



Fusión Nuclear

Fuente de energía limpia y virtualmente inagotable

Eleonora Viezzer
Javier Hidalgo Salaverri
Plasma Science and Fusion Technology Group
Universidad de Sevilla

El cielo nocturno de la Tierra



**Dependemos completamente de los combustibles fósiles,
que se agotarán en las próximas décadas**

El cielo nocturno de la Tierra

EL PAÍS

CRISIS ENERGÉTICA >

La crisis energética asfixia a la industria española: así son las medidas que toman las empresas para sobrevivir

El sector manufacturero congela inversiones, toma medidas en materia de empleo y frena la actividad para afrontar un invierno con los combustibles por las nubes



El Confidencial



Un invierno sin gas: el objetivo de Rusia es poner la UE en contra de Ucrania

Rusia juega con el suministro de gas, abriendo y cerrando el grifo a los países 'hostiles', para doblegar las economías de Europa y minar el apoyo de la ciudadanía a Ucrania

How to deal with Europe's energy crisis

The Economist

Russia is turning off the gas. Power cuts loom. What should governments do?



LA STAMPA

Crisi energetica, l'Italia rimane senza legna e pellet. Stufe spente questo inverno



Face à l'envolée des prix de l'énergie, les Européens demandent à la Commission d'explorer « urgemment » toutes les pistes

Le Monde



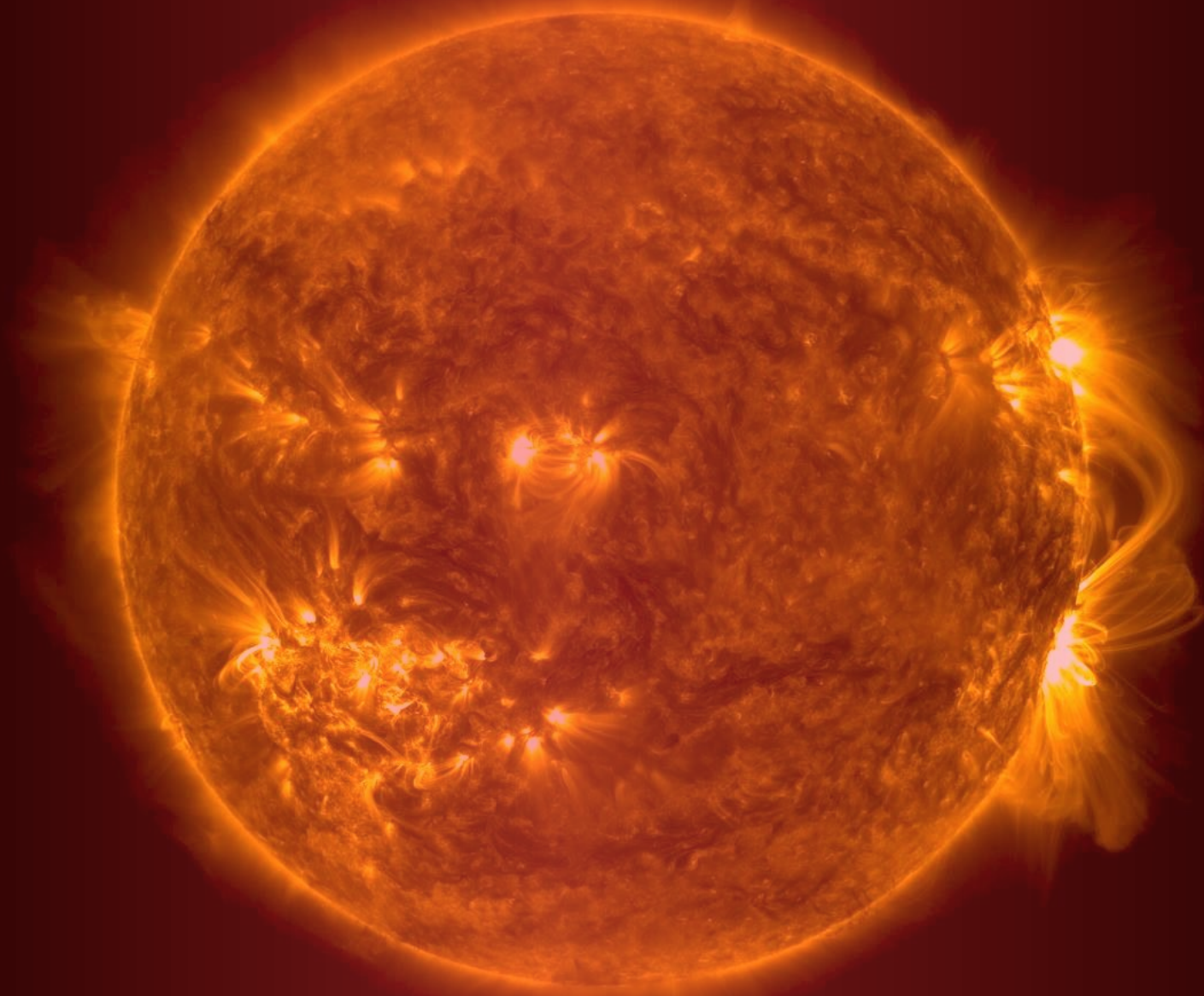
Dependemos completamente de los combustibles fósiles, que se agotarán en las próximas décadas

Necesitamos una fuente de energía sostenible

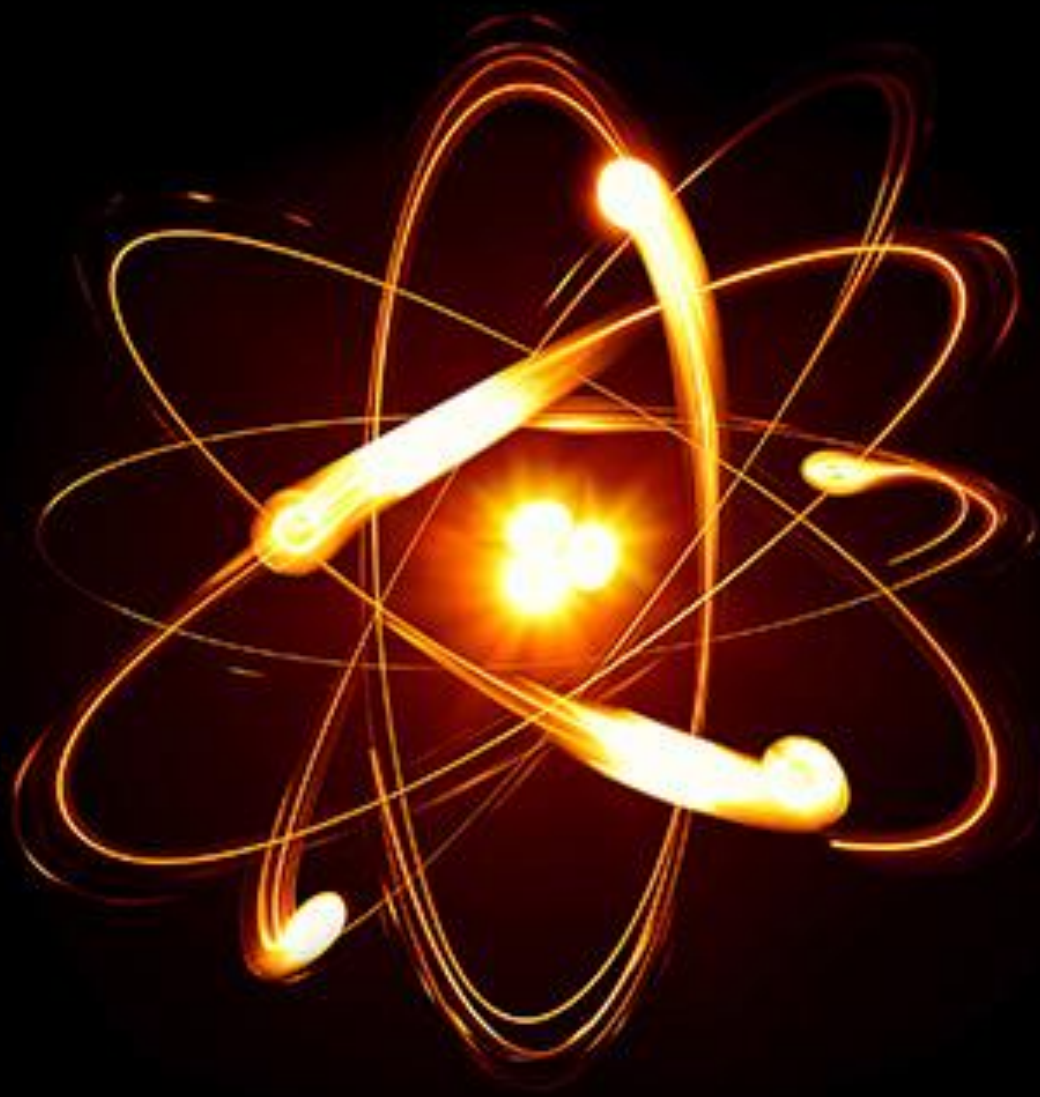


Para cumplir con la demanda energética mundial
Para ayudar a países en vías de desarrollo y avanzar hacia un mundo más justo
Para asegurar un futuro seguro para las próximas generaciones

