



# L'ENERGIA EÒLICA

## I ALTRES FONTS D'ENERGIA RENOVABLES

25 de febrer de 2022

Elies Campmany Pons

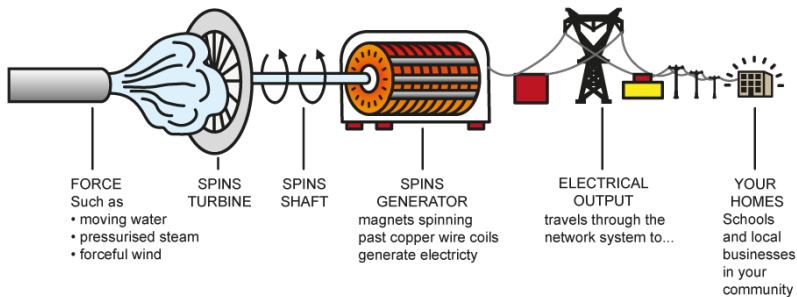
# Què és l'energia?

- L'energia és la capacitat de realitzar un treball (moviment, variació de temperatura, transmissió d'ones, etc.)
- A la Terra, l'energia del Sol arriba en forma de radiació electromagnètica (llum i calor).
- L'acció directa dels raigs del Sol sobre l'atmosfera crea diferències de temperatura que originen els vents, les onades i la pluja.
- La radiació solar permet la vida de plantes i animals, les restes dels quals, s'acumulen durant milions d'anys i formen els combustibles fòssils.



# Què és l'energia?

- L'energia elèctrica no arriba directament del Sol, ni s'acumula en jaciments.
- L'electricitat es genera en el mateix moment que es consumeix.
- La generació es fa transformant l'energia mecànica (rotació) en elèctrica per mitjà de la inducció electromagnètica.



# Fonts d'energia

## No renovables:

Provenen d'un recurs que trobem a la Terra en quantitat limitada i són exhauribles.

- Combustibles fòssils:
  - Carbó
  - Petroli
  - Gas natural
- Energia nuclear

## Renovables:

La font d'energia es regenera en un període curt i n'hi ha unes reserves il·limitades.

- Biomassa
- Geotèrmia
- Hidràulica
- Solar
- Eòlica



# Carbó

- És una roca sedimentària d'origen orgànic que s'utilitza com a combustible.
- A partir del segle XVIII amb la revolució industrial s'utilitza a la indústria (vapor tèxtil), transport (trens i vaixells).
- Actualment s'utilitza a les centrals termoelèctriques per produir electricitat, principalment a la Xina i l'Índia.



Central tèrmica de Cercs, activa de 1971 a 2011, produïa electricitat del carbó extret de les mines de lignit de l'Alt Berguedà. **Font:** Jordi Escarré (CC-BY-SA-4.0)

# Petroli

- És una barreja d'hidrocarburs (composts d'hidrogen i carboni) que es produeix a l'interior de la Terra a partir de matèria orgànica sedimentada.
- Al segle XIX es destil·la com a querosè (font d'iluminació). A principis del segle XX es destil·la com a gasolina (motor de combustió).
- Actualment la principal font d'energia i la matèria primera de molts derivats (plàstics, asfalt, butà, propà,...).



Plataforma d'extracció de petroli al mar del Nord.

Font: Chad Teer (CC-BY-2.0)

# Gas natural

- És una mescla de gasos més lleugera que l'aigua, no tòxic, incolor i originàriament inodor.
- És l'energia fòssil més neta quant a residus i emissions atmosfèriques i el combustible més eficient per a l'obtenció d'electricitat a les centrals tèrmiques.
- El cicle combinat és una tecnologia que combina una turbina de gas i una turbina de vapor de condensació.

<b>Combustible</b>	<b>Eficiència</b>
Gas natural	50,7%
Petroli	25,7%
Carbó	26.8%
Urani	26.1%

**Font:** *Medi ambient i tecnologia*, de Josep Arnaldos. Edicions UPC, 1998. ISBN 9788483012789

# Efecte hivernacle



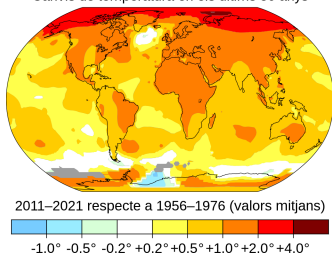
Font: Shutterstock

- L'atmosfera deixa passar la radiació solar però atrapa part de la radiació tèrmica de la Terra.
- Sense atmosfera la temperatura de la Terra seria de  $-18^{\circ}\text{C}$ , però amb atmosfera és de  $15^{\circ}\text{C}$ .
- Principals gasos d'efecte hivernacle:
  - Vapor d'aigua ( $\text{H}_2\text{O}$ )
  - Diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ )
  - Metà ( $\text{CH}_4$ )
  - Ozó ( $\text{O}_3$ )
- Altres gasos en menor proporció: òxid nitrós ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hexafluorur de sofre ( $\text{SF}_6$ ) i clorofluorocarburs (CFC).

