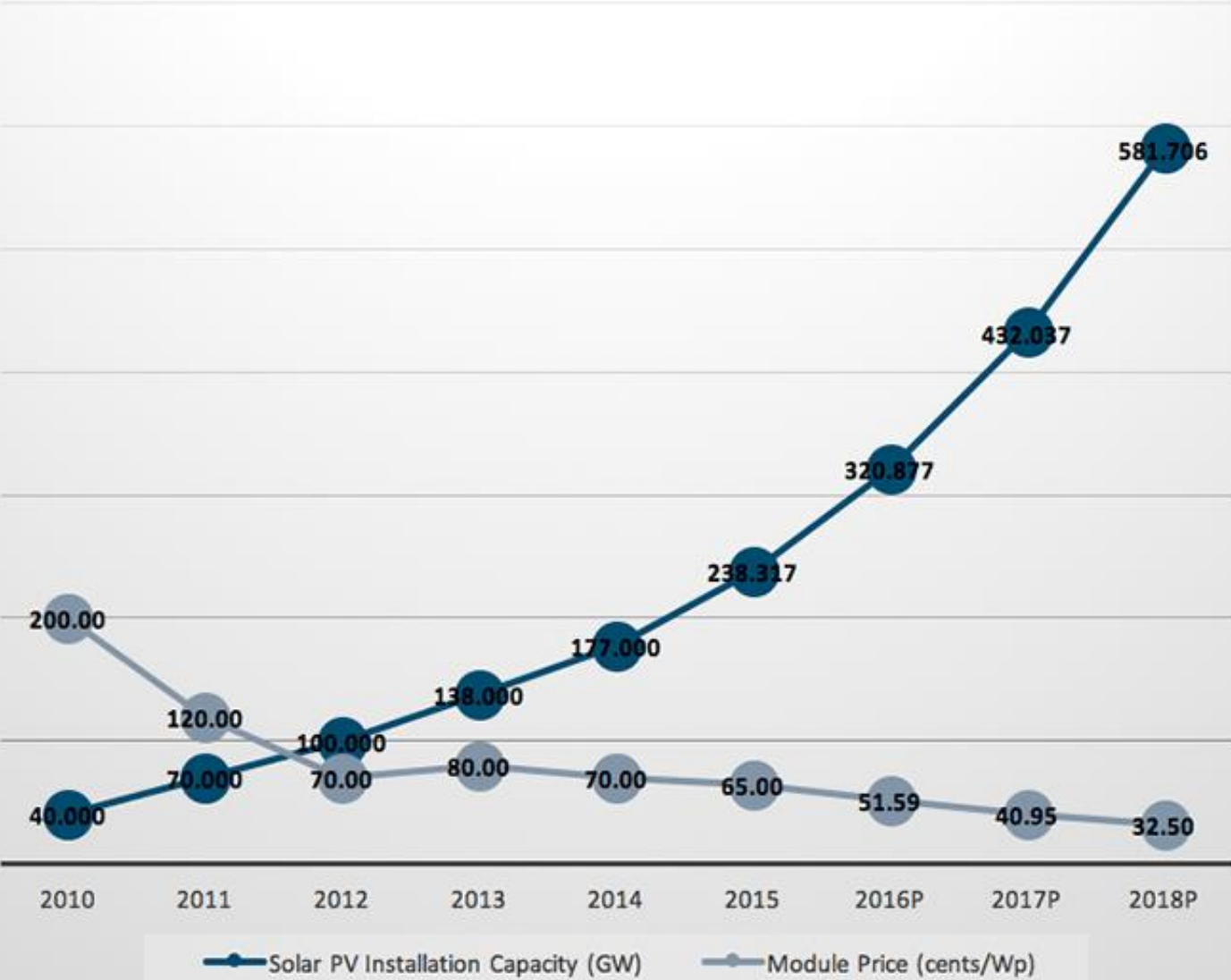


TWh: terawatt hours
Data Sources: Our World in Data

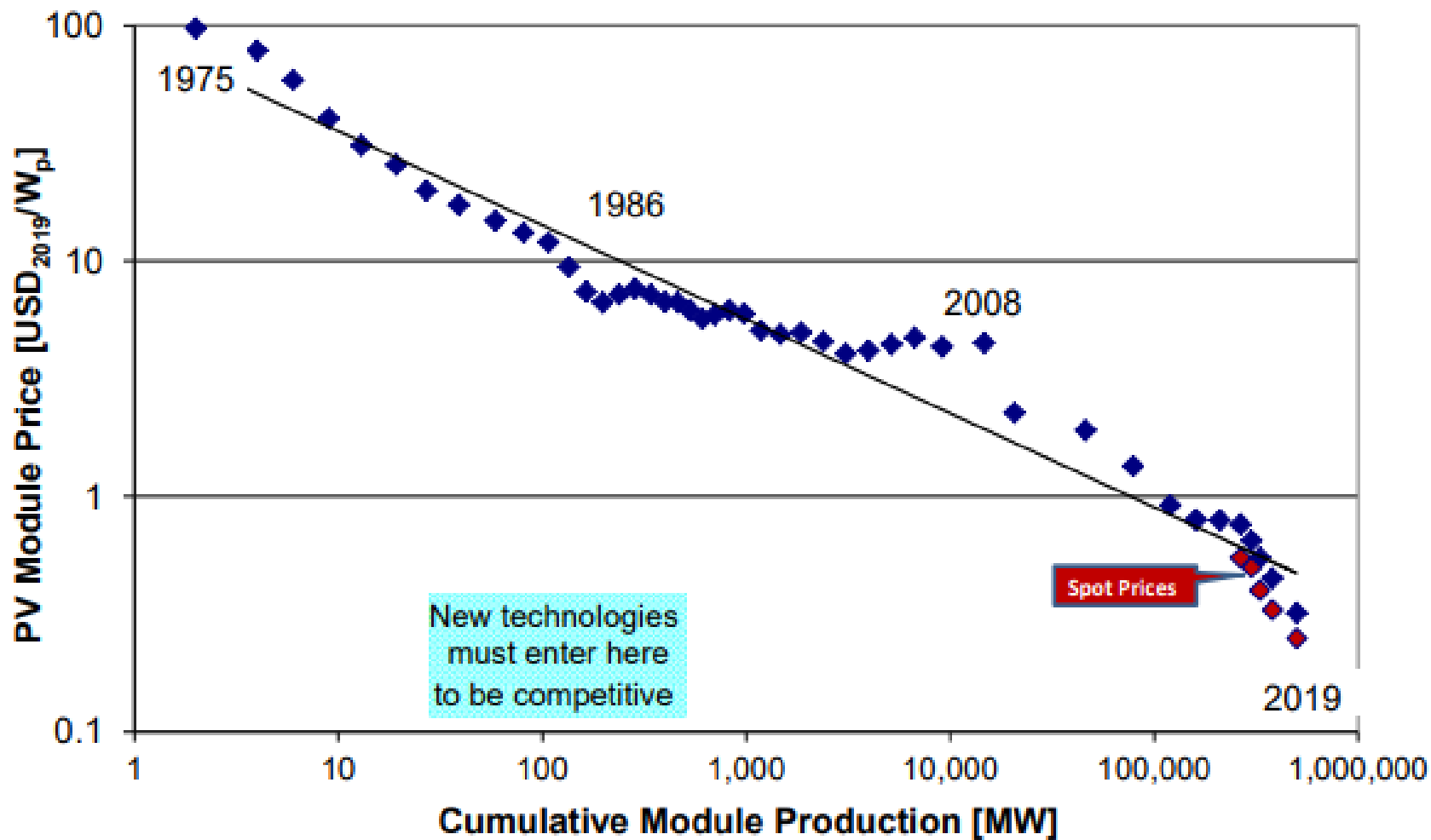
Exponential Growth of Solar PV (in GW)

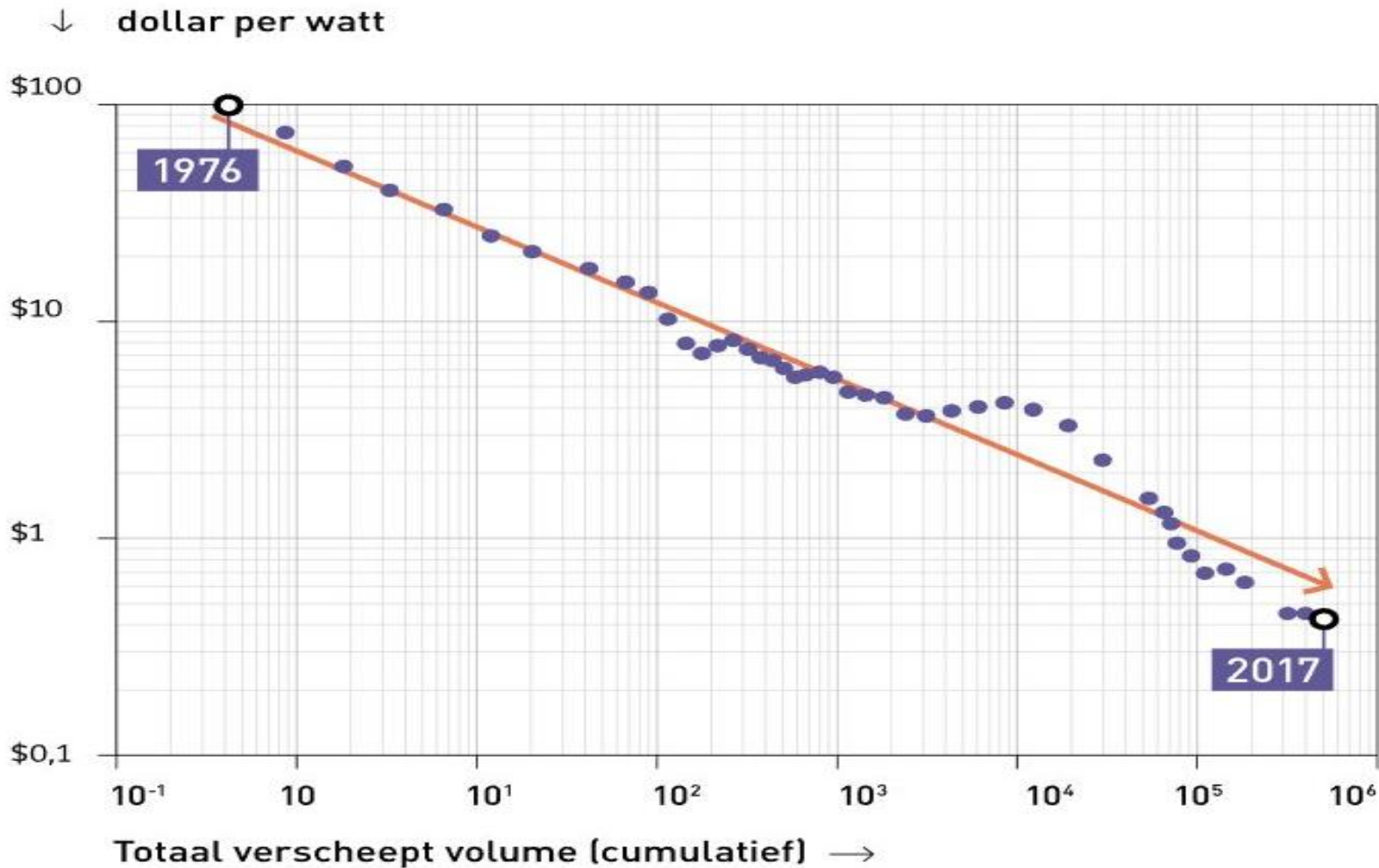


Module Price Vs. Solar PV Installation



Curva de aprendizaje



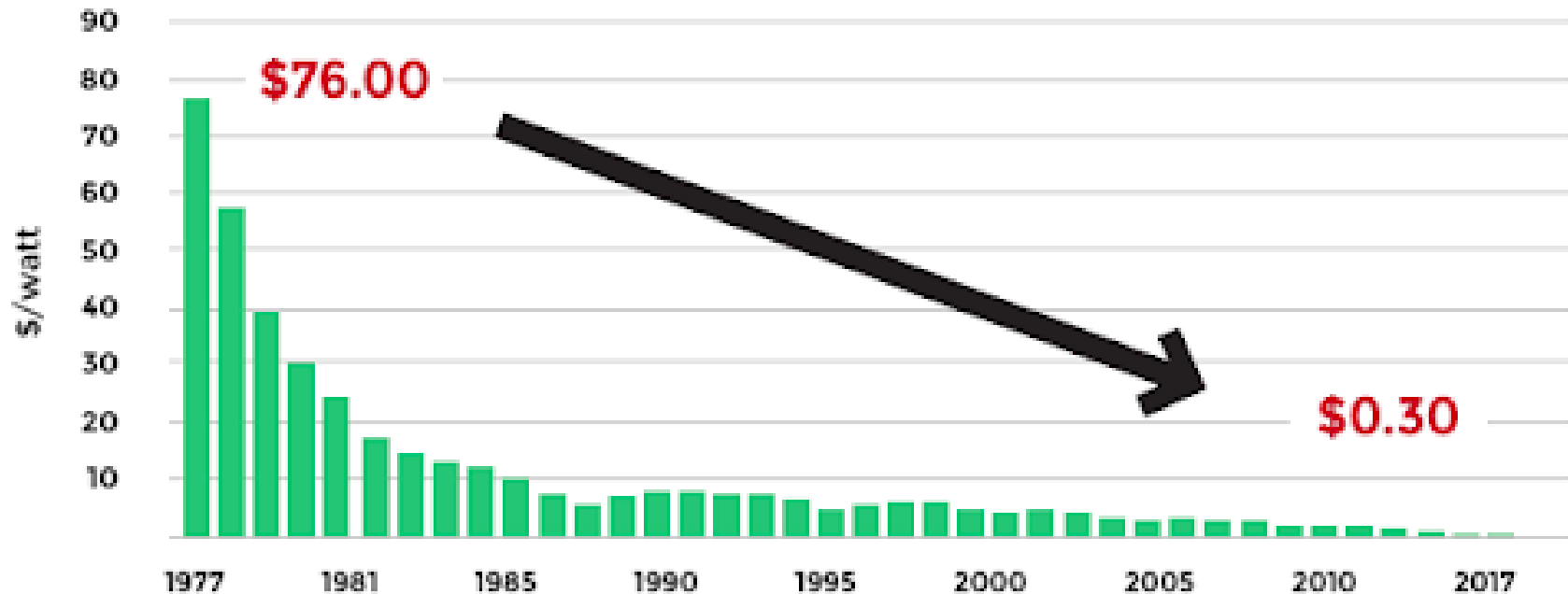


Bron: International Technology Roadmap for Photovoltaic & Auke Hoekstra

- La “ley de Swanson” dice que el precio de las celdas fotovoltaicas cae un 20% cada vez que se duplica la capacidad instalada.