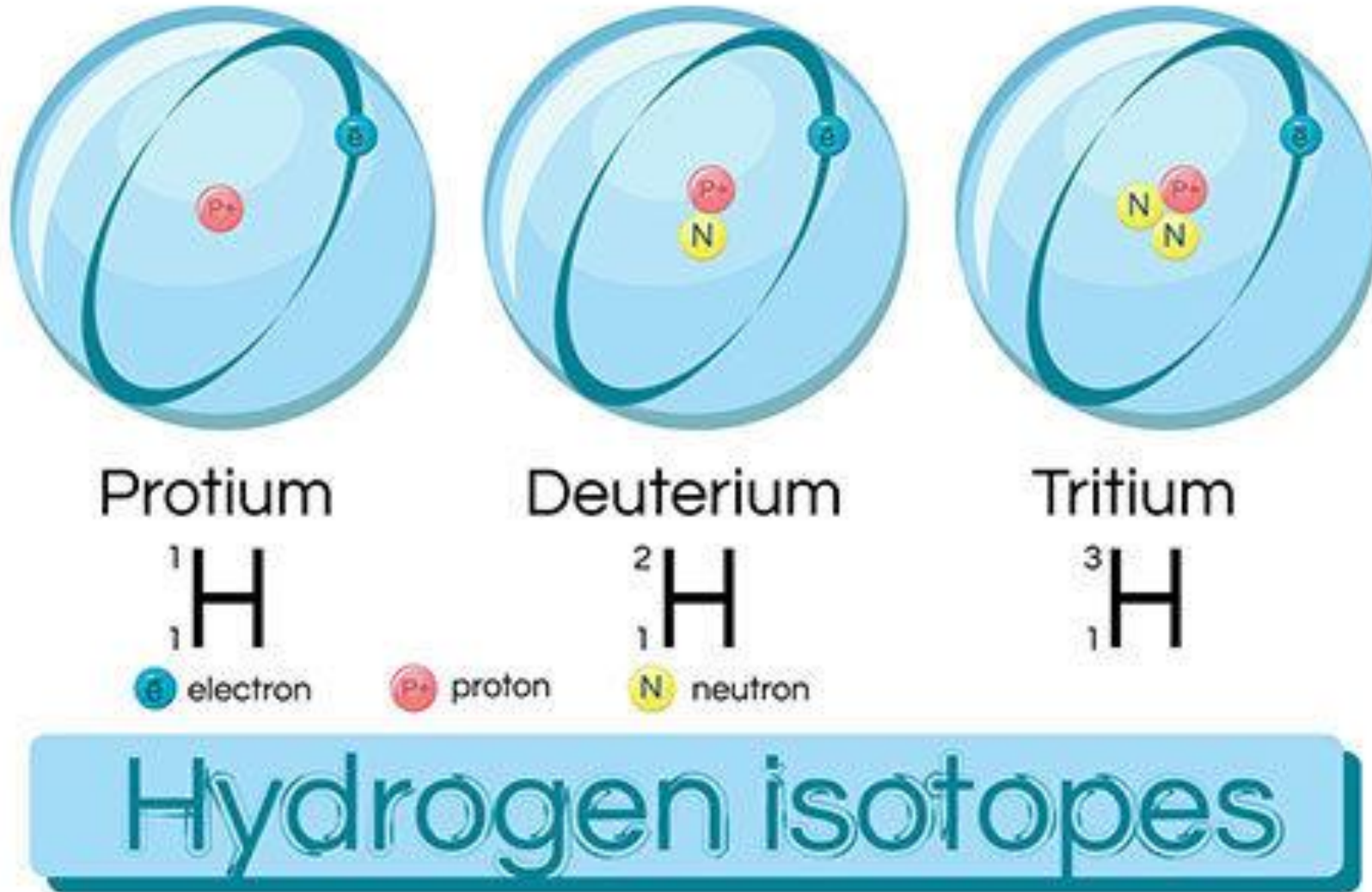
La fusión del hidrógeno alimenta el universo



y es la fuente de energía del Sol.

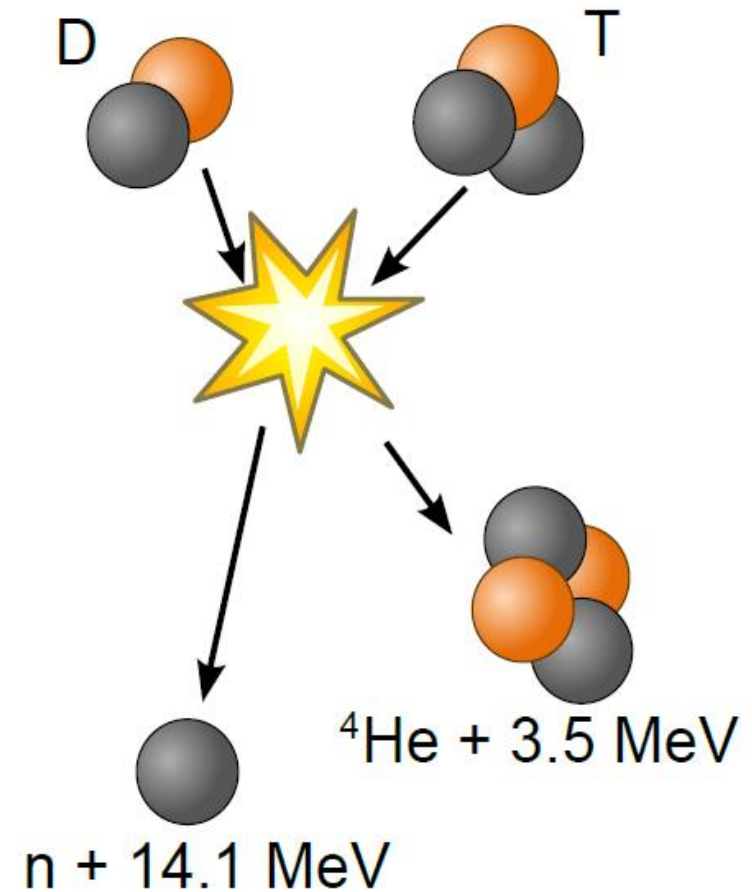
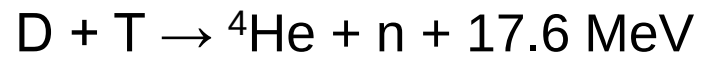


Hidrogeno pesado - Deuterio y Tritio



Fusión en la Tierra

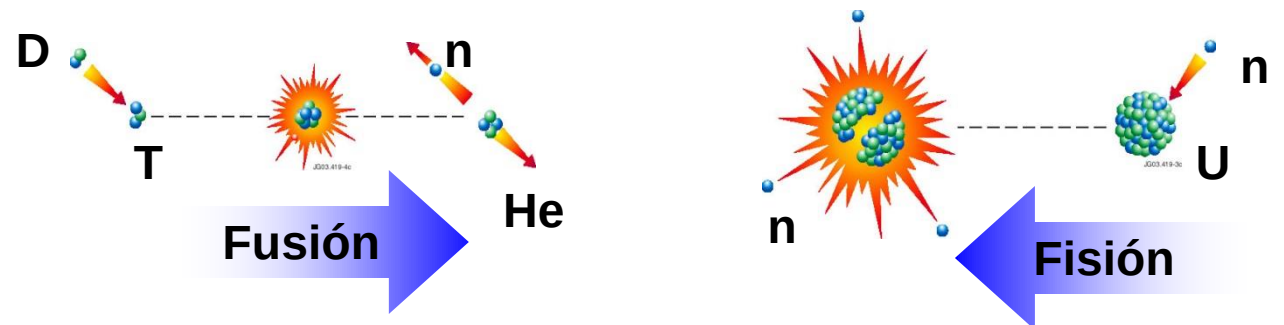
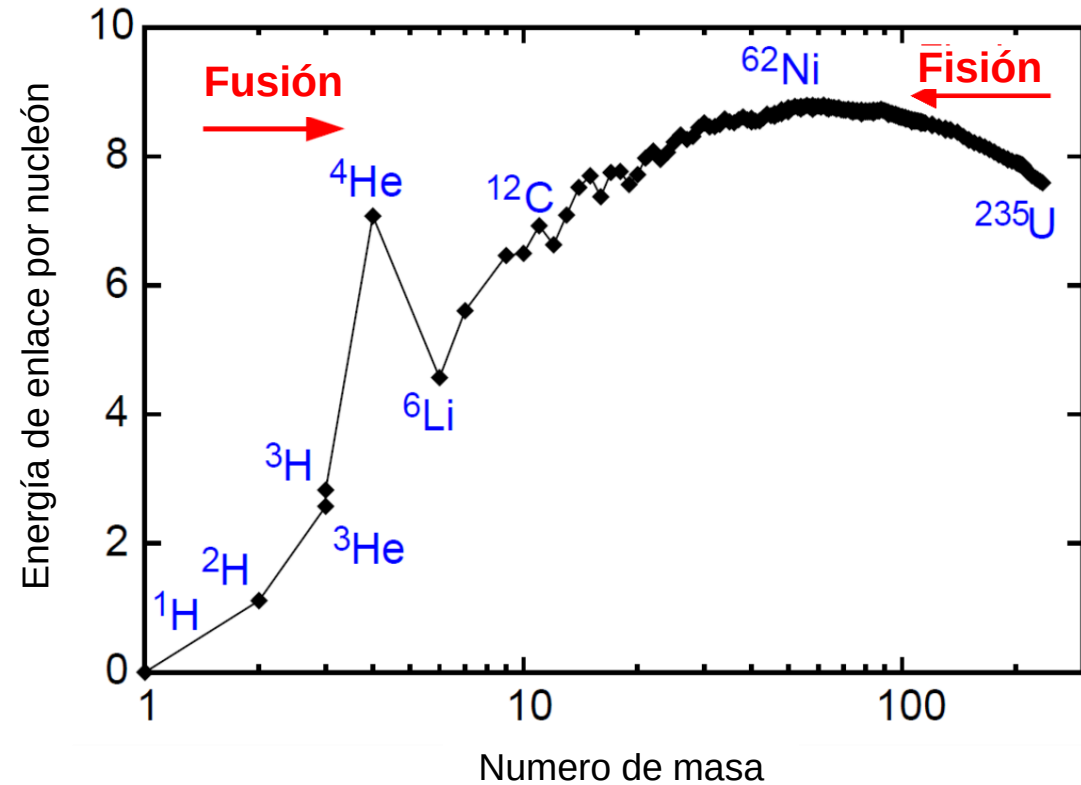
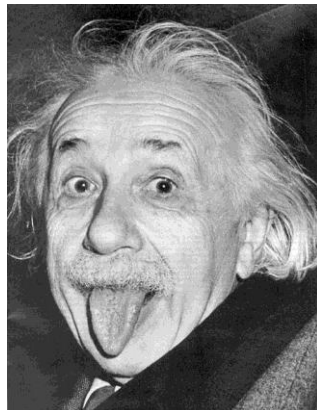
- Fusión entre deuterio y tritio
- Ventajas:
 - Alta sección eficaz
 - Energía obtenida relativamente alta (17.6 MeV)