# Escalfament global

- L'escalfament global és el procés d'augment gradual de la temperatura de la Terra com a resultat de l'activitat humana.
- Malgrat que hi ha hagut altres períodes de canvi climàtic en la història de la Terra, no n'hi ha cap que hagi estat tan ràpid com l'episodi actual.
- La causa principal d'aquest fenomen són les emissions de gasos d'efecte hivernacle: diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>), metà (CH<sub>4</sub>) i òxid nitrós (N<sub>2</sub>O).

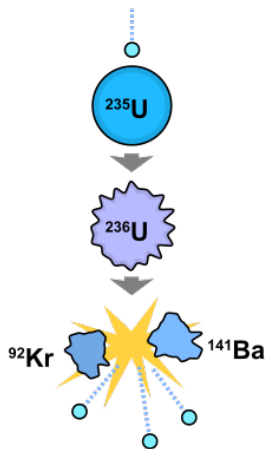
Canvis de temperatura en els últims 50 anys



**Font:** GISTEMP Team, 2022: GISS Surface Temperature Analysis. NASA Goddard Institute for Space Studies.

# Energia nuclear

- La fissió d'un àtom desprèn l'energia que manté les partícules del nucli unides (protons i neutrons).
- Es necessita molta energia per trencar un àtom, però després, la reacció continua en cadena si és un element radioactiu.
- L'energia es desprèn en forma de calor (exotèrmica) que s'aprofita per escalfar aigua i amb el vapor d'aigua a pressió fer girar una turbina per produir electricitat.



Esquema de la fissió de l'urani.

Font: Wikimedia Commons

# Energia nuclear

- Avantatges: La fissió nuclear no emet CO<sub>2</sub> a l'atmosfera<sup>1</sup>
- Inconvenients:
  - Les reserves d'urani són limitades.
  - Residus radioactius.
  - Radiació ambiental.



Central nuclear d'Ascó, operativa des del 1984. **Font:** International Atomic Energy Agency.

---

<sup>1</sup>El procés d'enriquiment d'urani sí que emet CO<sub>2</sub>

# Biomassa

Matèria orgànica usada com a combustible amb diferent origen:

## Vegetal:

Forestal (llenya), cultius (biocombustibles) i residus agrícoles (closques i pinyols).



## Animal:

Fems i purins (biogàs).



## Urbà:

Residus orgànics de les ciutats i indústries.





# Biomassa

## Avantatges:

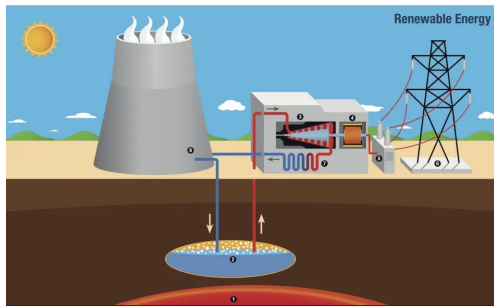
- Gestió de residus.
- Reducció del risc d'incendis forestals.

## Inconvenients:

- Emissions de gasos d'efecte hivernacle.
- Si se sobrepassa la capacitat de regeneració ja no és renovable.
- El cultiu de biocarburants pot desplaçar cultius alimentaris.

# Energia geotèrmica

- Es perfora el sòl per extreure aigua a alta temperatura o vapor d'aigua.
- El vapor fa girar una turbina connectada al rotor d'un generador.
- Després el vapor es refreda fins a condensar-se i es reinjecta l'aigua a l'aqüífer.



Esquema d'una planta geotèrmica. **Font:** Green Renewables.

# Energia geotèrmica

## Avantatges:

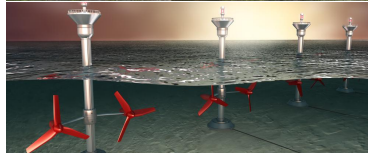
- És un recurs inesgotable.
- Es manté estable, no depèn de les estacions ni de la meteorologia.
- És present a tot arreu.