PRICE HISTORY OF SILICON PV CELLS in US\$ per watt



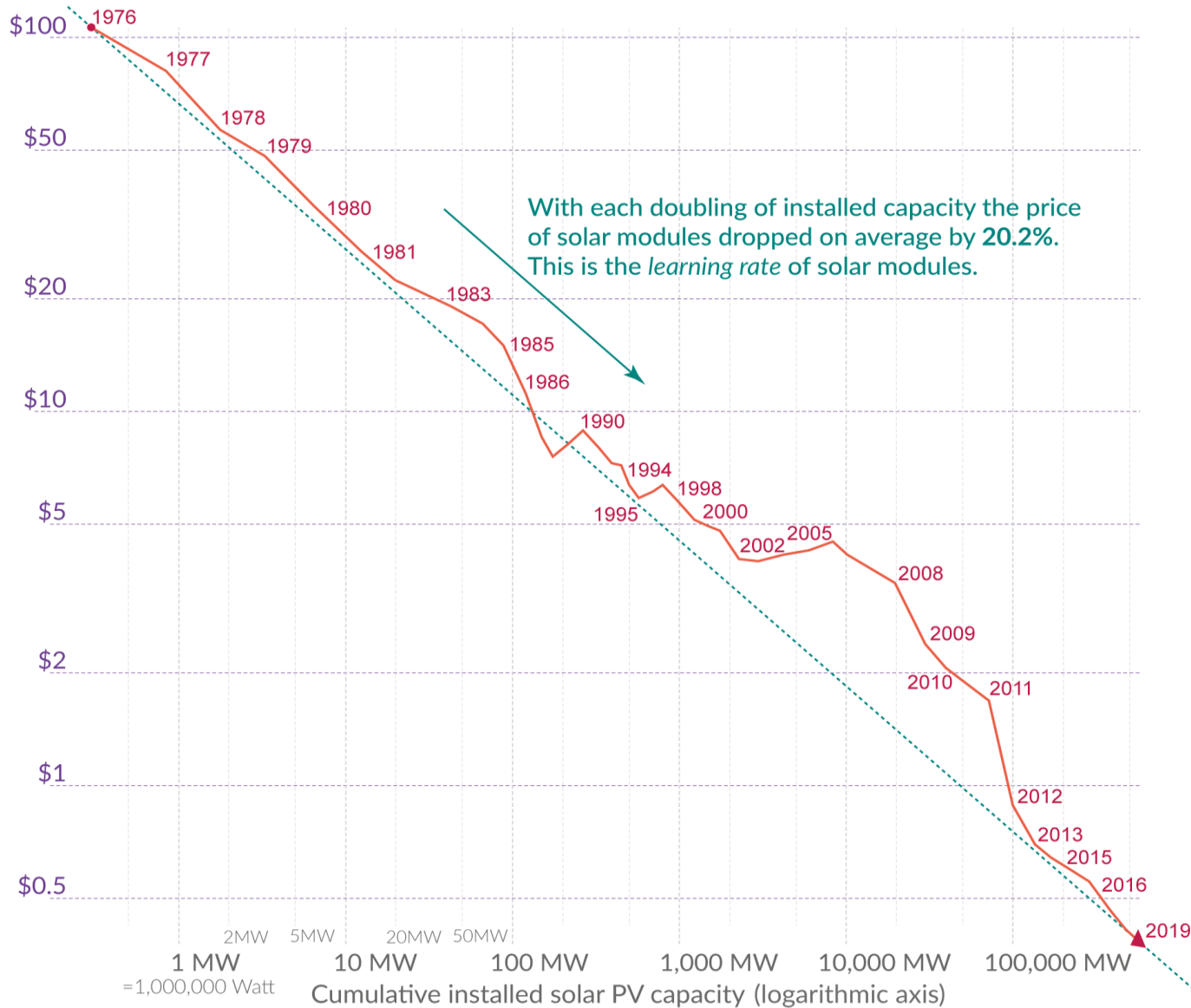
© 2018 Lombardi Publishing Corp.

Data source: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com



The price of solar modules declined by 99.6% since 1976

Price per Watt of solar photovoltaics (PV) modules (logarithmic axis)
The prices are adjusted for inflation and presented in 2019 US-\$.



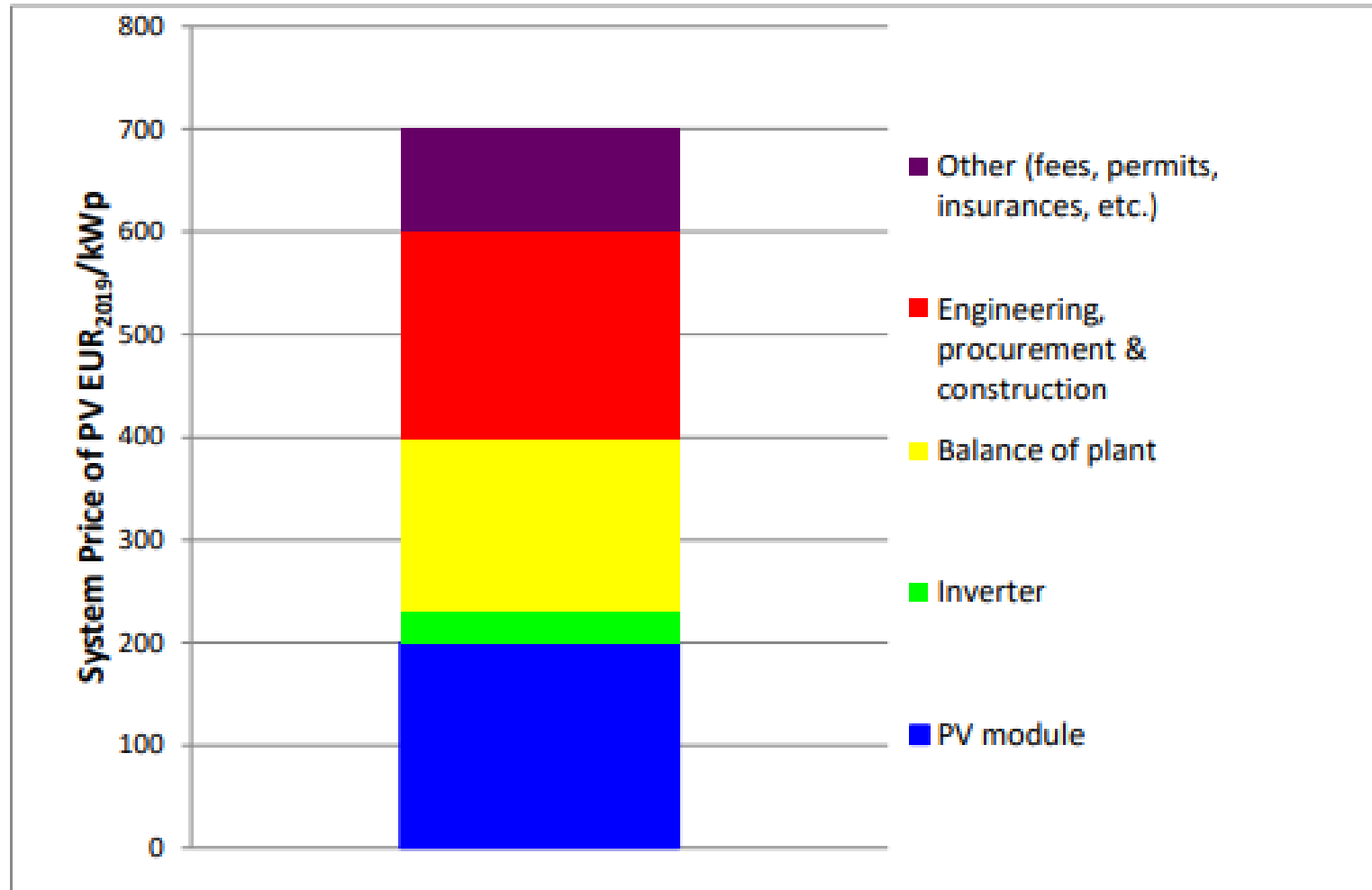
Data: Lafond et al. (2017) and IRENA Database; the reported learning rate is an average over several studies reported by de La Tour et al (2013) in Energy. The rate has remained very similar since then.
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world’s largest problems.