Diferencia entre fusión y fisión

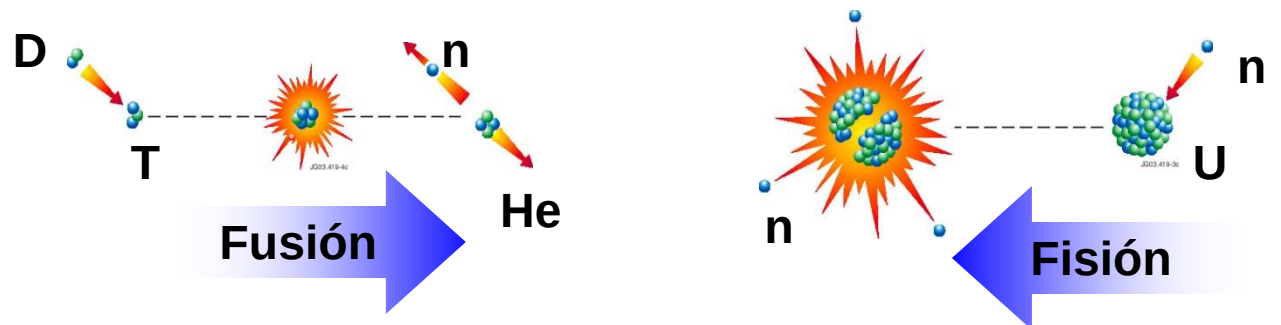
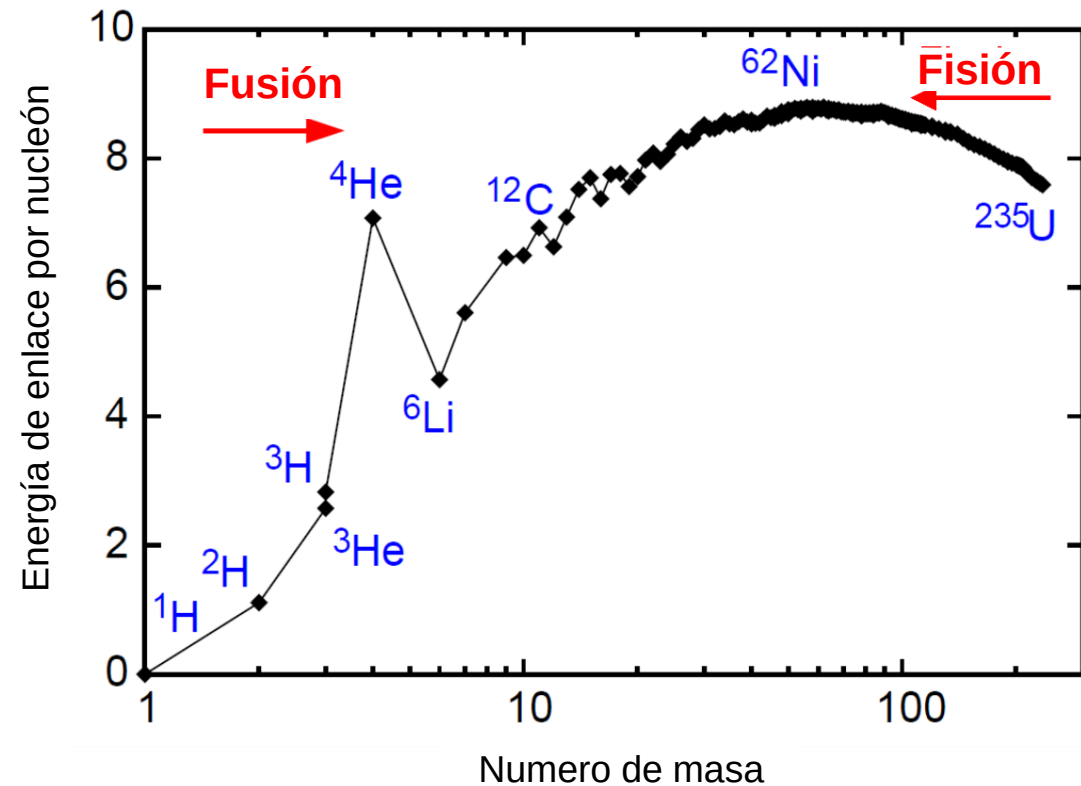
- Fisión nuclear: Separación de un núcleo pesado en núcleos mas pequeños
- Fusión nuclear: Fusión de dos núcleos ligeros para crear uno mas grande y pesado
- Ambos funcionan según el mismo principio

$$E = mc^2$$

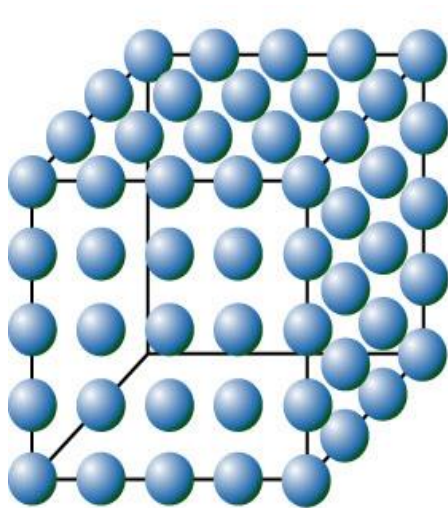


Diferencia entre fusión y fisión

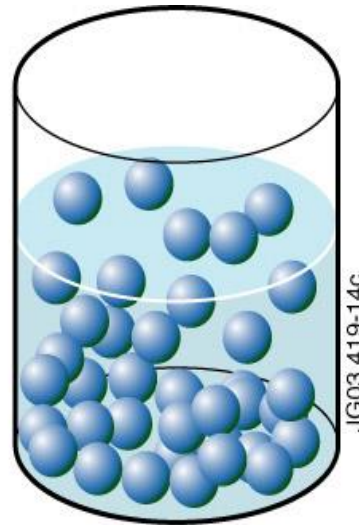
- Fisión nuclear: Separación de un núcleo pesado en núcleos mas pequeños
- Fusión nuclear: Fusión de dos núcleos ligeros para crear uno mas grande y pesado
- Ambos funcionan según el mismo principio
- Temperaturas extremadamente altas:
 - Núcleo del Sol: ~15 mio. °C
 - Experimento de fusión: ~200 mio. °C



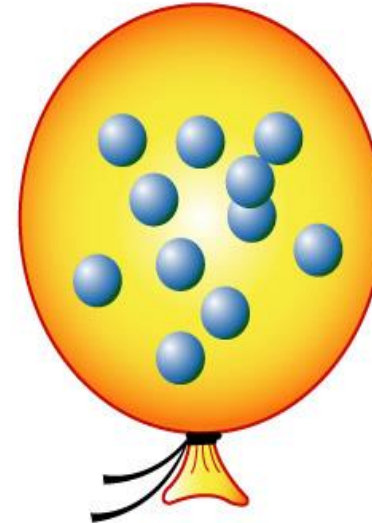
Las condiciones de fusión – temperaturas extremadamente altas



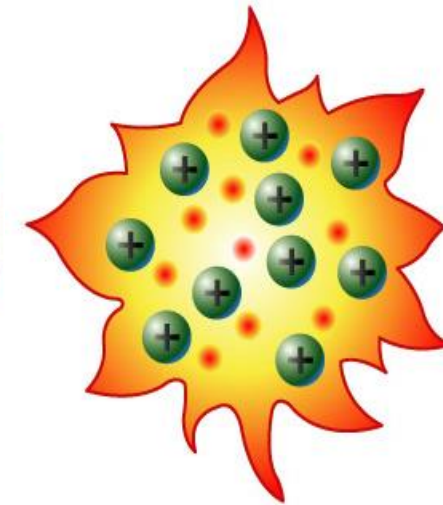
Solido
(Hielo)



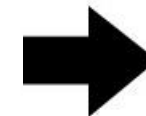
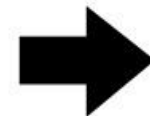
Líquido
(Agua)



Gas
(Vapor)

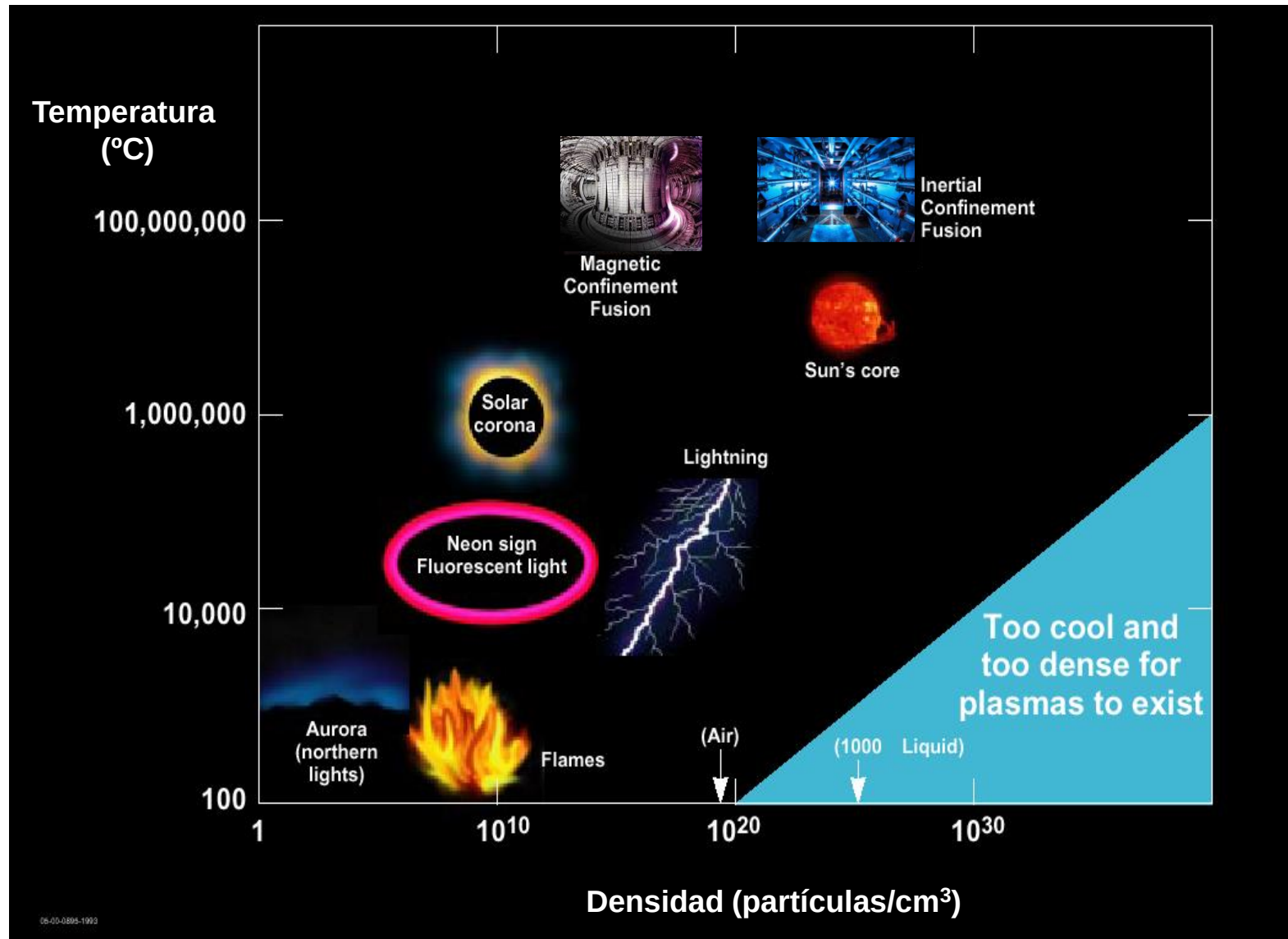


Plasma
(Gas ionizado)