## Inconvenients:

- Difícil d'instal·lar a les grans ciutats.
- L'extracció pot emetre gasos contaminants

# Energia hidràulica

- **Preses:** La caiguda vertical de l'aigua embassada impulsa una turbina. La potència depèn del volum i de l'alçada.
- **Bombament:** En moments de baixa demanda elèctrica, s'aprofita l'excés d'electricitat per bombar aigua amunt. Serveix per emmagatzemar energia.
- **Corrent del riu:** El corrent de l'aigua mou les pales de la turbina. Té una capacitat de reserva nul·la.
- **Maremotriu:** Aprofita l'augment i la caiguda diària de l'aigua del mar a causa de les mareas. És molt previsible.



# Energia hidràulica

## Avantatges:

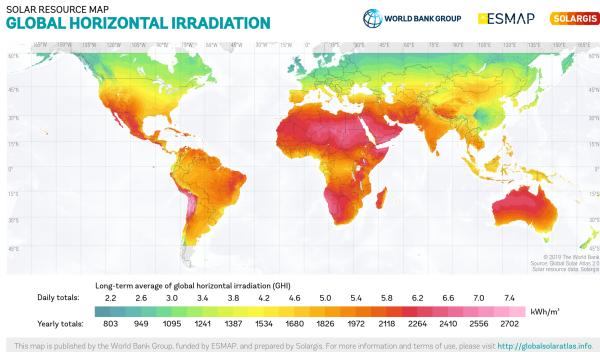
- No fan servir combustible ni tenen emissions.
- Emmagatzematge d'energia.
- Regulació del cabal d'un riu.

## Inconvenients:

- Danys a l'ecosistema.
- Sensibles a fenòmens climàtics.

# Energia solar

- Consisteix a aprofitar la radiació electromagnètica provinent del sol.
- La potència varia segons la latitud, l'època de l'any, l'hora del dia i les condicions atmosfèriques.



Mitjana anual de la irradiació horitzontal global al món. **Font:** The World Bank.

# Energia solar

## Tèrmica:

- Aigua calenta sanitària domèstica.
- Sistemes de calefacció.
- Producció d'electricitat amb una turbina.



## Fotovoltaica:

- Transformació d'energia lluminosa (fotons) en energia elèctrica (electrons)
- Es basa en l'efecte fotoelèctric d'un semiconductor (silici).
- Eficència al voltant del 25%



# Energia solar

## Llar

Potència elèctrica: 4 kW  
Consum anual: 3500kWh

## Panell fotovoltaic

Mides: 1m x 2.4m  
Potència pic: 500Wp

## Instal·lació

2 panells: 1000Wp  
Producció anual<sup>2</sup>: 1581kWh



<sup>2</sup> Producció mitjana anual calculada per a Olesa de Montserrat segons PVGIS.





PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

European Commission - JRC Science Hub - PVGIS - Interactive tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us

On 1st March PVGIS 5.2 will be released - click here for more information

Address:   Lat/Lon:

Cursor:  
Selected: 41.544, 1.892  
Elevation (m): 115

Use terrain shadows  
 Calculated horizon  
 Loaded horizon file

No file selected.

GRID CONNECTED

### PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database\* PVGIS-SARAH  
PV technology\* Crystalline silicon  
Installed peak PV power [kWp]   
System loss [%]

**Fixed mounting options**

Mounting position\* Free-standing  
Slope [°]   
Azimuth [°]

Optimize slope  
 Optimize slope and azimuth

PV electricity price  
PV system cost (your currency)   
Interest [%/year]   
Lifetime [years]

### PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV: RESULTS

#### Summary

<b>Position input</b>	
Location [lat/lon]	41.544, 1.892
Horizon	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	1
System loss [%]:	14
<b>Simulation output</b>	
Slope angle [°]:	35
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	1583.49
Yearly in plane irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]:	2055.42
Year to year variability [kWh]:	39.80
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.6
Spectral effects [%]:	0.96
Temperature and low irradiance [%]:	-4.54
Total loss [%]:	-21.04

#### Monthly energy output from fixed-angle PV system

Month	Energy Output (kWh)
Jan	110
Feb	115
Mar	140
Apr	135
May	155
Jun	155
Jul	165
Aug	155
Sep	135
Oct	120
Nov	105
Dec	110

#### Outline of horizon

Legend:  
 Horizon height  
 Sun height, June  
 Sun height, December

Font: PVGIS Photovoltaic Geographical Information System.