Licensed under CC-BY by the author Max Roser

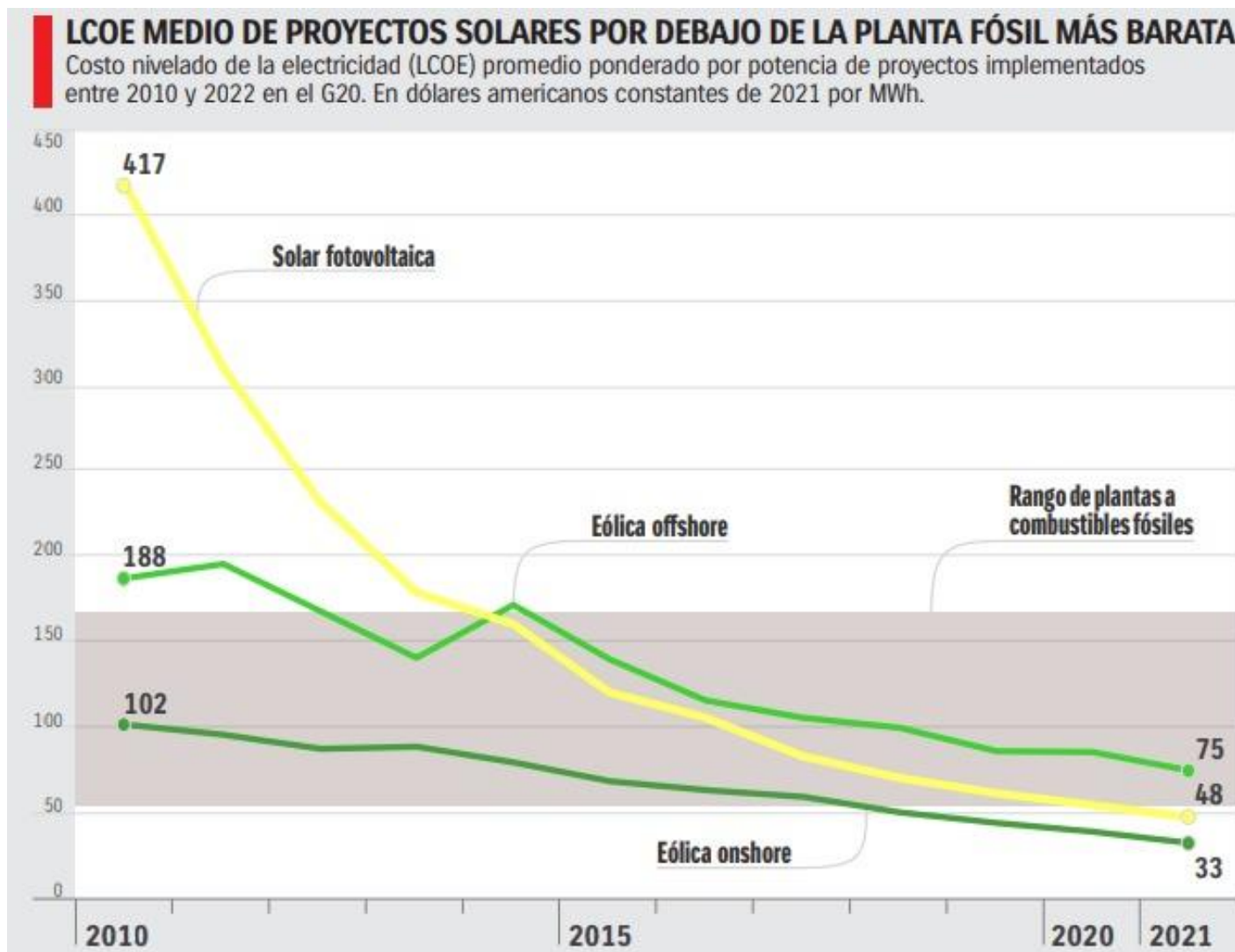


Componentes del precio de instalaciones PV

Figure 15: Price breakdown of utility-scale PV system



Precio por debajo de las fósiles

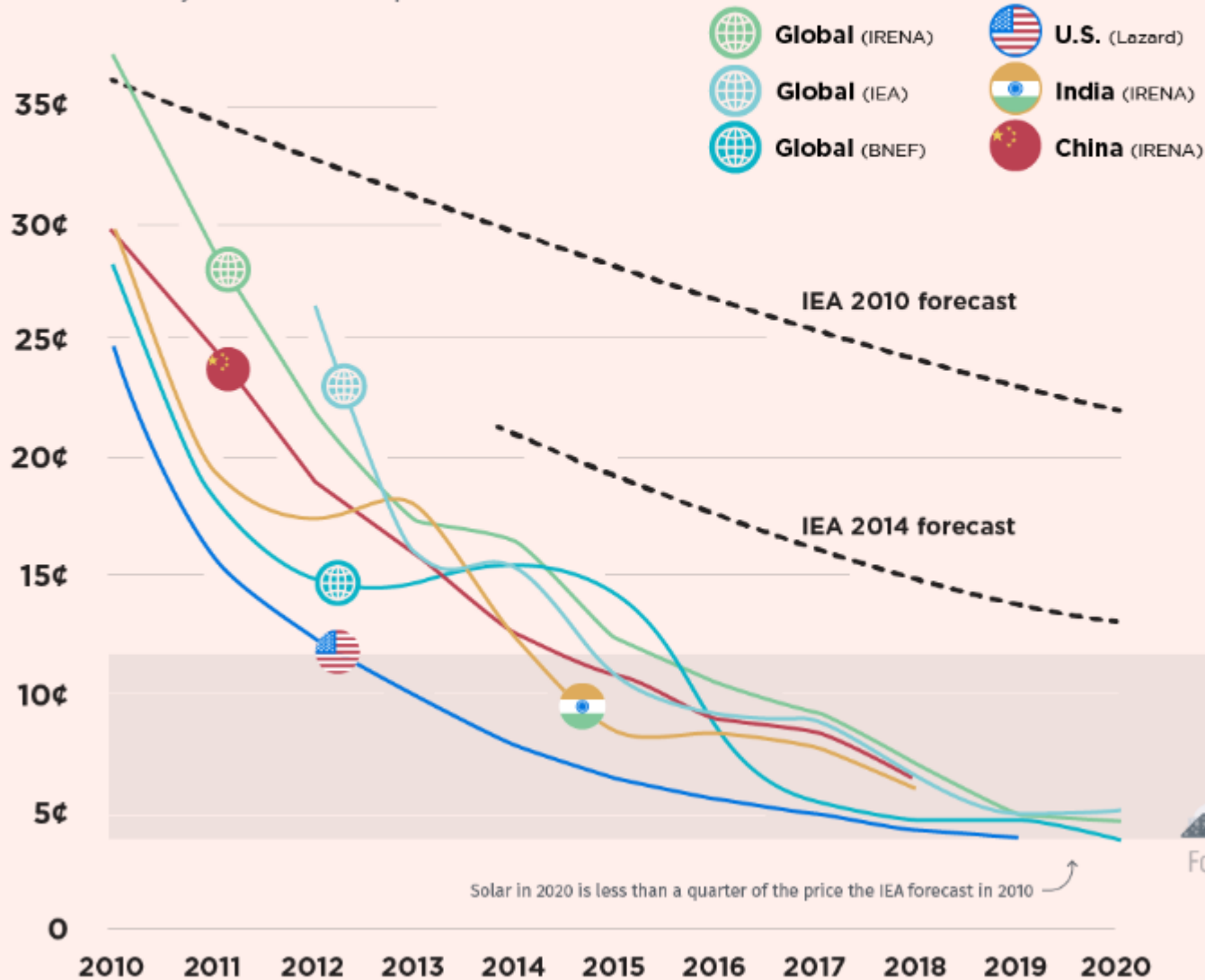




SOLAR ENERGY COSTS

KEEP BLOWING AWAY OFFICIAL FORECASTS

40¢ ◀ Utility Scale Solar Price per kWh



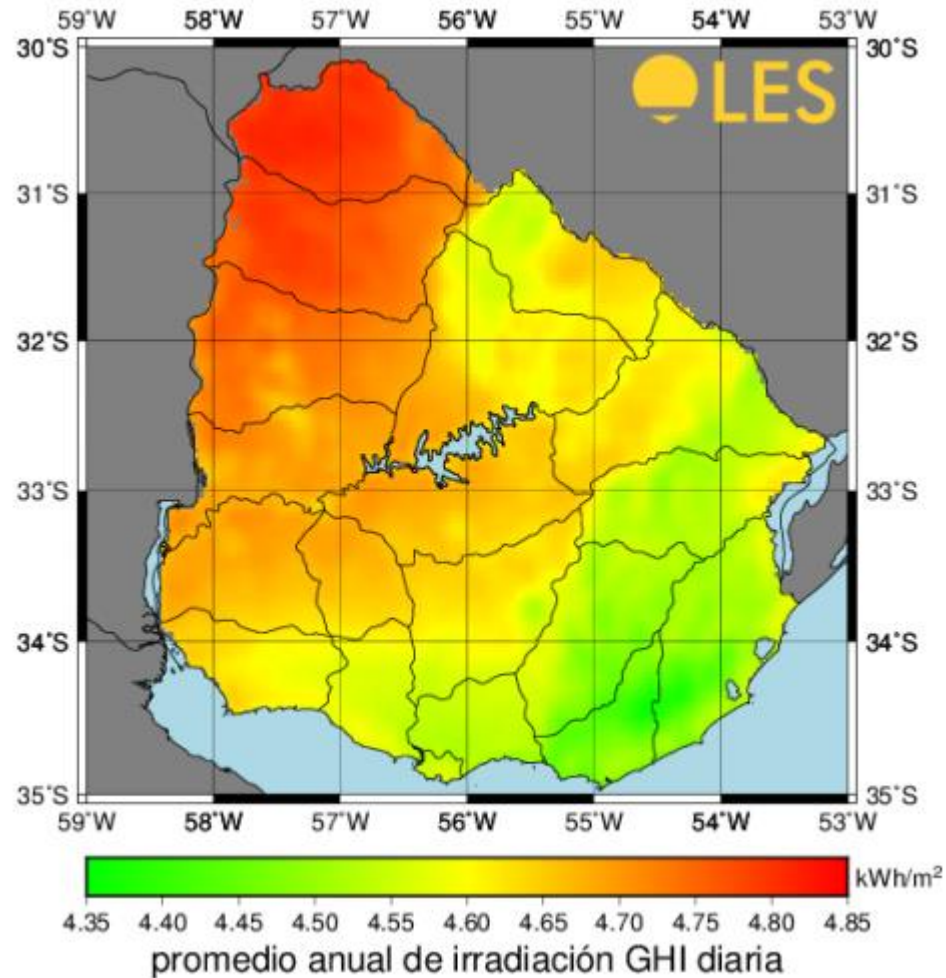
Solar in 2020 is less than a quarter of the price the IEA forecast in 2010



Fossil Electricity Cost Range



Situación en Uruguay



Política Energética 2030



2008: Aprobación por el Poder Ejecutivo en Consejo de Ministros

2010: Comisión Multipartidaria de Energía, incluyendo todos los partidos políticos con representación parlamentaria

ORGANISMOS PARTICIPANTES

MIEM - DNE

MEF

PRESIDENCIA – OPP - ONSC

URSEA – ADME

MVOTMA, MIDES, MINT, ANCAP , OSE, ANTEL, MEVIR, INC

UTE – Ejecutor política energética

Generación eléctrica Uruguay – 2017 – 2020

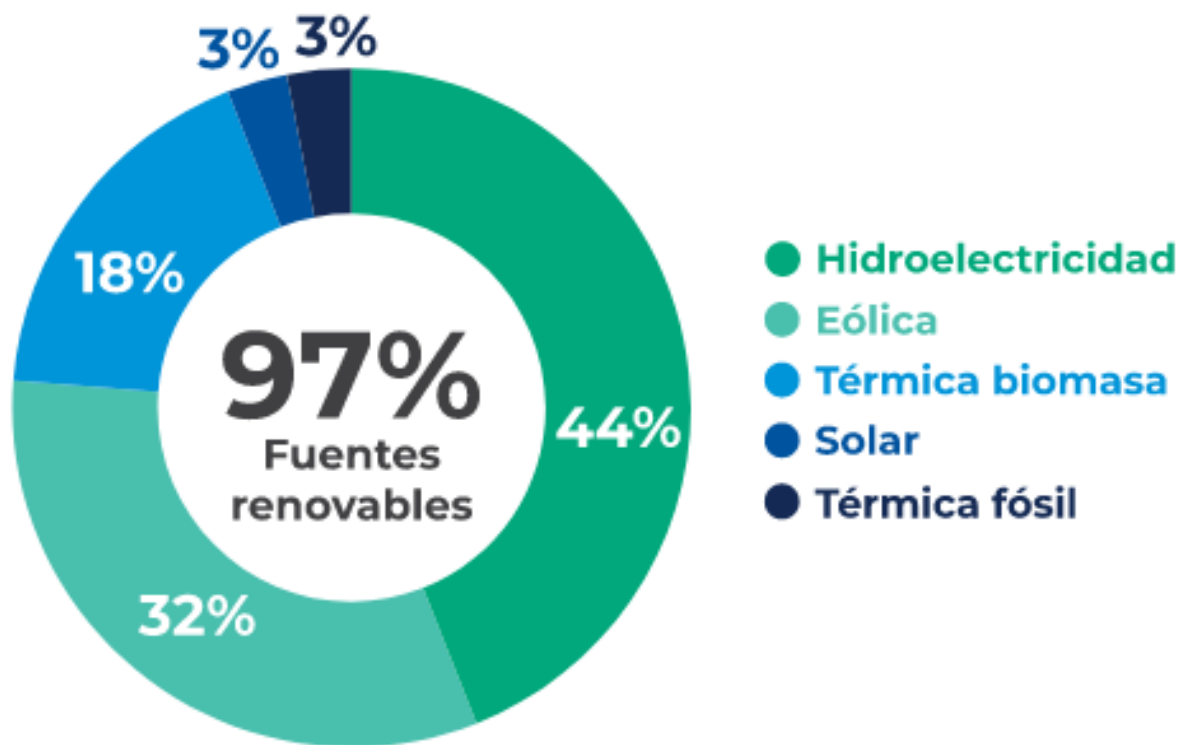


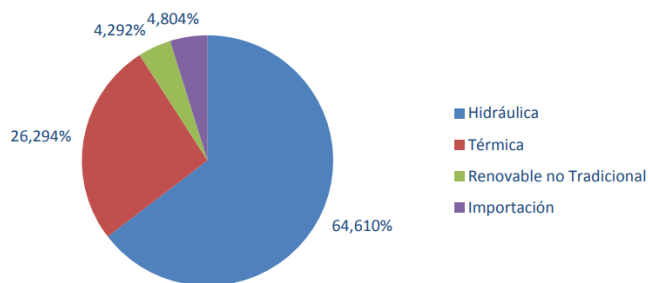
Figura 2: Generación de energía eléctrica en Uruguay - Promedio de los años 2017 a 2020.

Fuente: MIEM (ben.miem.gub.uy).

Primera transición energética

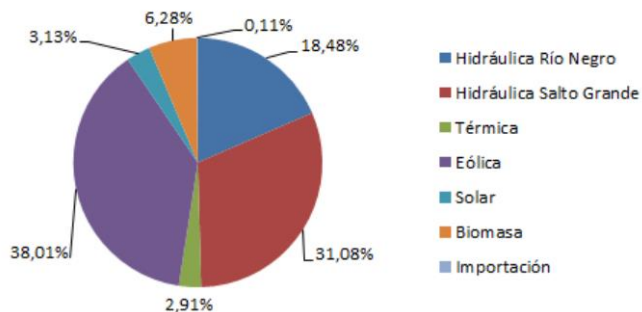
Cambio de tecnología en la matriz eléctrica del Uruguay

Abastecimiento de la demanda por fuente año 2011



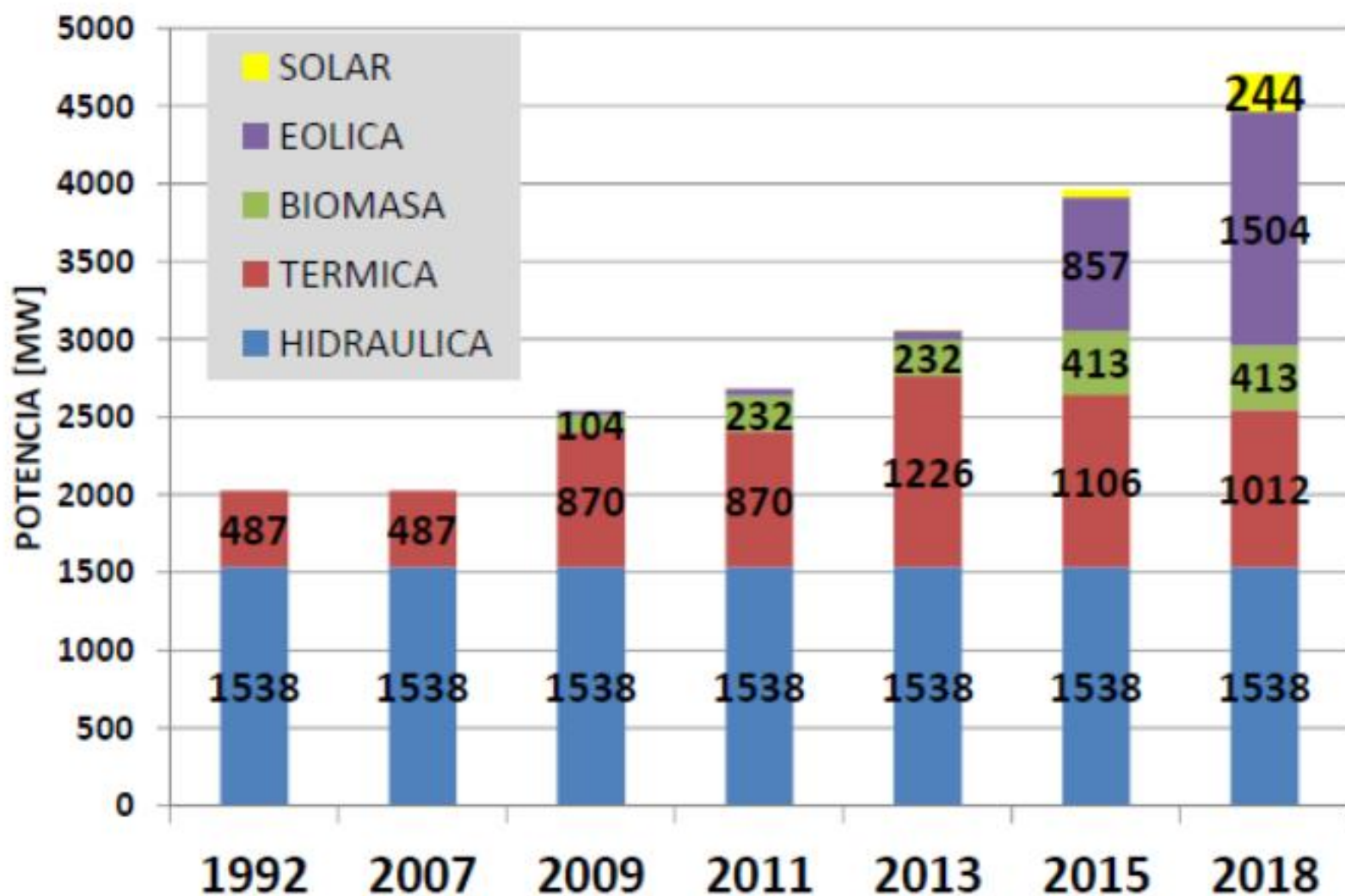
Año 2018

Participación de cada fuente en la generación total en %.