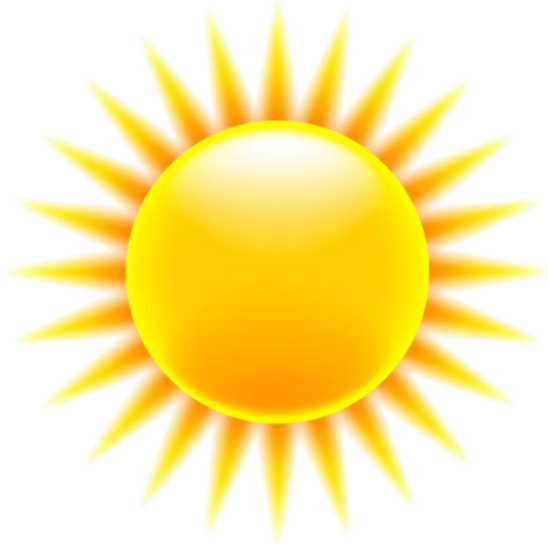


Aumentando la temperatura

Ejemplos de plasmas



¿Cómo se puede confinar un plasma de fusión?



Confinamiento gravitatorio

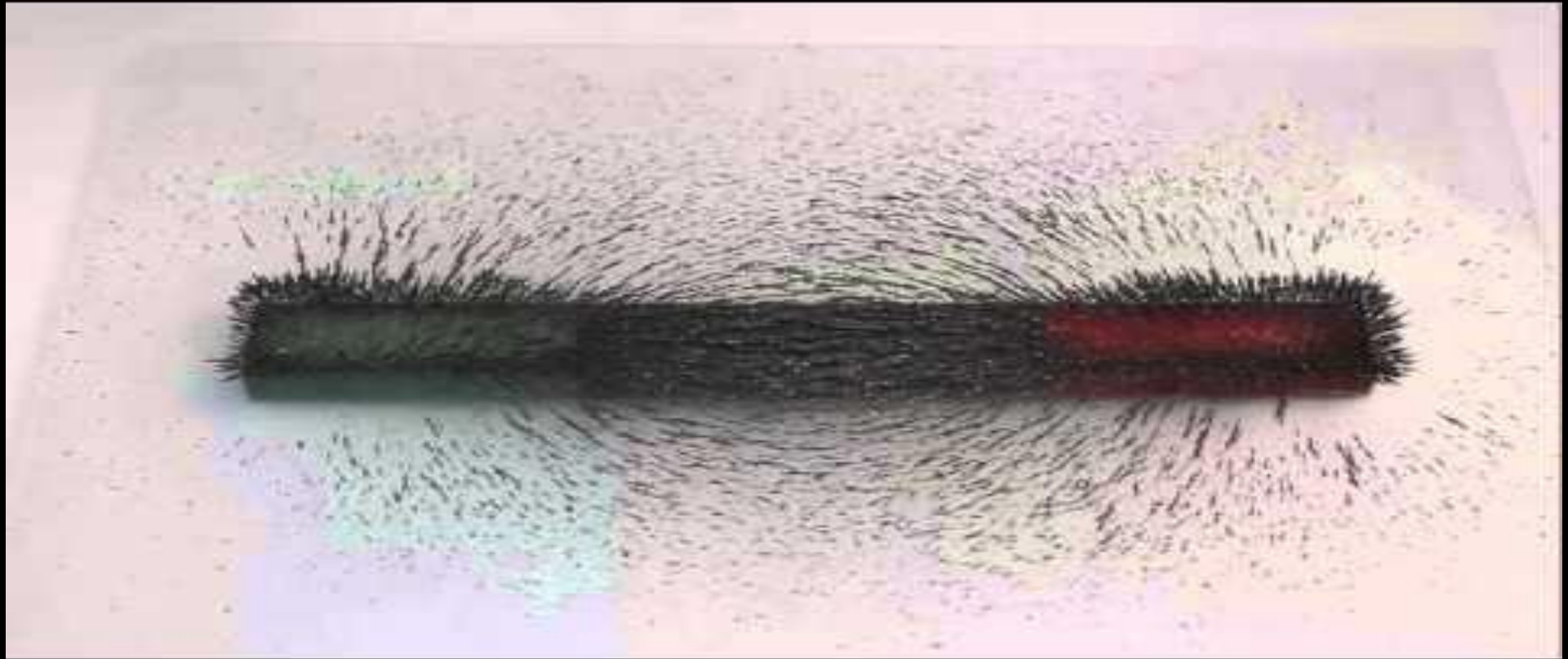


Confinamiento
magnético



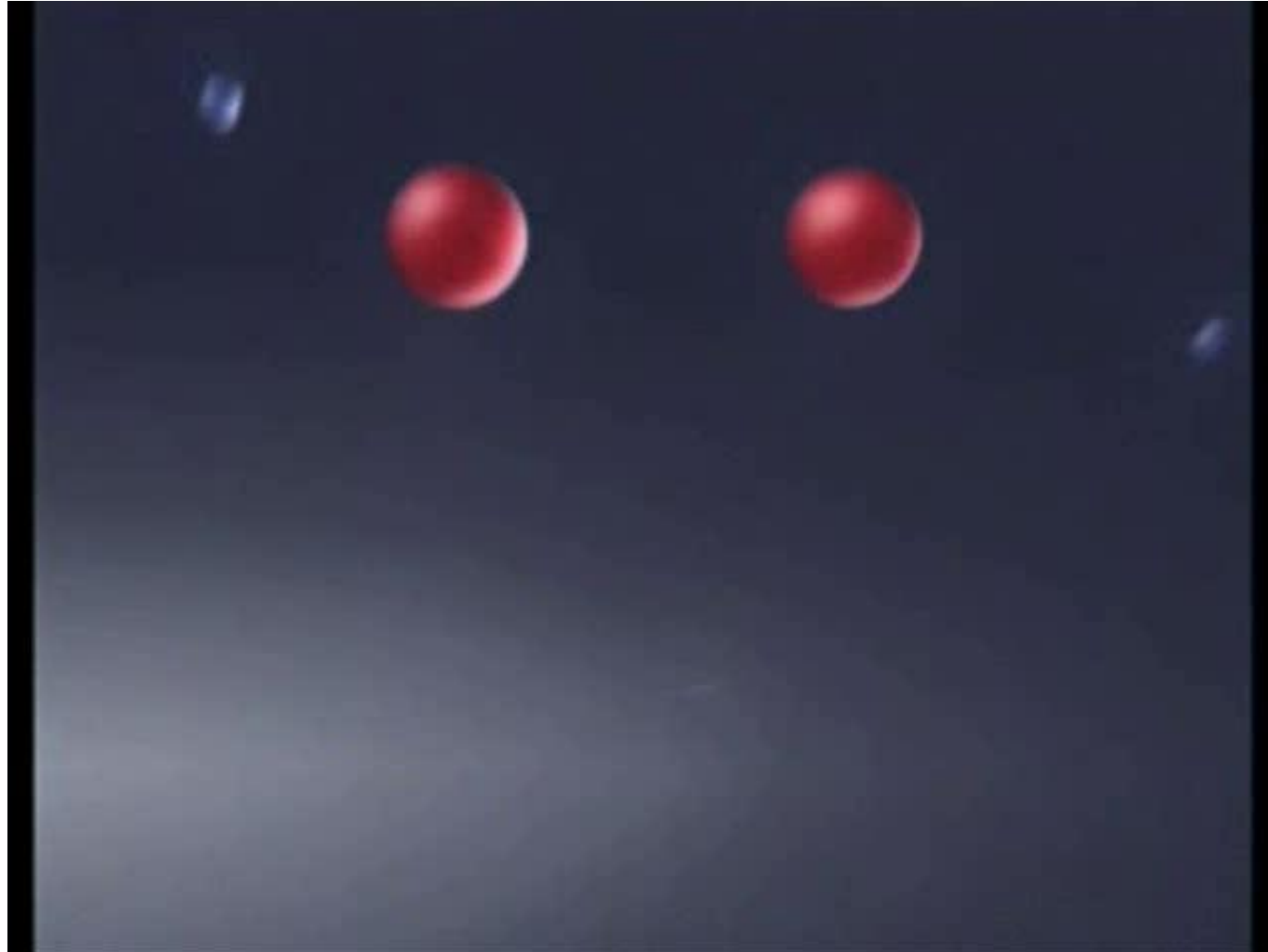
Confinamiento inercial
(usando láseres)