# Energia solar

## Avantatges:

- Recurs inesgotable i net.
- Manteniment quasi nul.
- Ideal per a l'autoconsum.



Refugi de l'estany Llong, Aigüestortes a 1985m d'alçada

## Inconvenients:

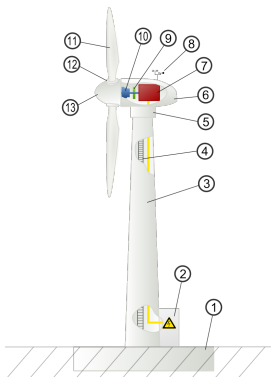
- Energia intermitent.
- Ocupa una gran superfície.



Parc solar Amposta I, produeix 530 kW i ocupa 11000m<sup>2</sup>

# Energia eòlica. L'aerogenerador

- El vent mou les **pales** (11) de l'aerogenerador i provoca una força giratòria.
- Les pales fan rodar l'**eix** (10) que hi ha dins la **gòndola** (6) que impulsa un generador.
- El **generador** (7) té uns camps magnètics per convertir l'energia rotacional en elèctrica.
- Dalt la gòndola hi ha un **anemòmetre** (8) que mesura la velocitat i la direcció del vent.
- Quan el vent canvia de direcció, els **motors** (5) giren la gòndola per posar les pales de cara al vent.
- Les pales tenen un **sistema d'inclinació** (12) per assegurar que s'extreu la quantitat òptima d'energia a partir del vent.

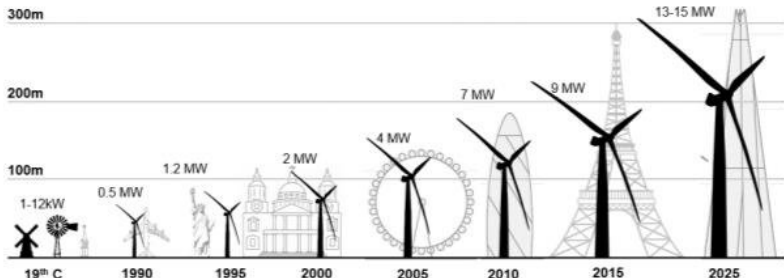


Esquema d'un aerogenerador  
Font: Arne Nordmann  
(CC-BY-SA-3.0)

# Energia eòlica. L'aerogenerador

L'aerogenerador transforma l'energia cinètica del vent en electricitat. La quantitat produïda depèn:

- Del diàmetre del rotor: *pales el doble de llargues generen 4 vegades més d'energia.*
- De la velocitat del vent: *el doble de vent genera 8 vegades més d'energia.*

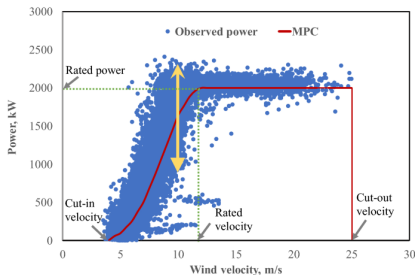


Evolució temporal dels aerogeneradors. Font: Bloomberg New Energy Finance

# Energia eòlica. L'aerogenerador

L'aerogenerador s'ha d'instal·lar en llocs amb una determinada **quantitat i qualitat de vent**.

- L'aerogenerador necessita un mínim de vent per moure les pales (velocitat d'arrencada).
- Treballa de manera òptima a partir d'un cert vent (velocitat nominal).
- Si fa massa vent, les pales s'aturen per evitar danys (velocitat de tall).



Font: Int J Energy Environ Eng

# Energia eòlica. Recurs eòlic



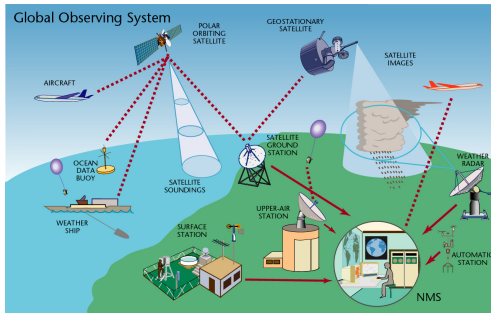
Torre de mesures de 125m d'alçada

- Per identificar els llocs amb un bon vent s'ha d'instal·lar una torre de mesures.
- Cal mesurar a la mateixa alçada d'un aerogenerador i fer servir múltiples nivells i sensors.
- Cal mesurar durant un període significatiu per caracteritzar el llarg termini (10 anys).
- És un procés massa lent i costós.