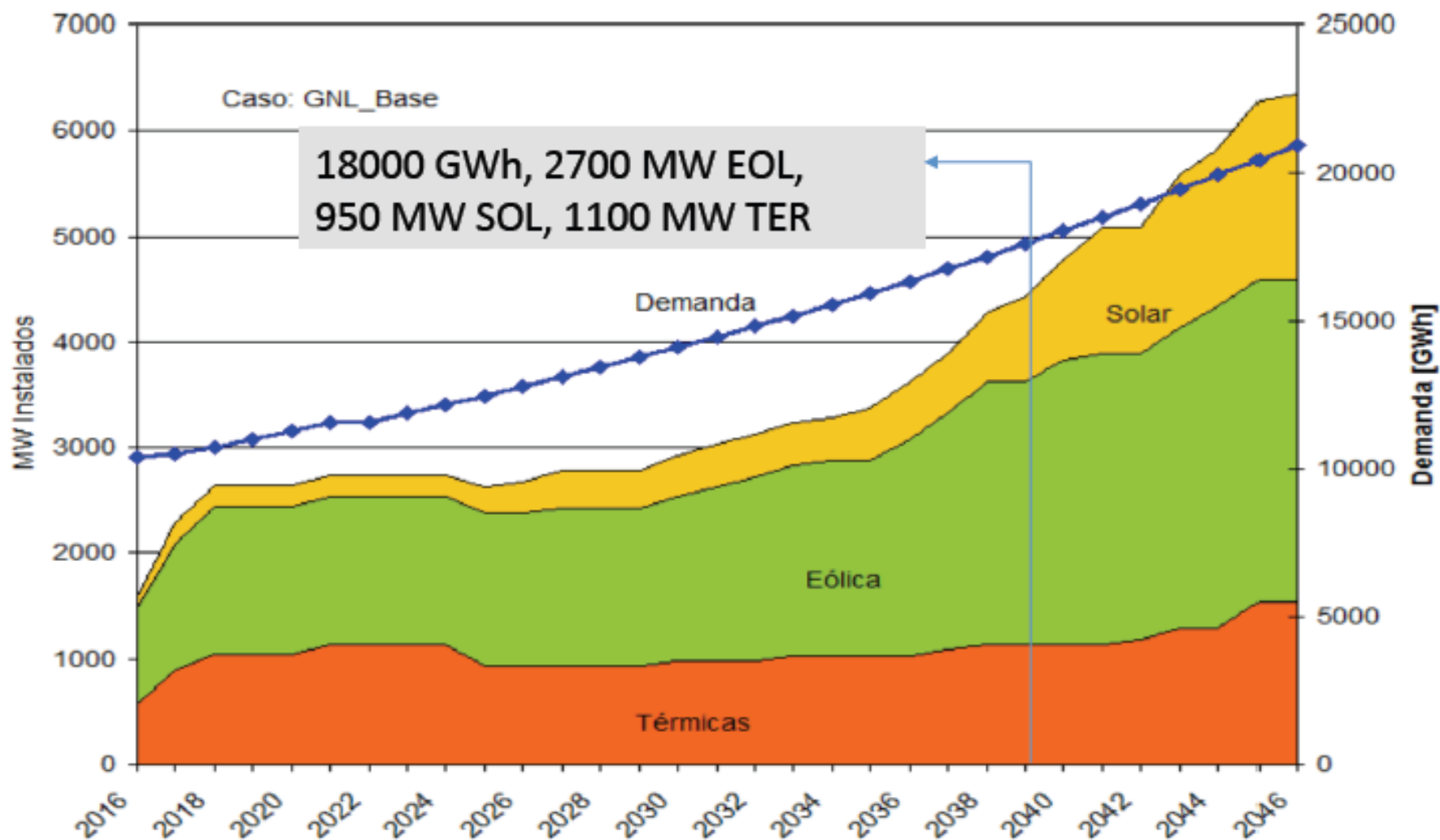


	2011	2021
Centrales Hidráulicas	1.536	1.538
Rincon del Bonete	150	152
Baygorria	108	108
Palmar	333	333
Salo Grande - lado Uy	945	945
Centrales Térmicas	845	1.140
Central Battle - 3a, 4a, 5a, 6a	255	-
Motores Central Batlle	80	80
CTR	210	210
Punta del Tigre A - T.G	300	320
Punta del Tigre B - C.C	-	530
Centrales Biomasa	221	711
UPM Fray Bentos	161	161
Monted del Plata	-	180
UPM PTO	-	310
Otros	60	60
Centrales Renovables	40	1.750
Eólica	40	1.500
Solar FV	-	250
TOTAL	2.642	5.139

Transformación de la Generación en Uruguay

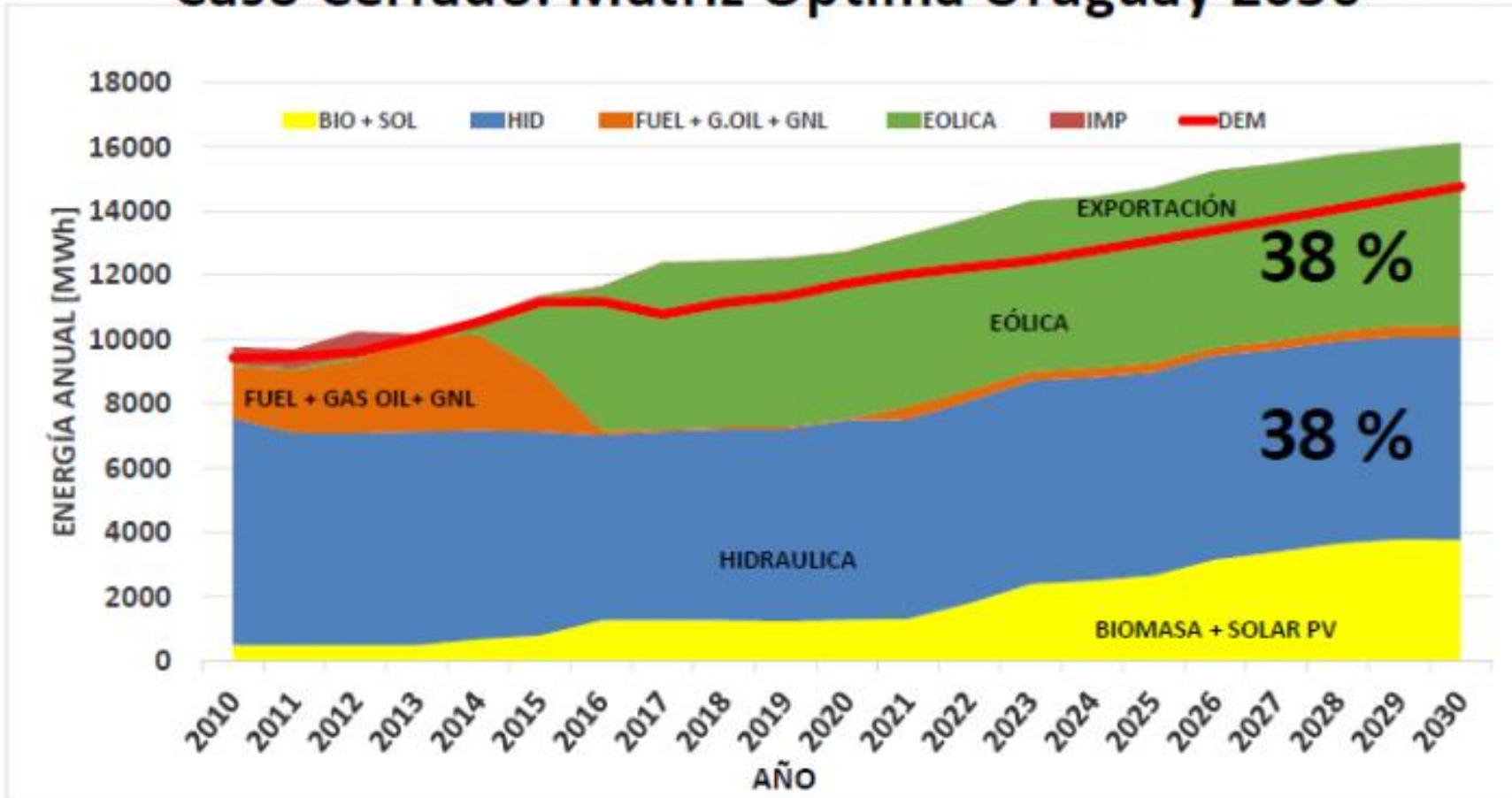


Matriz óptima (Estudio IIE 2016)