El campo magnético



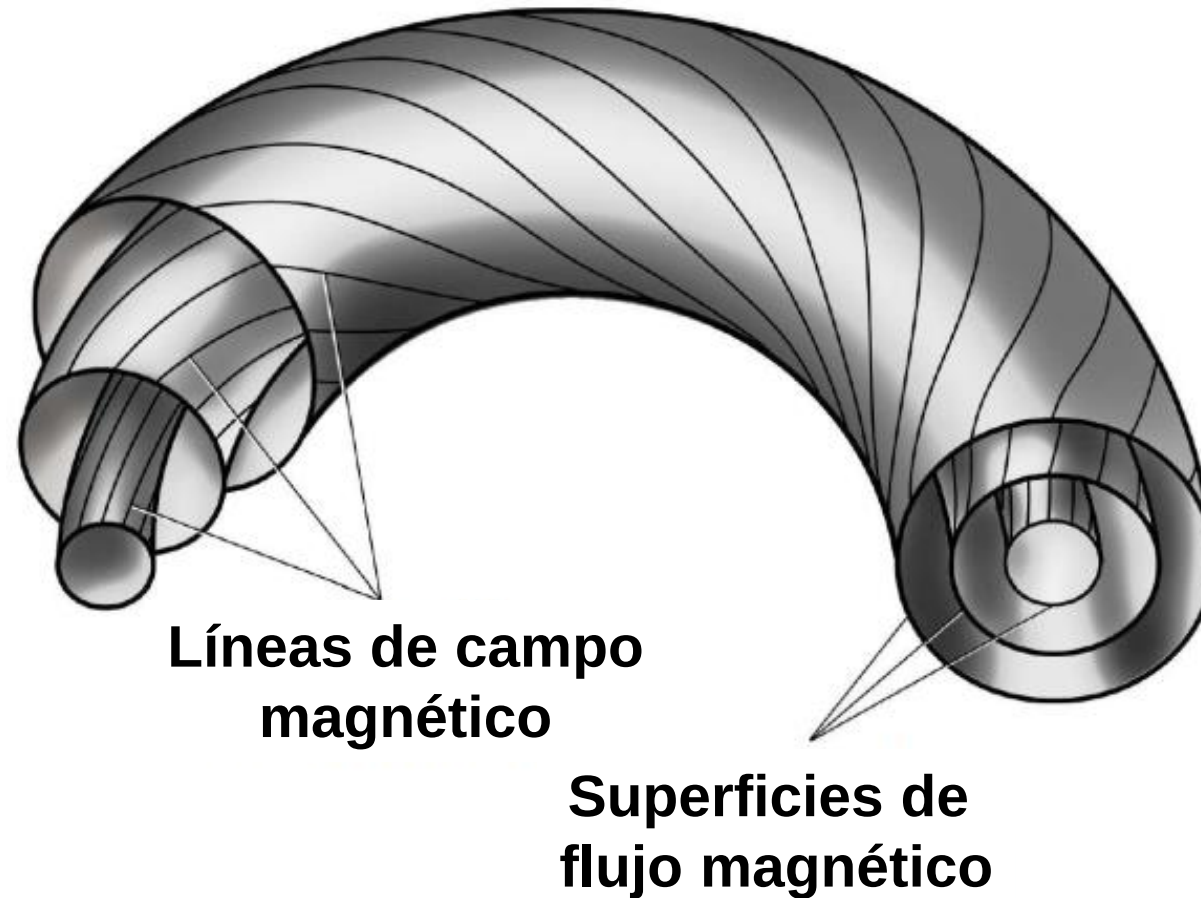
Confinamiento magnético

- Líneas magnéticas helicoidales son necesarias para minimizar las pérdidas de partículas



Confinamiento magnético

- Líneas magnéticas helicoidales son necesarias para minimizar las pérdidas de partículas

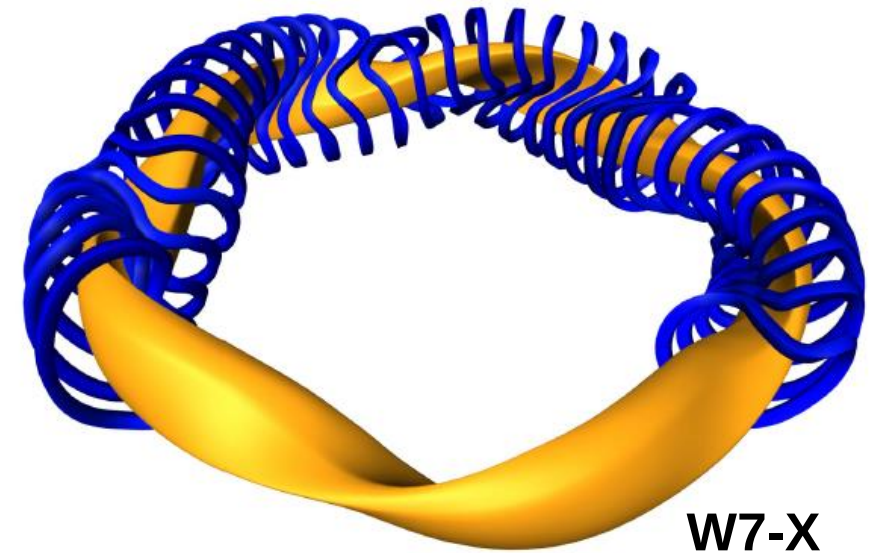


Confinamiento magnético en un tokamak y un stellarator

TJ-II STELLARATOR EN MADRID



STELLARATOR

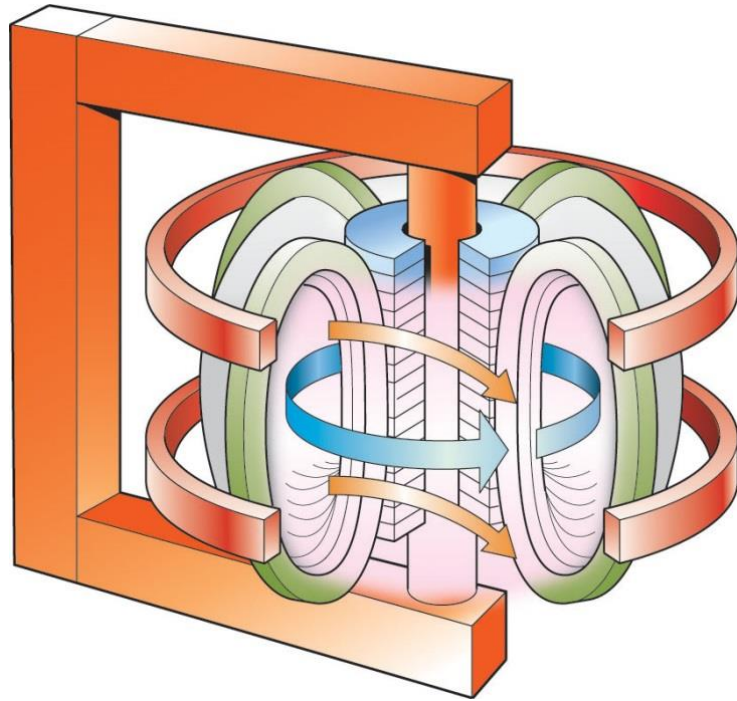


W7-X

El campo poloidal es producido por **corrientes aplicadas externamente** (geometría de bobinas)

Confinamiento magnético en un tokamak y un stellarator

TOKAMAK



El campo poloidal es
producido por una **corriente
inducida en el plasma**

TOKAMAK SMART EN SEVILLA



ASDEX Upgrade (Garching, Alemania)

- ASDEX Upgrade (IPP): segundo tokamak más grande del mundo (junto a DIII-D, GA, San Diego)
- Empezó su operación en 1991



Radio Mayor: 1.65 m
Radio Menor: 0.5 m
Campo Magnético Toroidal: 1 – 3 T
Intensidad: 0.4 – 1.2 MA
Volumen del Plasma: 14 m³
Masa del Plasma: 3 mg
Calentamiento externo: hasta 30 MW

Tour virtual en 3D:

http://www2.ipp.mpg.de/ippcms/de/externe_daten/panorama/

Dentro del tokamak ASDEX Upgrade



Dentro del tokamak ASDEX Upgrade

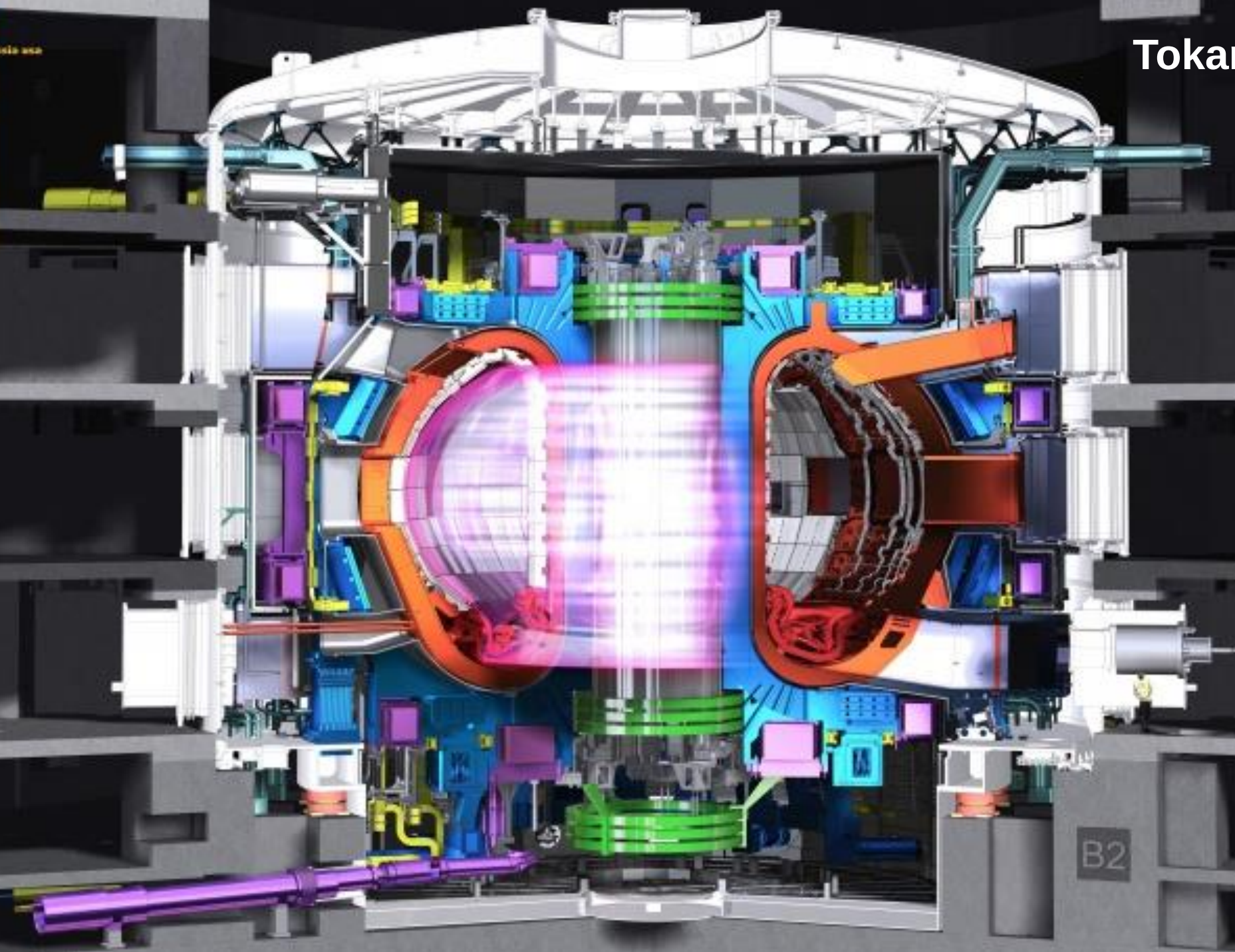


Objetivo: Plasmas con confinamiento alto

¡200 millones °C!