# Energia eòlica. Recurs eòlic

Una alternativa a les mesures són les reanàlisis meteorològiques

- Produïdes a partir de l'assimilació d'observacions terrestres i satèl·litàries.
- Proporcionen valors horaris, disponibles per a diverses dècades.
- Proporcionen un valor a cada 30km, disponible a tot el món.



Observacions meteorològiques assimilades per al reanàlisi ERA5.  
**Font:** Copernicus. ECMWF

# Energia eòlica. Recurs eòlic

- Per a la majoria de projectes eòlics cal més precisió.
- Els models meteorològics s'inicialitzen amb les dades del reanàlisi.
- Resolen numèricament les equacions primitives de l'atmosfera
- Generen una sortida amb molta més resolució horitzontal a 100m i amb valors del vent cada 10 minuts.

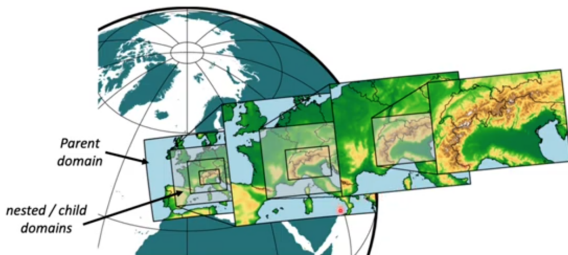


Diagrama del model Weather Research Forecast (WRF) Font: National Center for Atmospheric Research (NCAR)





# Energia eòlica a Catalunya

- Març 1984, Vilopriu (Alt Empordà):  
Primer aerogenerador amb tres pales de 12 metres de diàmetre que produeix 15 kW
- Abril 1984, Garriguella (Girona):  
Primer parc eòlic amb 5 aerogeneradors de 24kW capaç d'abastir 60 famílies.
- 2009:  
Decret 147/2009 paralitza l'eòlica a Catalunya durant una dècada (derogat el 2019).
- 2022, Golf de Roses:  
Projecte Tramuntana, parc marí flotant amb 35 aerogeneradors de 15MW capaç de generar 500MW.



Aerogenerador instal·lat a Vilopriu.  
Font: Eoliccat

# Energia eòlica. Viure de l'aire

- Mig miler de famílies i entitats van formar una cooperativa per aportar el capital necessari (2.8M€)
- L'any 2017 s'instal·la un aerogenerador de 2.35MW a Pujalt (Anoia)
- L'aerogenerador produeix 2400 hores a l'any, 5.6MWh a l'any, l'equivalent al consum anual de 2000 famílies.



Aerogenerador de Pujalt. **Font:** diari EIPais

# Energia eòlica. Viure de l'aire BCN

Nou projecte cooperatiu per instal·lar dos aerogeneradors de 6MW a Collserola.



Cada aerogenerador proporcionarà electricitat a **4.400 llars**



Es produiran un total de **29 GWh** nets anuals



S'evitarà l'emissió a l'atmosfera de **7.000 tones de CO2 anuals**



Equivalent a recórrer **160 milions de km** en cotxe elèctric



Equivalent a cobrir **26 vegades el Camp Nou** de plaques solars



Equivalent a cobrir **89 illes de l'eixample** amb plaques solars



Font: Viure de l'aire BCN

# Energia eòlica

## Avantatges:

- Energia neta i renovable.
- Té un alt rendiment.
- Ocupa poc espai i pot conviure amb altres usos del sòl (ramaderia i cultius).

## Inconvenients:

- Energia intermitent.
- Impacte paisatgístic.
- Impacte sobre la fauna

# Energia eòlica

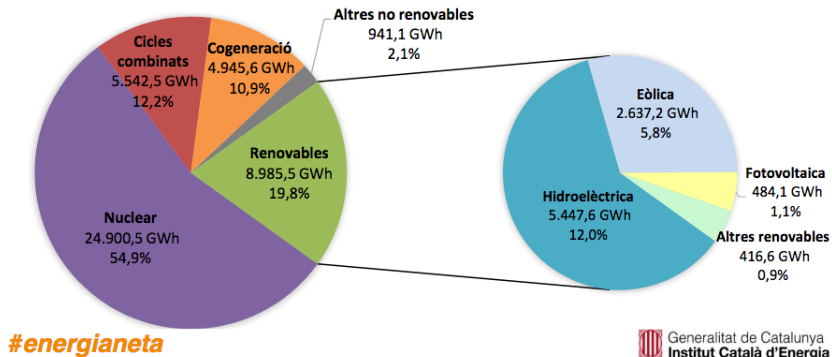
Estimació d'aus mortes cada any al Canadà:

	Milions
Gats domèstics i silvestres	200
Línies i centrals elèctriques	25
Xocs amb edificis i finestres	25
Xoc cotxes	14
Caça	5
Pesticides	2.7
Torres de comunicació	0.200
Eòlica	0.16

**Font:** Calvert, Anna M., et al. "A Synthesis of Human-related Avian Mortality in Canada Synthèse des sources de mortalité aviaire d'origine anthropique au Canada." *Avian Conservation and Ecology* 8.2 (2013): 11.

# Producció de l'electricitat

Producció d'energia elèctrica a Catalunya l'any 2020



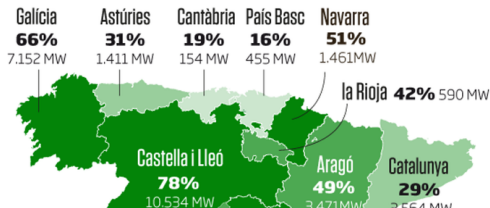
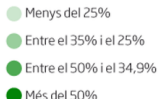
Font: Institut Català d'Energia. Generalitat de Catalunya

# Producció de l'electricitat

- Actualment a Catalunya només el 19% de l'energia que es consumeix és d'origen renovable.
- La Unió Europea exigeix que al 2030 el 50% del consum d'electricitat provingui de renovables, i al 2050, el 100%.
- Espanya té un 54% de potència elèctrica instal·lada d'energies renovables. Catalunya només en té un 29%.

## RENOVABLES PER COMUNITATS

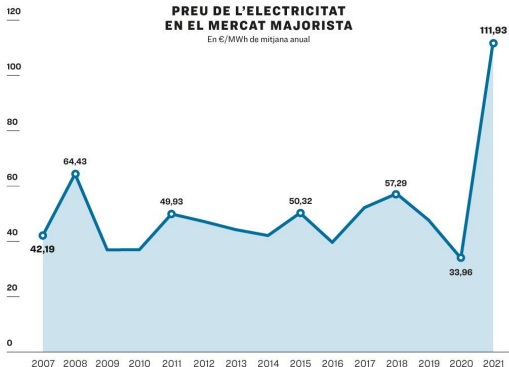
Percentatge de renovables sobre el total de potència instal·lada i potència de renovables en MW





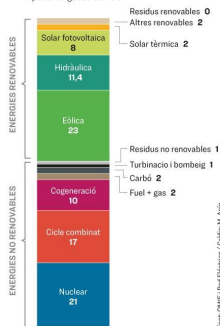
# Preu de l'electricitat

El 2021 el preu mitjà de l'electricitat va ser de 111€/MWh, un 229,5% més que el 2020.



## ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓ A ESPANYA EL 2021

En percentatge sobre el total



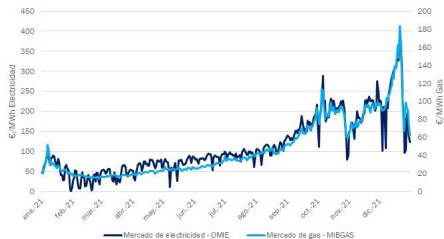
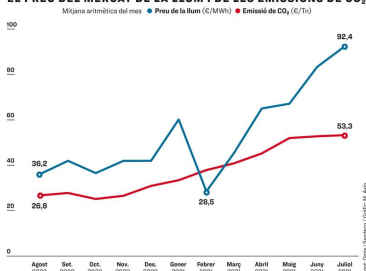
Font: OMIE / Red Eléctrica / Gràfic: M. Asín

Font: Diari ARA a partir de les dades de OMIE/Red eléctrica

# Preu de l'electricitat. Causes

- L'increment del cost del dret de les emissions de CO2  
*1 tona de CO2 el 2020: 24,75€; el 2021: 53,55€*
- L'augment del preu del gas, que s'utilitza a les centrals de generació elèctrica de cycle combinat.
- Un mercat marginalista en què l'última tecnologia que hi entra, el gas, que és la més cara, marca el preu final.

EL PREU DEL MERCAT DE LA LLUM I DE LES EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>



Font: Mercado ibérico del gas



Gràcies per la vostra atenció.