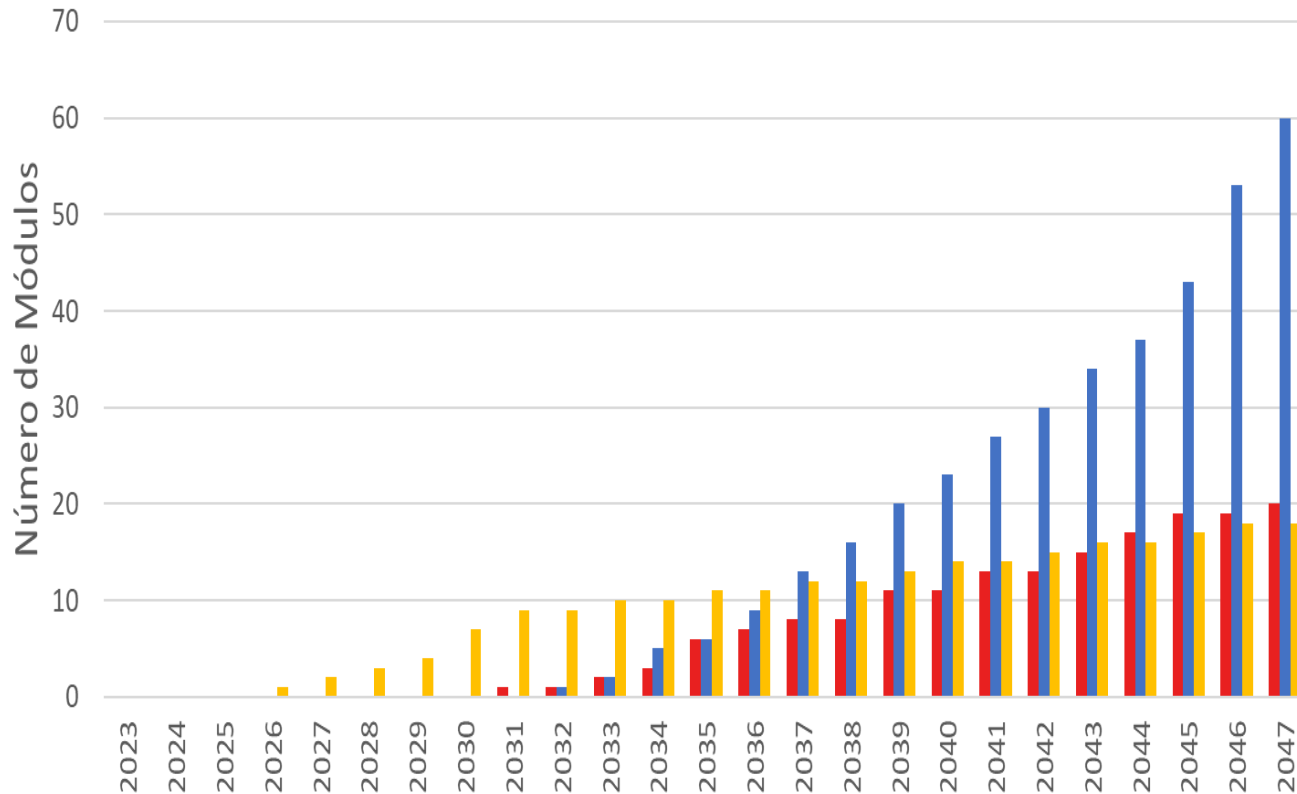
Expansión con renovables – DNE 2018

Caso Cerrado: Matriz Óptima Uruguay 2030



Expansión con renovables – UTE Julio 2022

Módulos de expansión por tecnología - demanda base



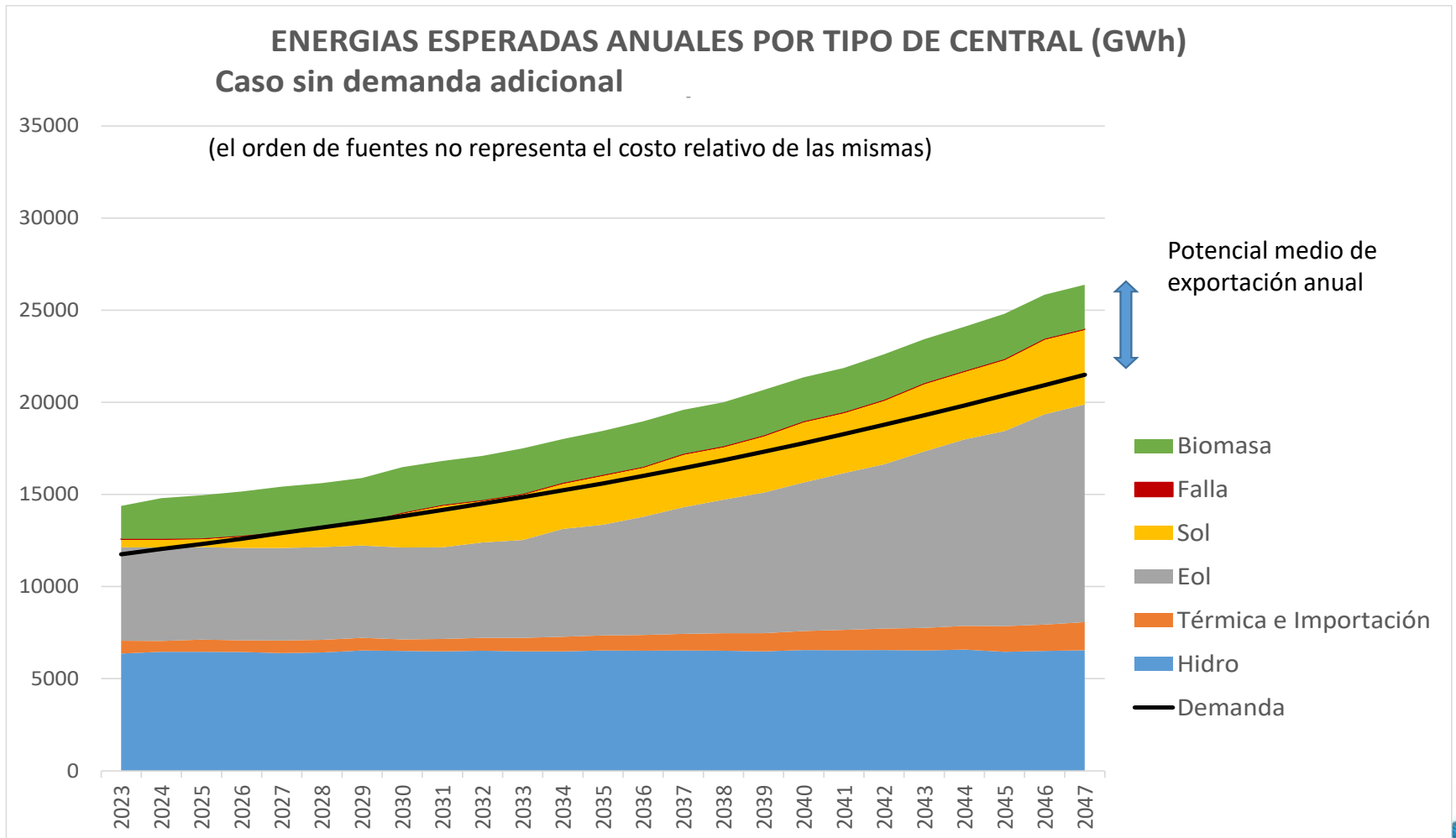
■ Mód. Acum. TG 60MW

■ Módulos acumulados EOL 50MW

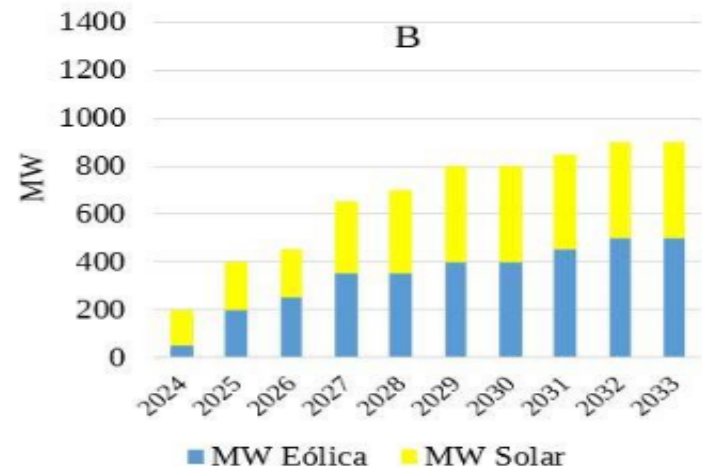
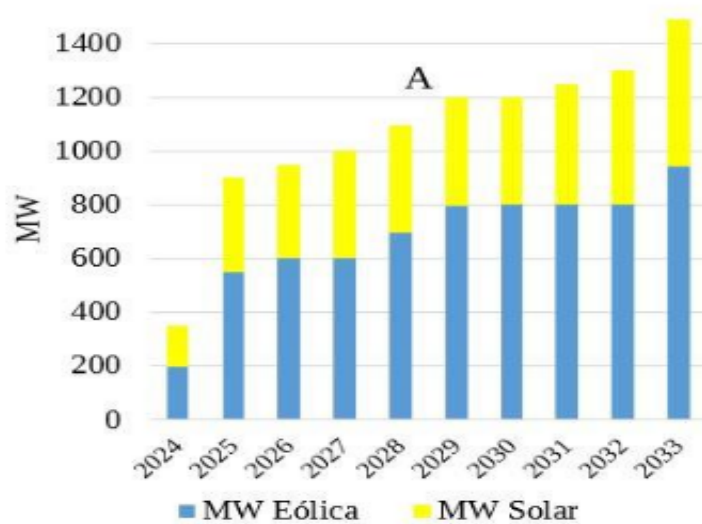
■ Módulos acumulados SOL 100MW



Expansión con renovables – UTE Julio 2022



G.Casaravilla – Junio 2023



Año	MW Eólica	MW Solar	MW-m ERNC
2024	200	150	112
2025	250	150	132
2026	350	200	182
2027	350	250	193
2028	399	299	222
2029	449	300	243
2030	450	300	243
2031	450	300	243
2032	450	398	264
2033	447	400	263

Año	MW Eólica	MW Solar	MW-m ERNC
2024	50	150	52
2025	200	200	122
2026	250	200	142
2027	350	300	203
2028	350	349	213
2029	399	399	243
2030	400	400	244
2031	450	400	264
2032	499	400	284
2033	500	400	284

ESCENARIO A
Demanda ALTA

ESCENARIO B
Demanda BAJA

Fuente: Riesgos en la Planificación de la Expansión de la Generación en Uruguay – G. Casaravilla AUDER 2023

Modalidades de generación de energía

1) MICROGENERACIÓN

Decreto 173/010



2) AUTOCONSUMO INDUSTRIAL

Decreto 114/014

3) MACROGENERACIÓN

Decreto 133/013 y otros



Microgeneración

- Decreto del Poder Ejecutivo N° 173/010 de Julio de 2010
- Permite conectar generación de origen renovable en BT.
- Fuentes de energía solar fotovoltaica, eólica, biomasa, y mini hidráulica.
- Cliente intercambia bidireccionalmente energía con la red.
- UTE le compra toda la energía que le entregue.
- El precio es el mismo del cargo por energía como consumidor.
- Plazo del contrato de 10 años.
- Resolución Ministerial – 12/05/2017 impone límites a la potencia a instalar – consumo bi-direccional de energía.

Estado actual y perspectivas

MICRO GENERACIÓN

MICRO GENERACIÓN SOLAR SE OCTUPLICA EN SEIS AÑOS

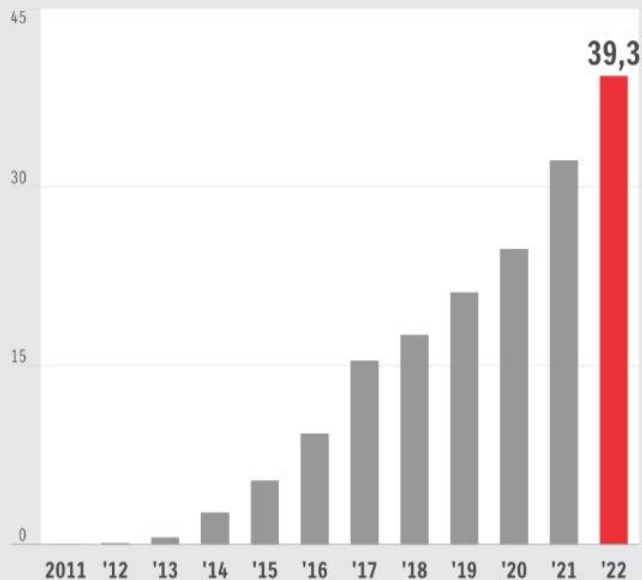
Generación y potencia instalada solar fotovoltaica anual en Uruguay desde 2014.



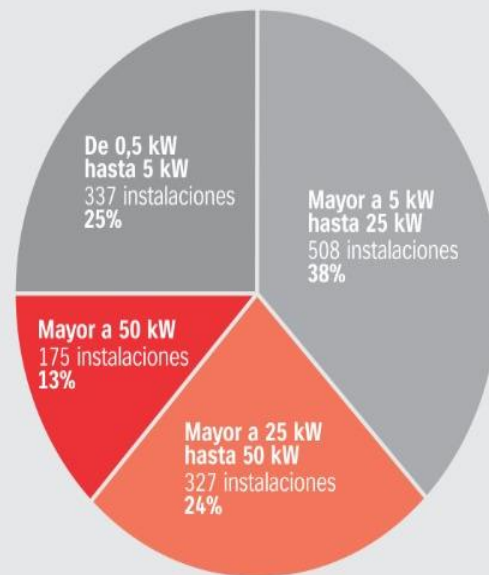
Fuente: Elaboración propia en base a datos de presentación Balance Energético Nacional 2019, Dirección Nacional de Energía, Ministerio de Industria, Energía y Minería, (miem.gub.uy), 9 de julio de 2020.

LA MICRO GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CONTINÚA CRECIENDO EN URUGUAY

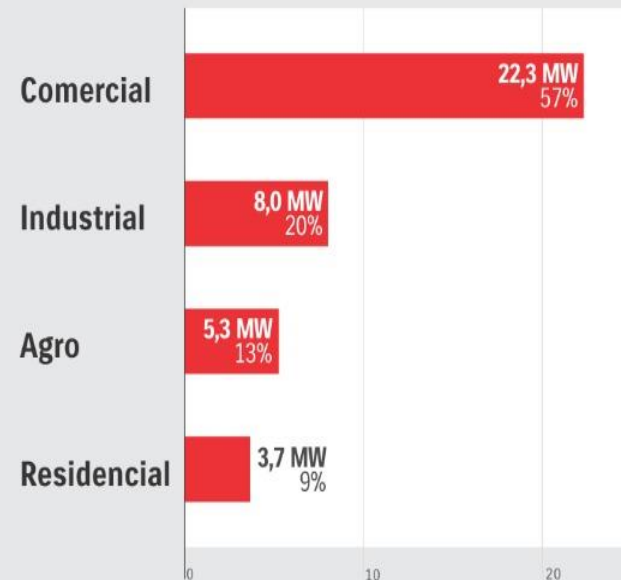
Potencia instalada por año. En MW.



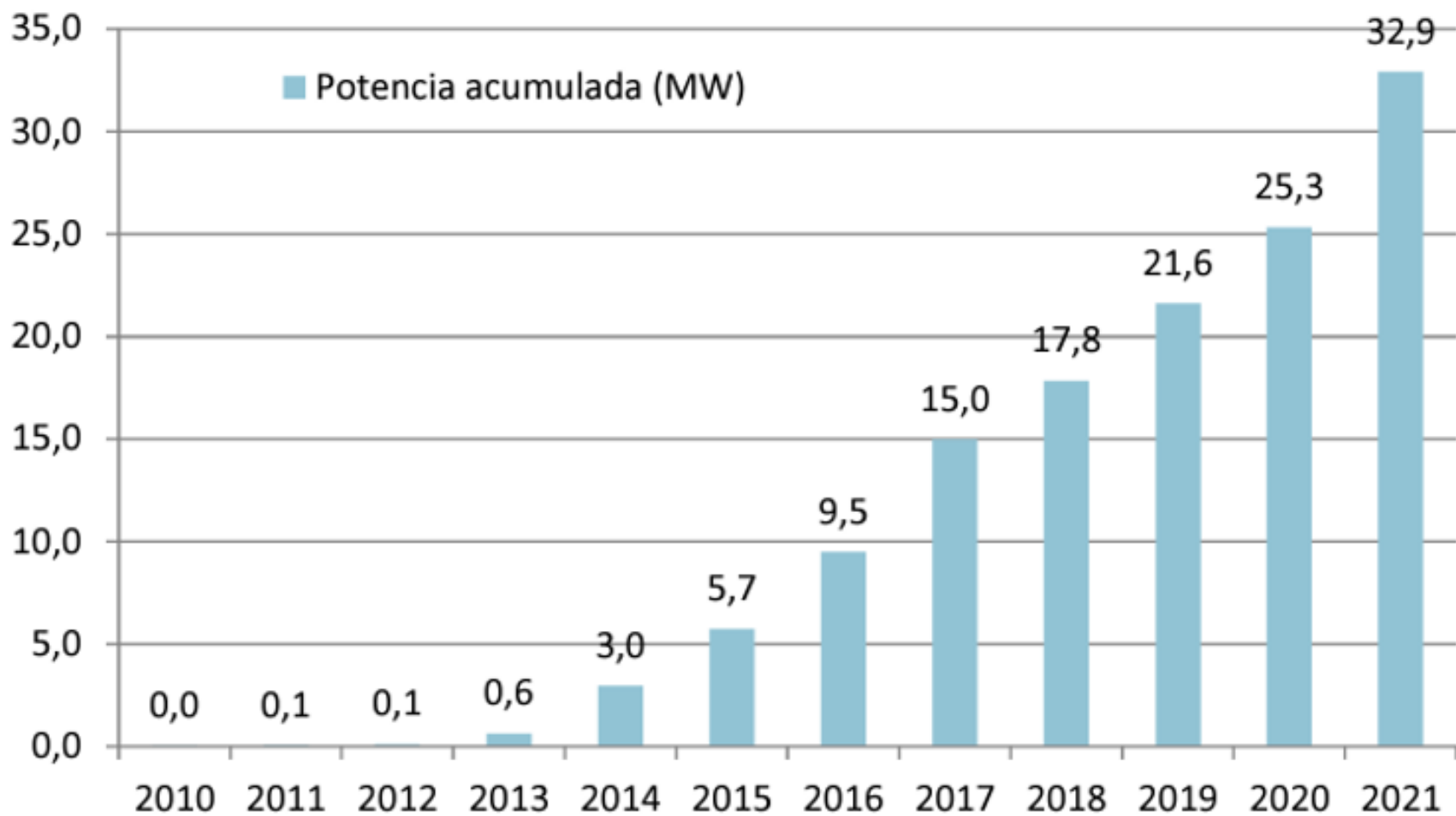
Instalaciones totales según potencia.