00 S23011 3790
08.04.08 17.04 4.02

INCRYSTAT
CM CONFIGURATION



L2

L1

B1

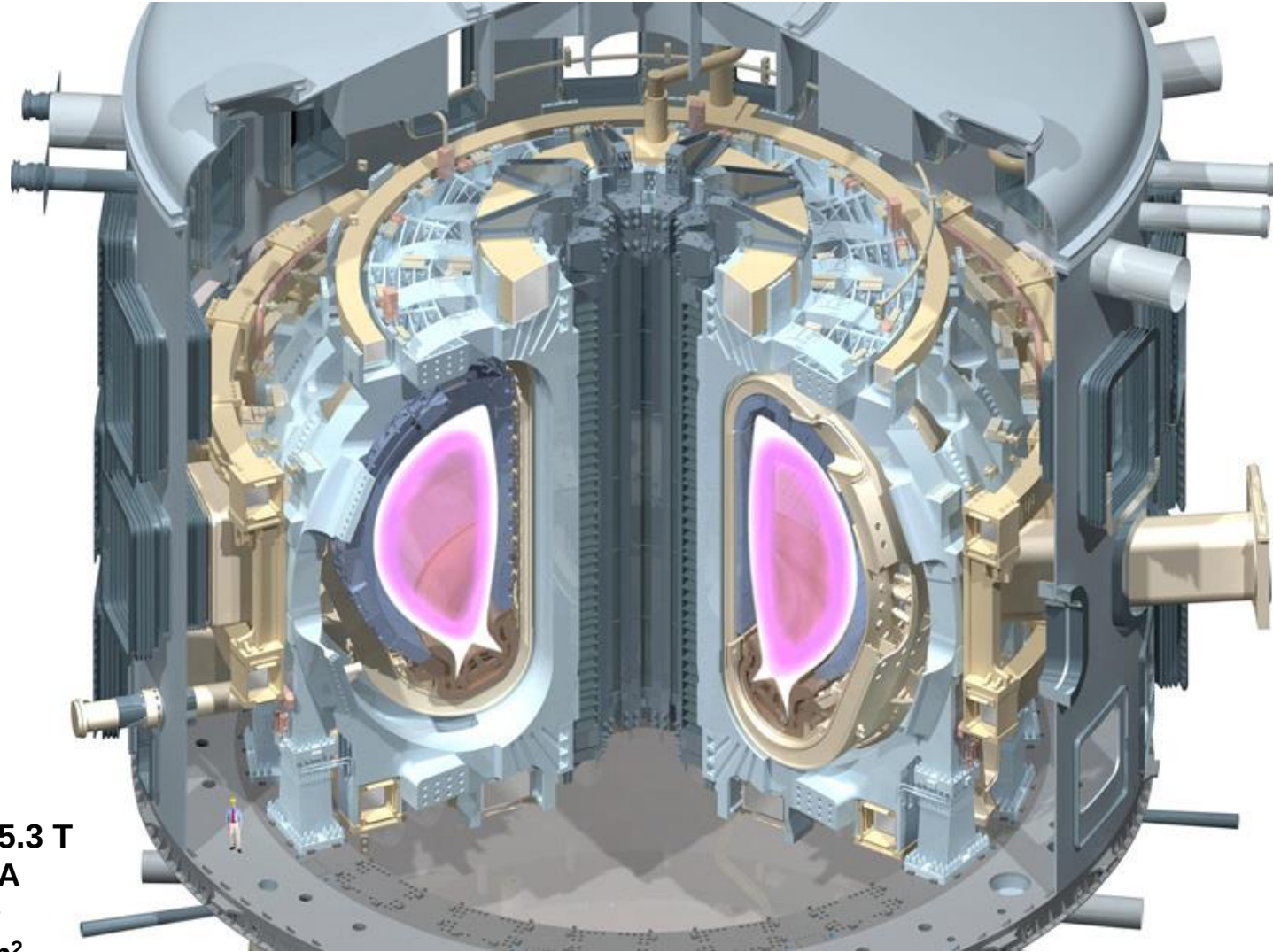
B2

ITER – una vía hacia la fusión nuclear

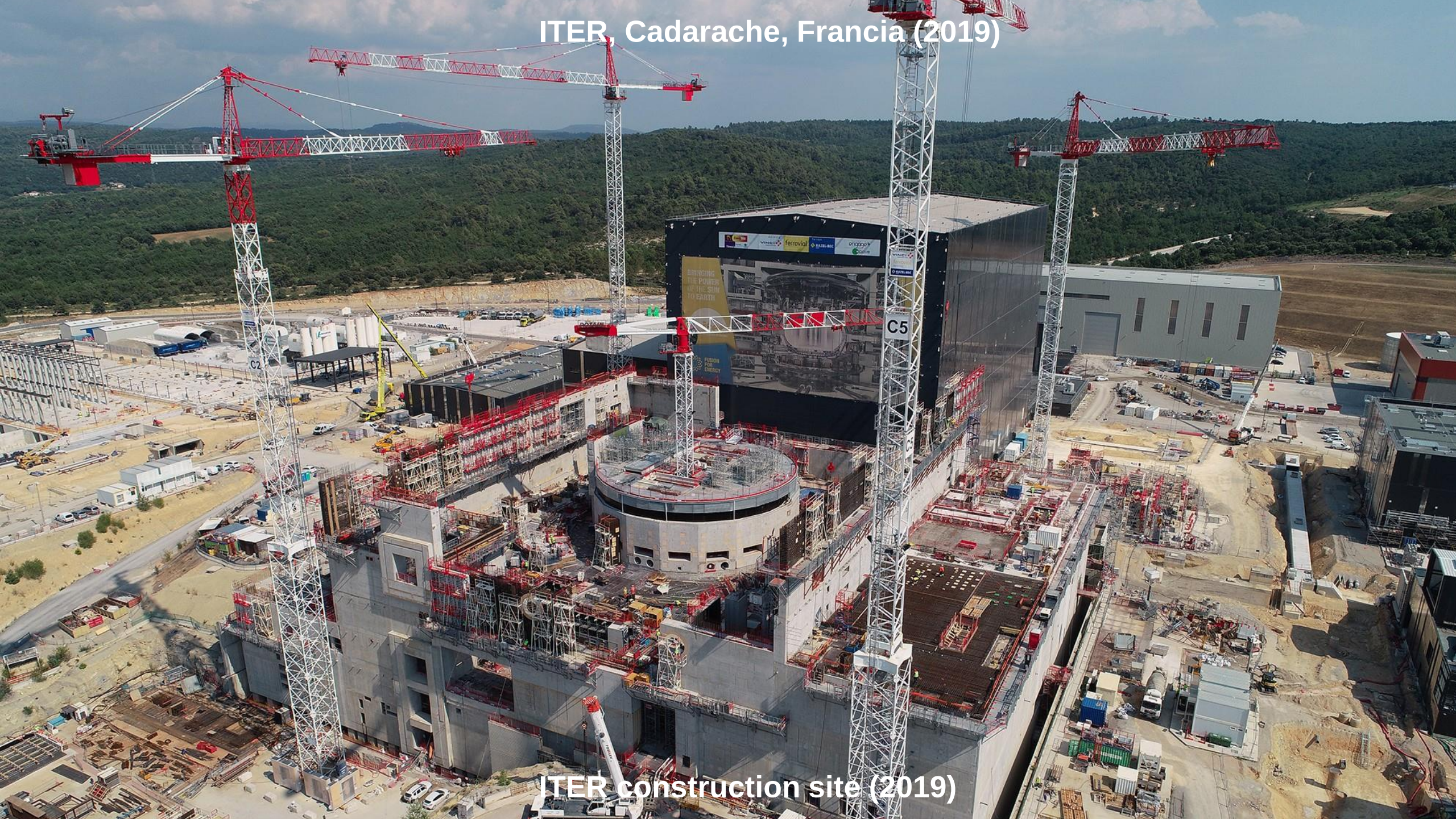
- Objetivo:
500 MW de potencia de fusión durante pulsos de 7 min (50 MW de potencia entrante, $Q=10$)
- **Proyecto internacional:**
UE, EEUU, Japón, Rusia, China, Corea del Sur, India
- Uno de los proyectos científicos mas ambicioso



Radio Mayor : 6.2 m
Radio Menor: 2 m
Campo Magnético Toroidal: 5.3 T
Intensidad del Plasma: 15 MA
Volumen del Plasma: 830 m³
Superficie del Plasma: 680 m²
Calentamiento externo: 73 MW