Potencia instalada según sectores. En MW.



Fuente: Elaboración de SEG Ingeniería en base al "Balance Energético Nacional 2022", Ministerio de Industria, Energía y Minería.



Autoconsumo Industrial

- Son instalaciones de generación sin límites de potencia, pero con la imposibilidad de volcar los excedentes a la red de UTE (en revisión venta al spot)
- El decreto 114/014 habilitó este tipo de instalaciones sin que el cliente pierda la calidad de suscriptor con UTE.

YARNEL

Parque Fotovoltaico de 9,5 MW

Ubicado en Young, Río Negro



NATELU



Parque Fotovoltaico de 9,5 MW

Ubicado en Mercedes, Soriano


MENAFRA SOLAR

An aerial photograph of a vast solar farm. The image shows numerous rows of dark blue photovoltaic panels stretching across a green field. The panels are arranged in a grid-like pattern, with narrow paths between them. In the background, there is a body of water and some trees under a clear sky. The overall scene is a large-scale agricultural or industrial installation.

Planta Fotovoltaica de 20 MW

Ubicado en Young, Río Negro

ARAPEY SOLAR

An aerial photograph of a large-scale solar farm. The image shows numerous rows of blue photovoltaic panels arranged in a grid pattern across a flat, open landscape. A central dirt road or access path runs through the middle of the panels. To the right, there is a fenced-in area containing several buildings, including a white rectangular structure and a taller, more complex structure with a red and white tower. Various pieces of construction equipment and vehicles are visible near these buildings. The surrounding area is a mix of brown earth and green grass.

Planta Fotovoltaica de 10 MW

Ubicado en Arapey, Artigas

Hidrógeno verde y renovables



- Piloto H2U – Lanzado en Junio 2022

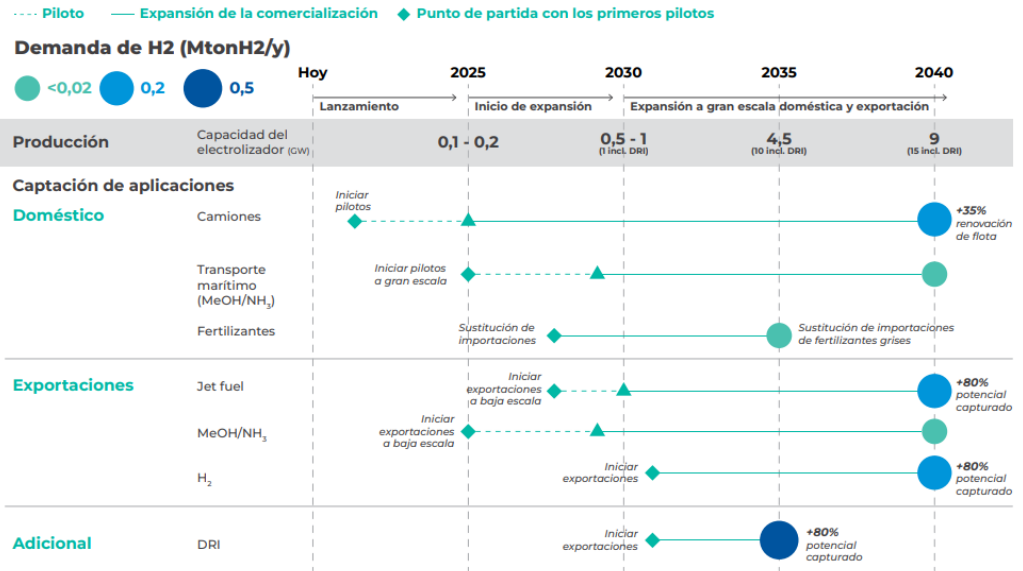




Hoja de ruta del hidrógeno verde y derivados en Uruguay



Ministerio de Industria, Energía y Minería

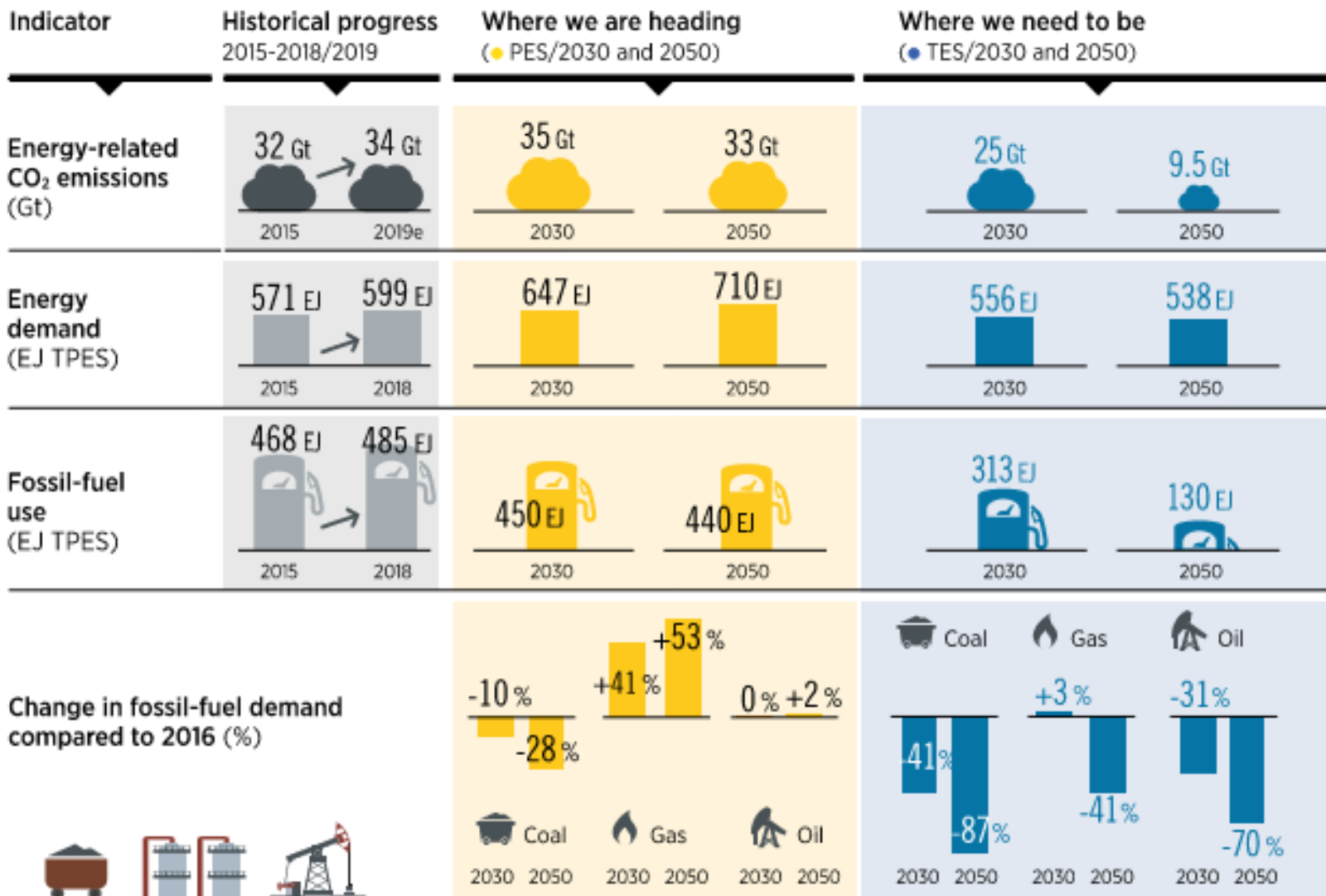


APROBADO POR DECRETO 098/24 – 9/8/2024

Perspectivas

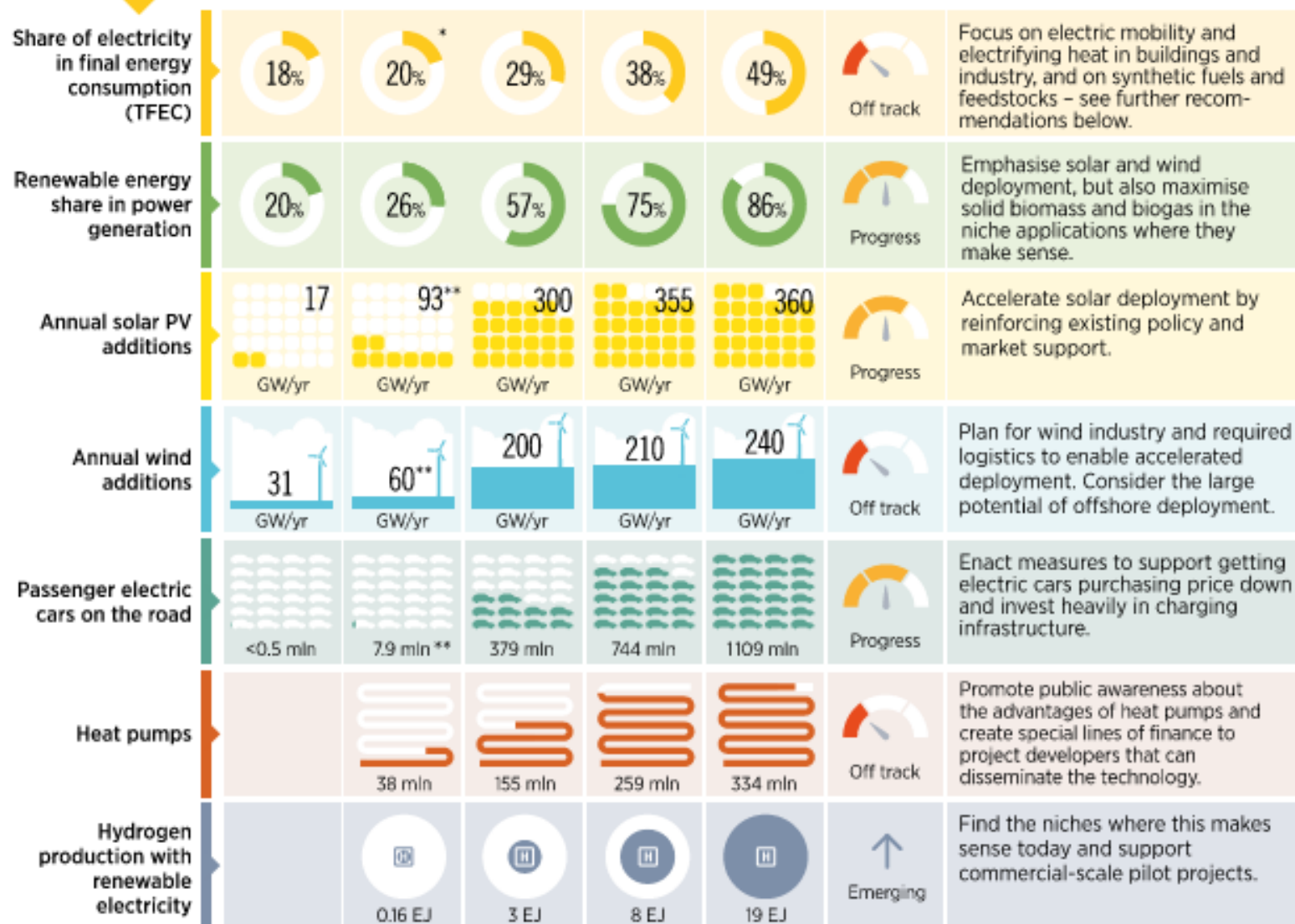


Proyección 2050 - IRENA



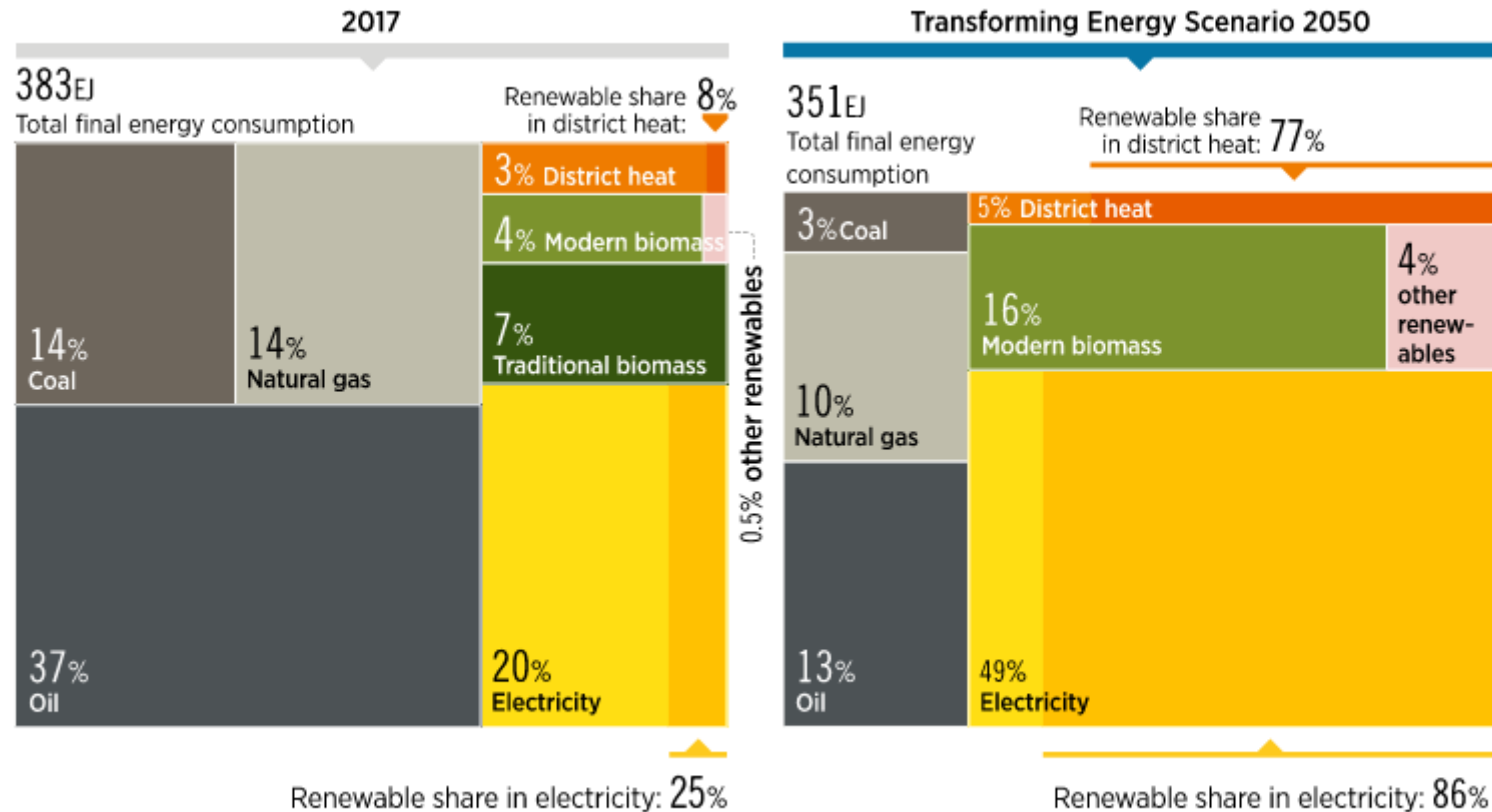


Electrification with renewables



Proyección 2050 - IRENA

TFEC (%)

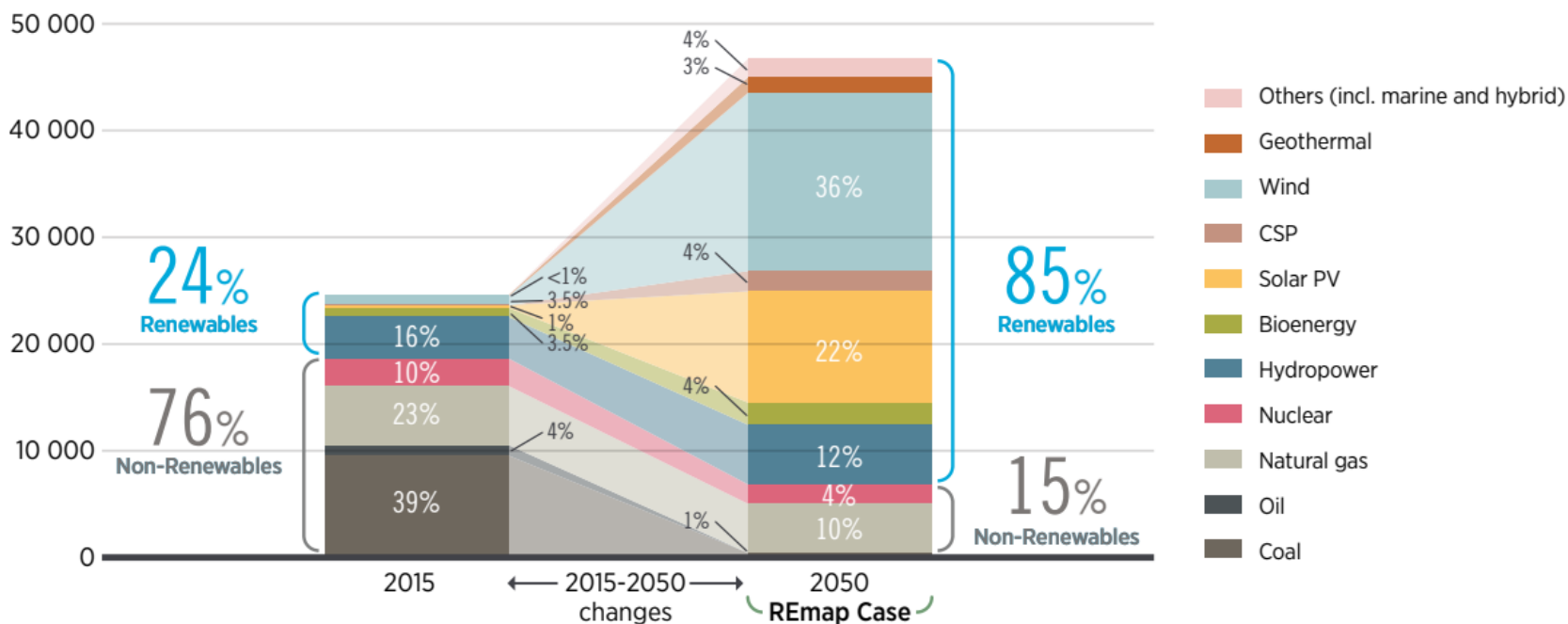


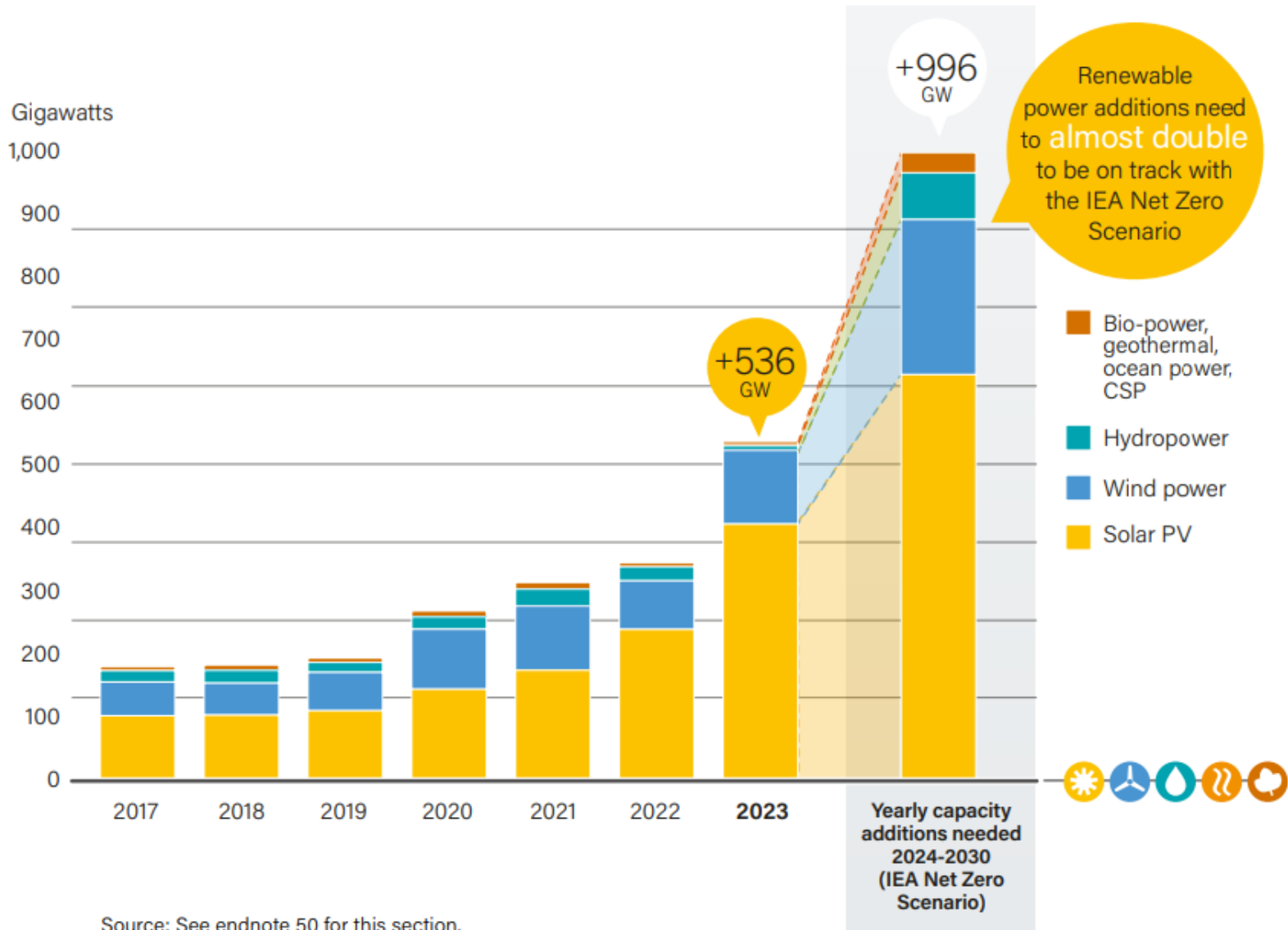
Note: TES (IRENA), 2017 values based on IEA (2019b)

Figure 15. The rising importance of solar and wind energy in the power sector

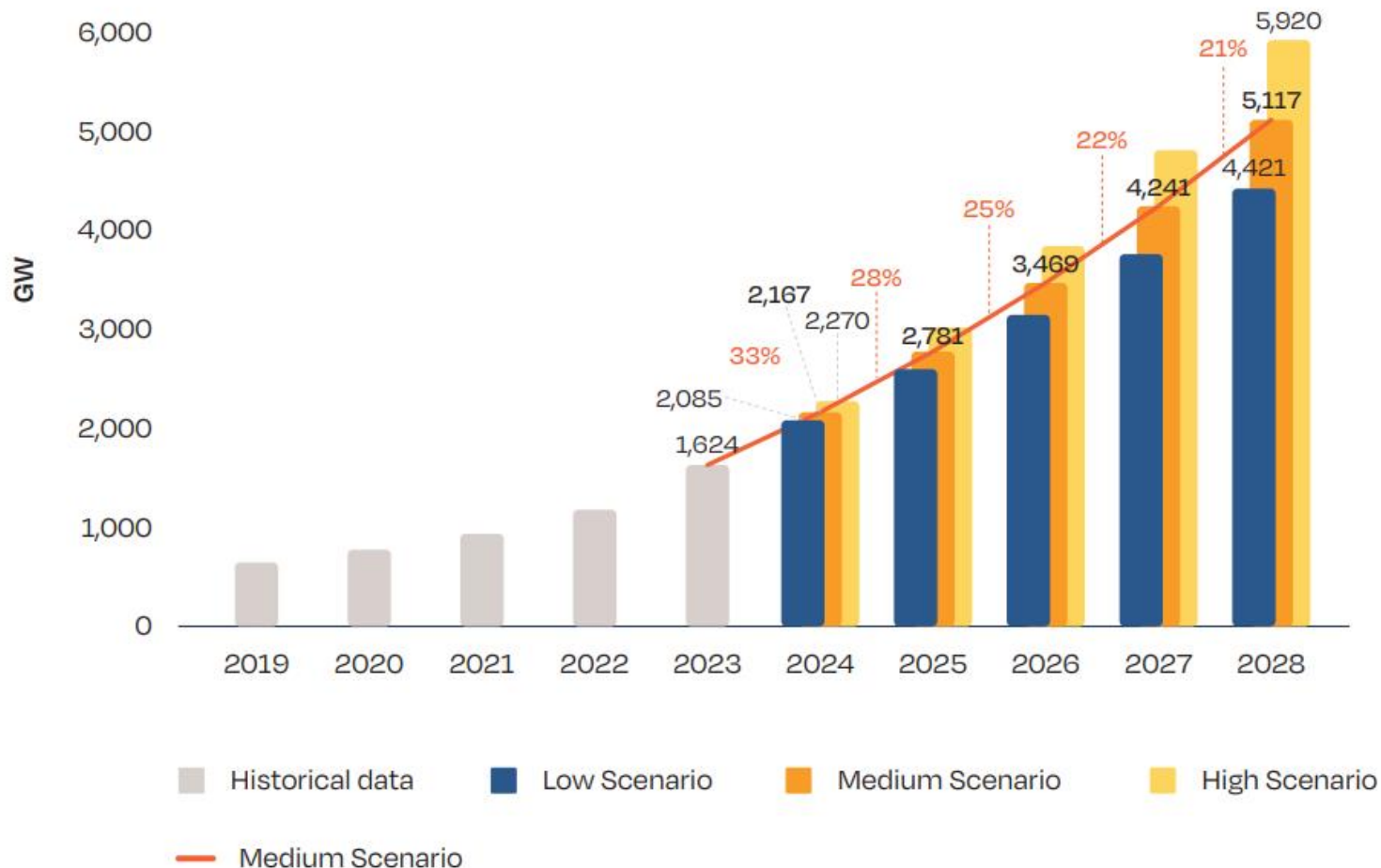
Breakdown of electricity generation, by source (TWh/yr)