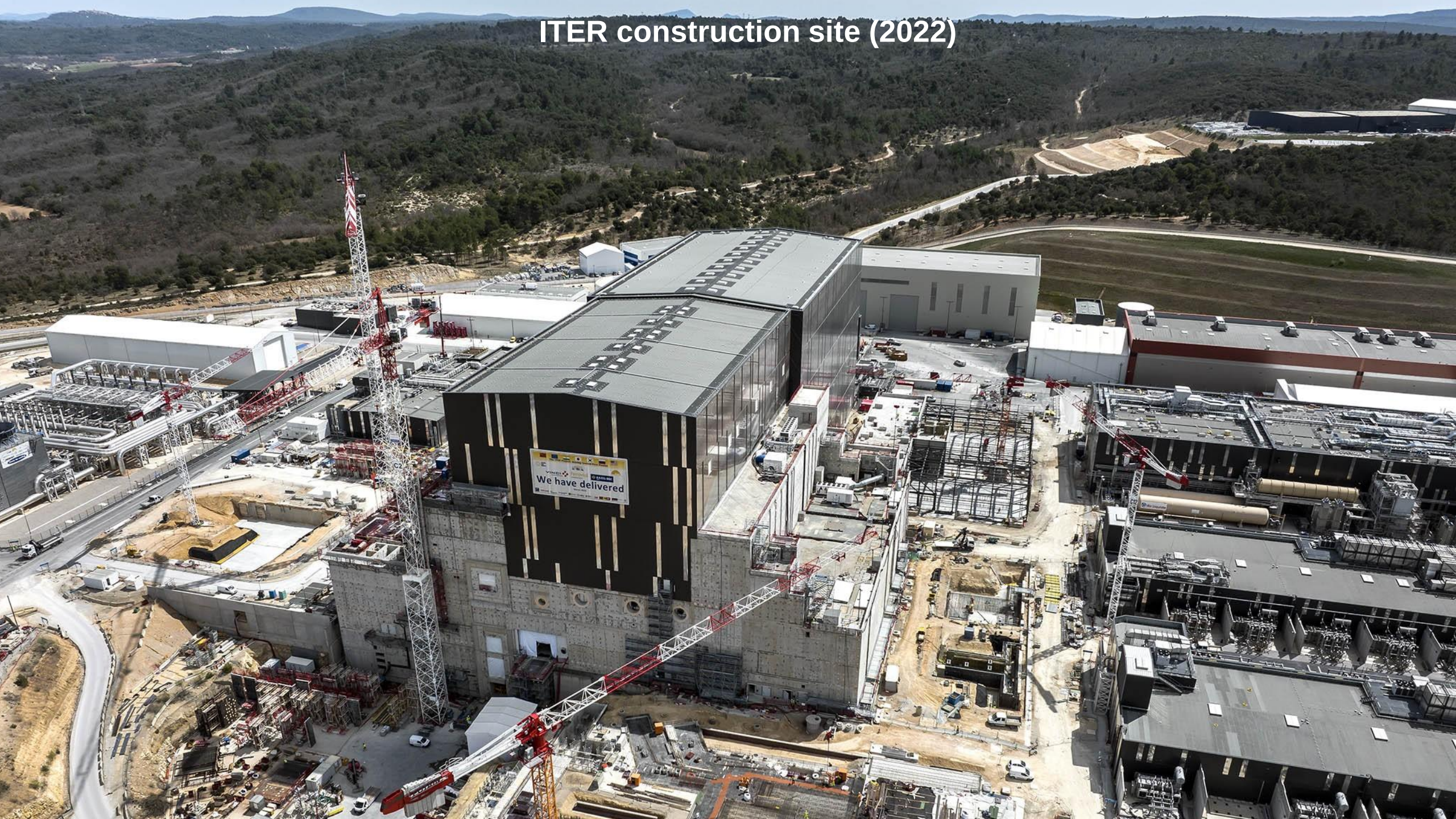


ITER, Cadarache, Francia (2019)



ITER construction site (2019)

ITER construction site (2022)



La fusion nuclear es sostenible y virtualmente inagotable

Cucharada de D-T (2.5g)



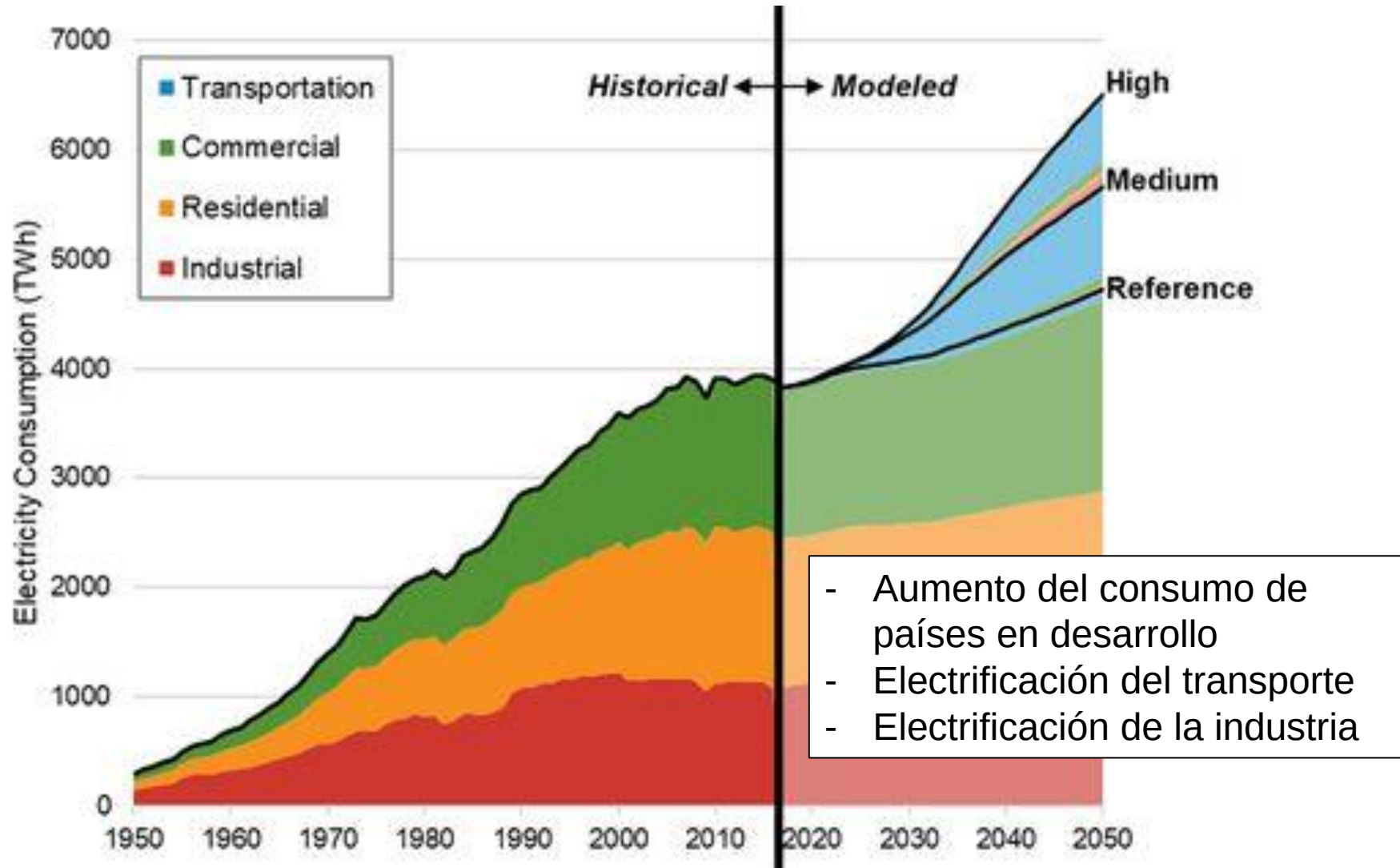
28 toneladas de carbón



¡¡ 10^7 veces más energía por gramo!!

- Fuente de energía virtualmente ilimitada
- Suficiente fuel de D y de Li en la corteza terrestre para miles de años

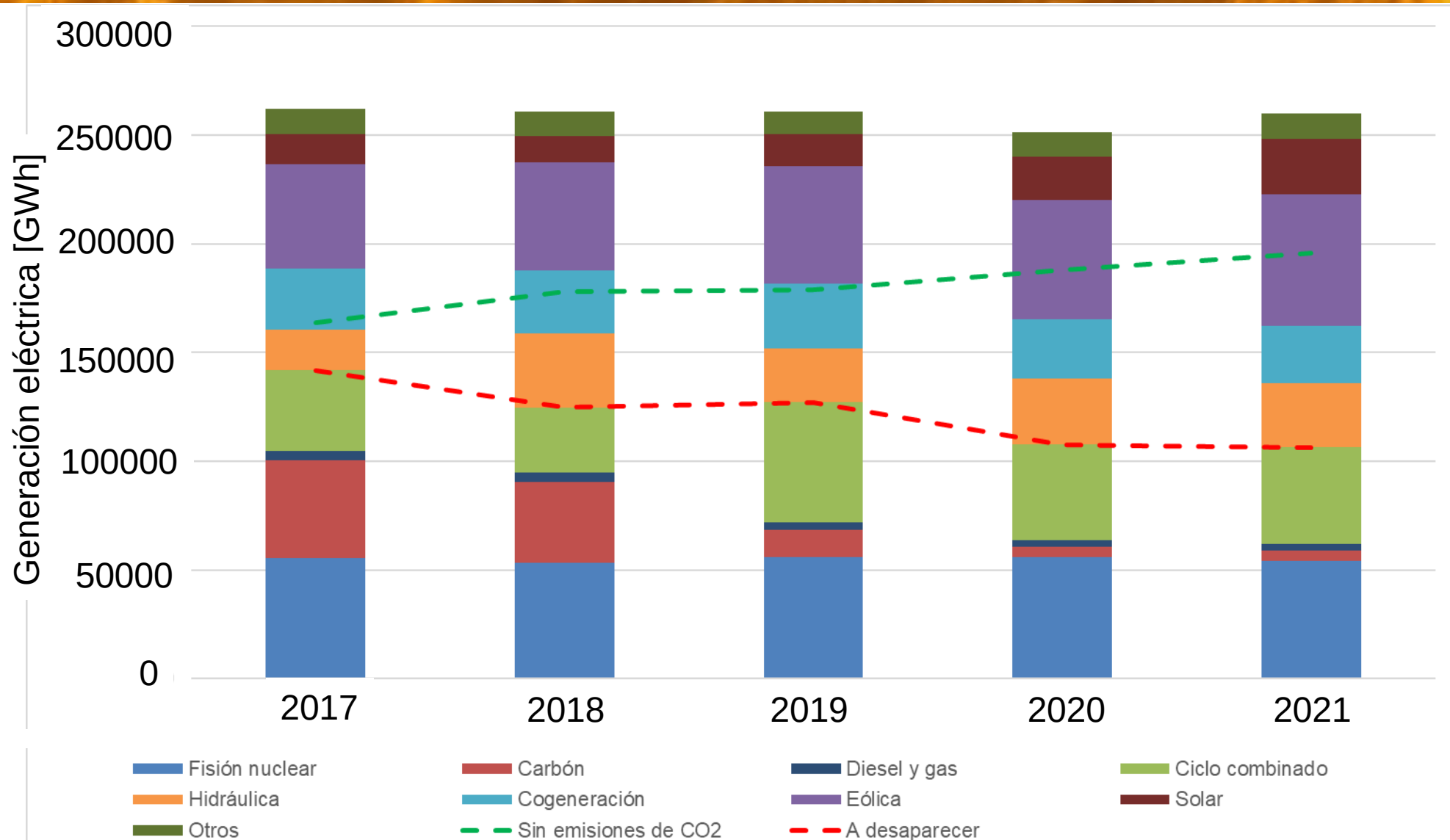
El consumo eléctrico mundial no va a dejar de aumentar



El consumo eléctrico mundial no va a dejar de aumentar



El mercado energético en España



Las unidades

Energía - ¿Cuánta?