Electricity generation (TWh/yr)

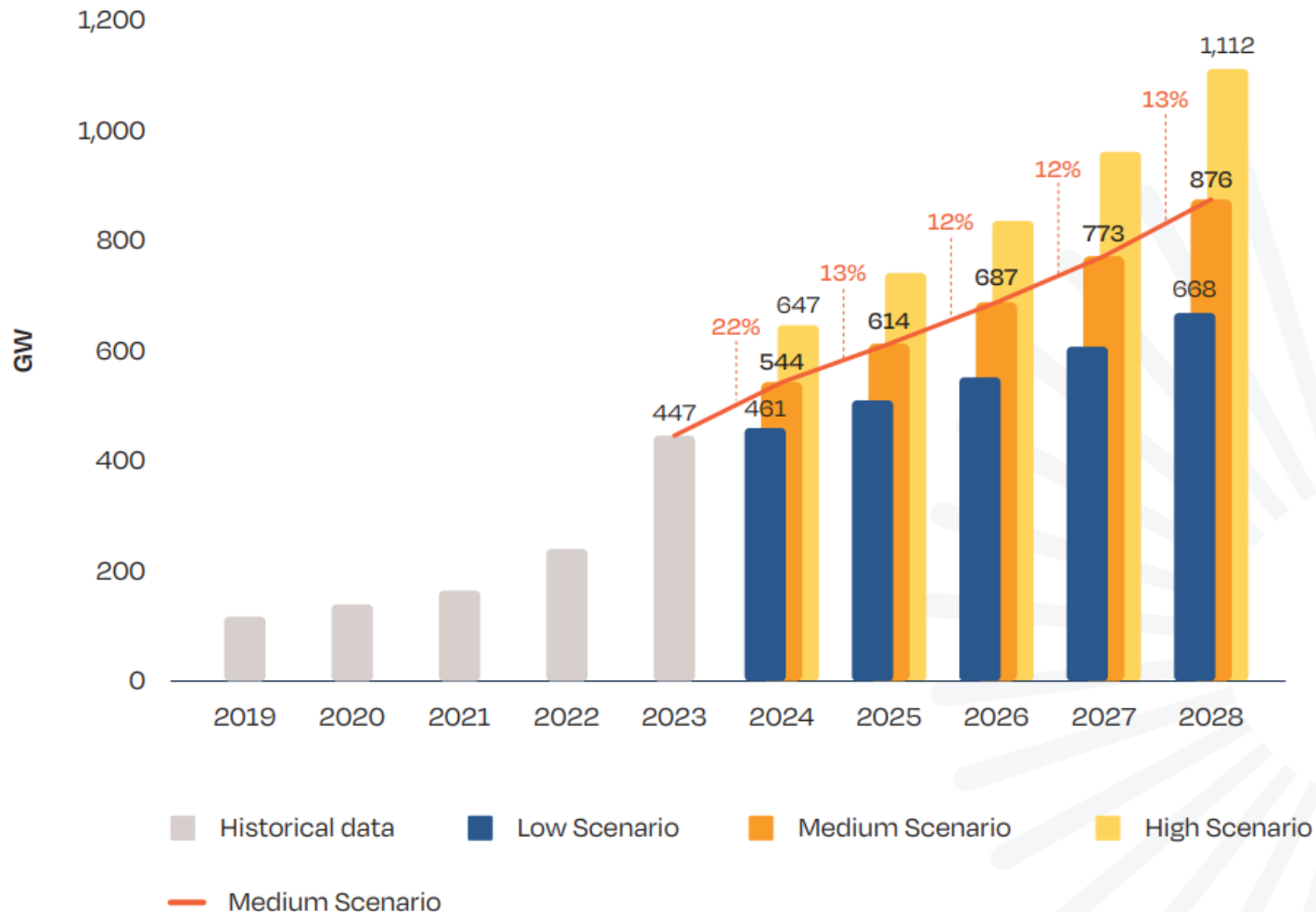




GLOBAL MARKET OUTLOOK FOR PHOTOVOLTAICS 2024-2028



GLOBAL MARKET OUTLOOK FOR PHOTOVOLTAICS 2024-2028



Rooftop vs. Utility Scale



Proyección de principales agencias internacionales

Table 1: Evolution scenarios of the world-wide cumulative solar electrical capacities until 2040

Year	2018 [GW]	2020 [GW]	2025 [GW]	2030 [GW]	2040 [GW]
Actual Installations	520				
Greenpeace (advanced [r]evolution scenario)		844	2 000	3 725	6 678
LUT 100% RES Power 2017		1 168	3 513	6 980	13 805
LUT 100% Energy 2019		1 097	1 628	12 951	30 531
BNEF NEO 2019		795	1 435	2 440	5 044
IRENA 2019 reference case*		514	1 020	2 017	3 122
IRENA 2019 REmap case*		583	1 358	3 151	5 761
IEA New Policy Scenario 2016		481	715	949	1 405
IEA 450ppm Scenario 2016**		517	814	1 278	2 108
IEA New Policy Scenario 2018**		665	1 109	1 589	2 540
IEA Sustainable Development Scenario 2018**		750	1 472	2 346	4 240

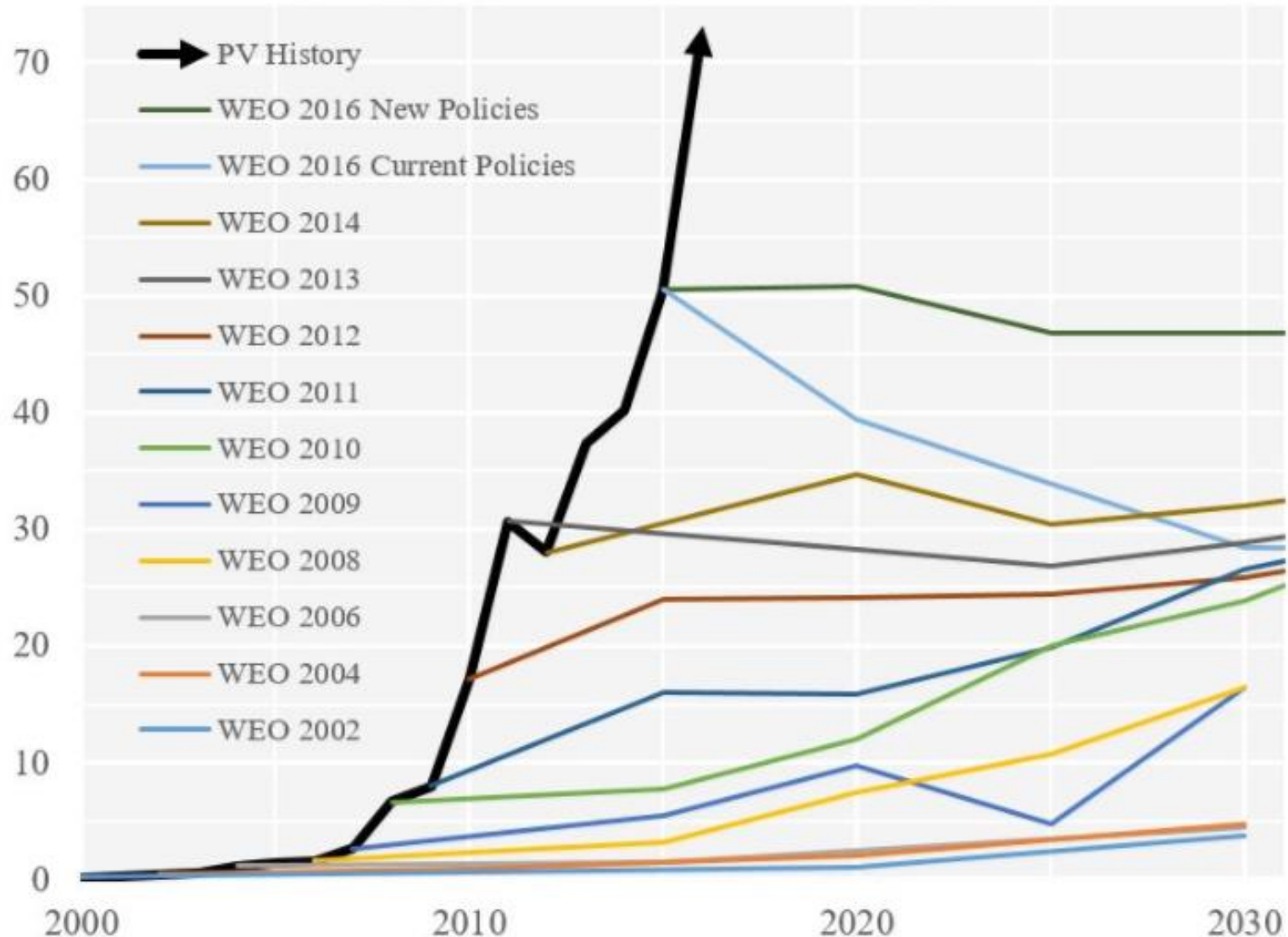
* - - - - - ** - - - - -

Fuente: PV Status Report 2019



Annual PV additions: historic data vs IEA WEO predictions

In GW of added capacity per year - sources World Energy Outlook and PVMA



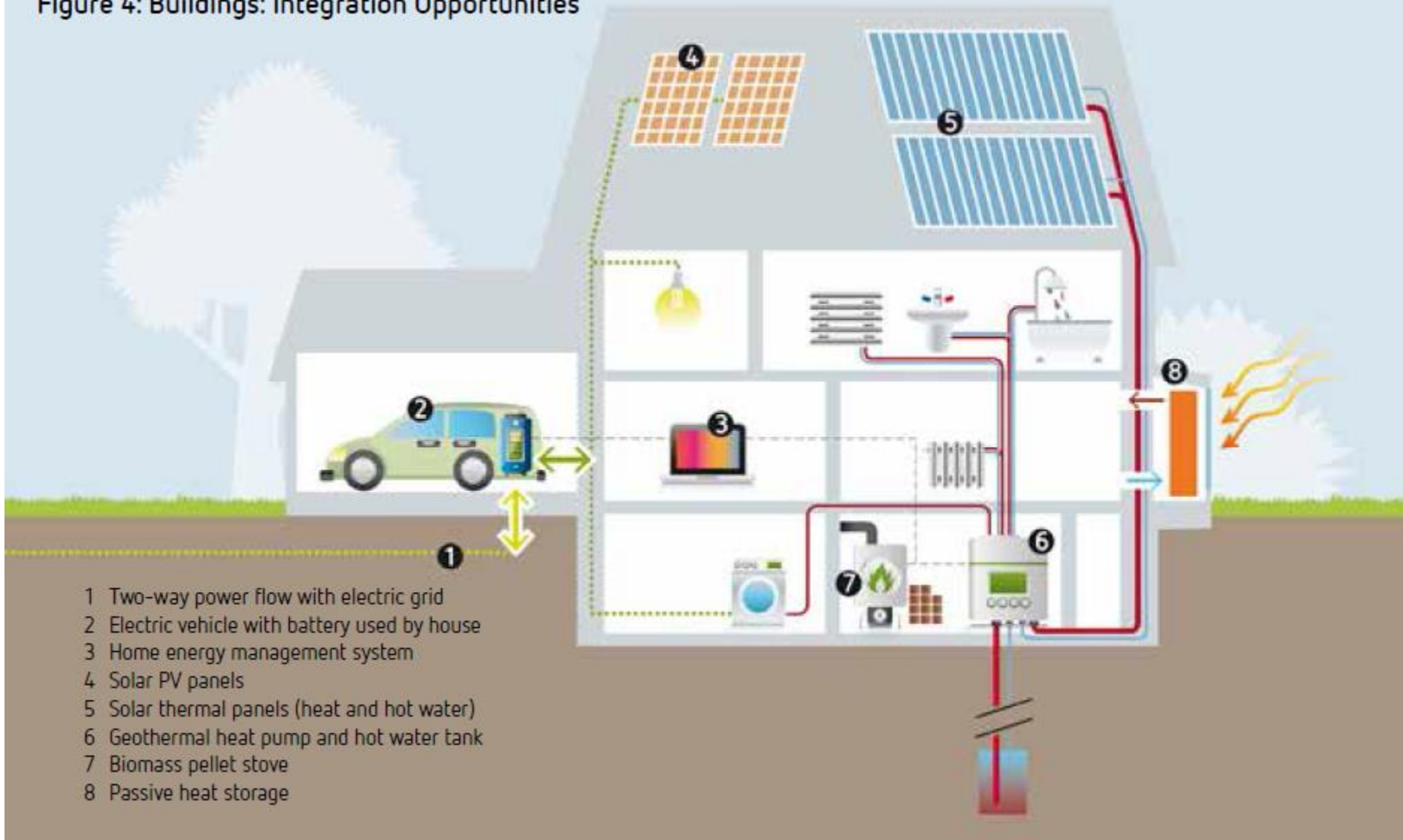
Aplicaciones importantes para el desarrollo de Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica ya es la tecnología de generación de energía más barata del mercado. Sin embargo existe espacio para continuar mejorando su competitividad y abriendo nuevas fronteras:

- Combinación de Solar FV + Acumulación en gran escala
- Generación de energía para producción de hidrógeno (H2 verde)



Figure 4: Buildings: Integration Opportunities



La energía fotovoltaica ~~va a ser~~ **ES** clave en el cambio del paradigma energético mundial



Planta fotovoltaica Tengger Desert Solar Park – 1500MW – China