Unidad: Joule (J)

3,6 MJ = 1kWh

1 kJ es suficiente para calentar
1 kg de agua por 0.24 °C ... o
acelerarlo a 160 km/h

Potencia – ¿Cómo de rapido?

Unidad: Vatio (Watt, W=J/s)

Hervidor de agua: 2 kW

Motor de un coche: 50 kW



Potencia	Tiempo	Energía
~2000 Vatios	5 min=1/12 h al día	0.17 kWh=612 kJ
~100 Vatios	2 h al día	0.2 kWh=720 kJ

Órdenes de magnitud

Consumo



1 kW

2.4 millones hogares



1 GW
= 1 millón kW

Generación



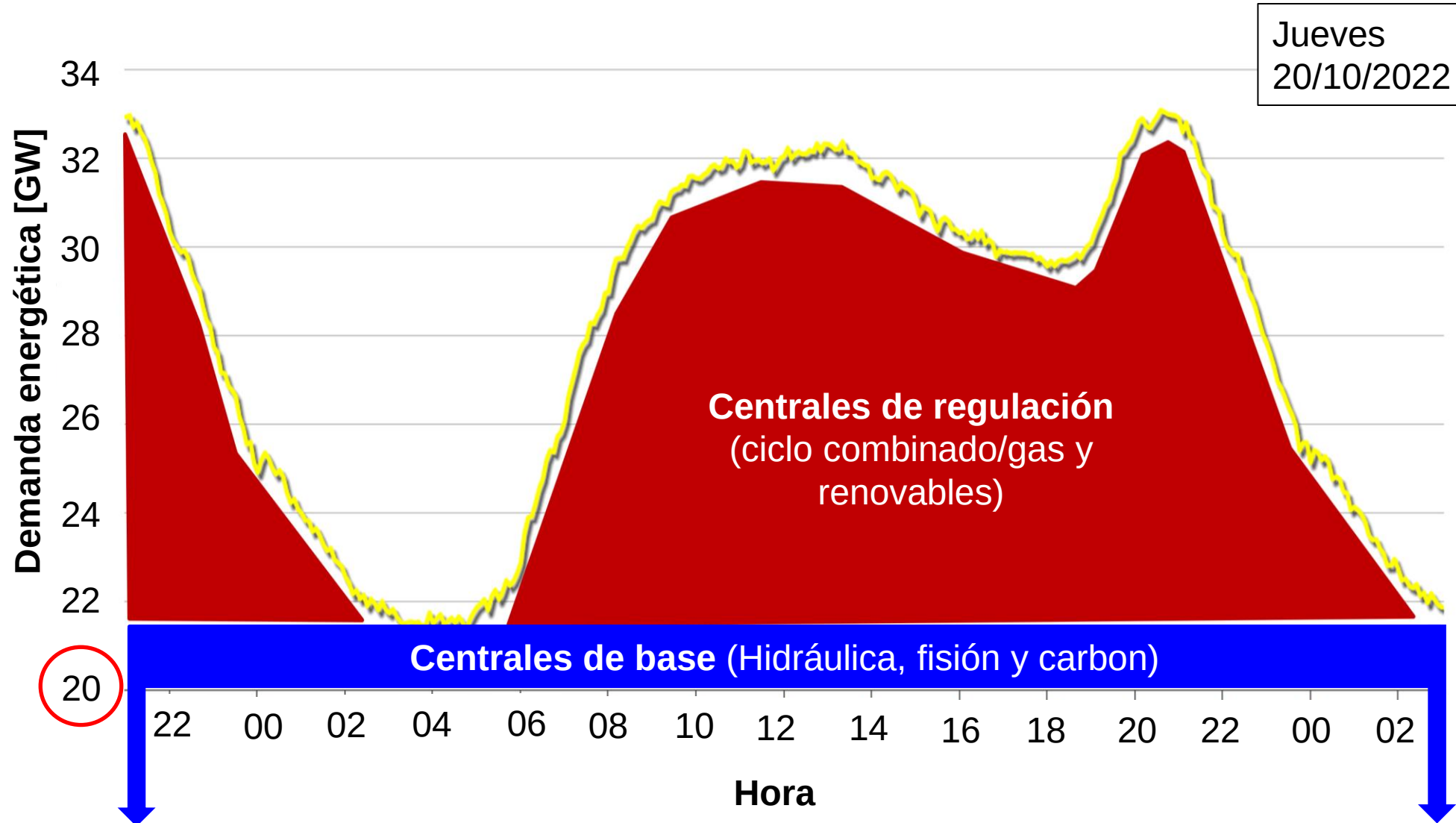
Electricidad como mercancía

La producción y el consumo ...



... tienen que ser idénticos en cada segundo.

La evolución del consumo a lo largo del día obliga a diferentes tipos de producción



Centrales de base – hidráulica

- Un salto de agua se utiliza para mover una turbina que está en la parte baja.
- Puede usarse en ríos o en costa, pero la más relevante se da en embalses.

Pros:

- No produce CO₂
- Barata
- Puede usarse en cualquier momento

Contras:

- Depende de las lluvias (sequías!)
- Alto impacto ambiental (construcción de una presa)
- Las mejores localizaciones ya han sido explotadas



Centrales de base – carbón

- La quema de carbon se usa para producir vapor de agua que mueve una turbina, generando electricidad.
- Es la generación más contaminante.

Pros:

- Barata
- Puede usarse en cualquier momento

Contras:

- Muy contaminante
- Dependencia del extranjero (el carbon español es de baja calidad)
- Encarecimiento por tasas climáticas



Centrales de base – fisión

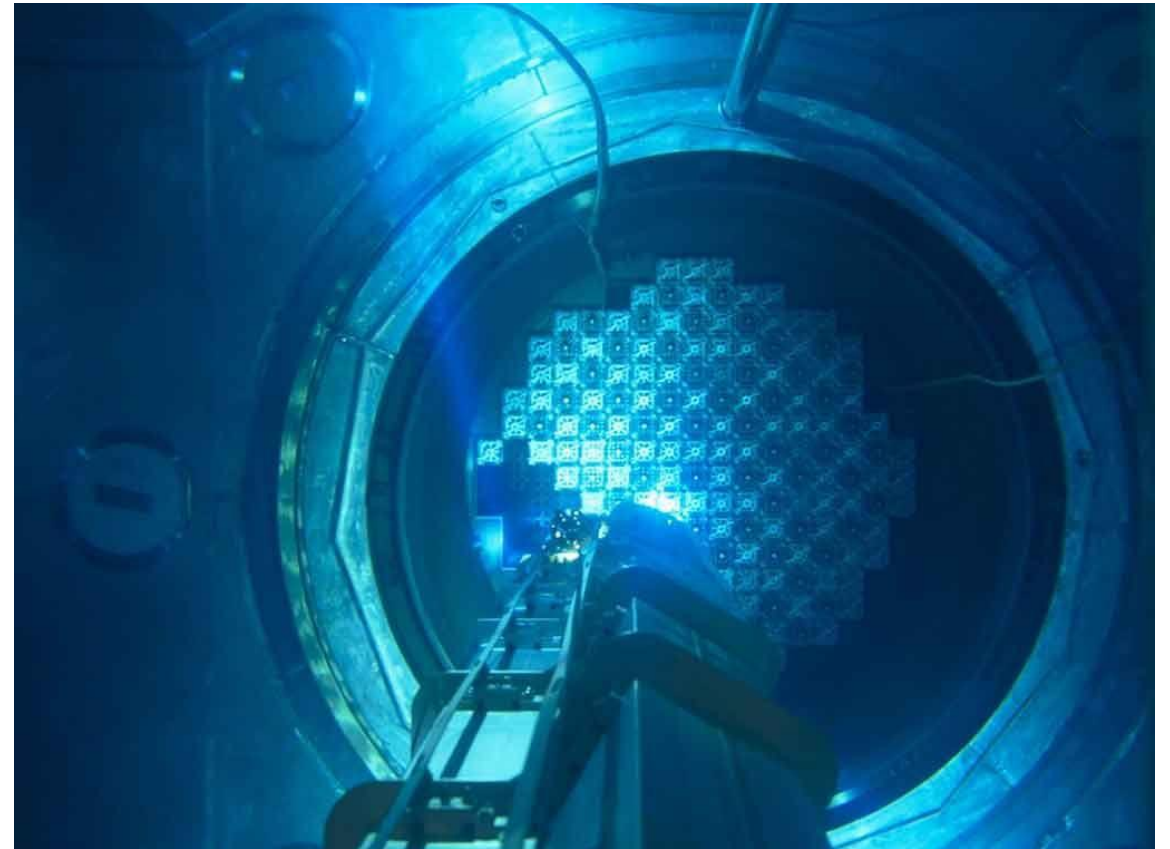
- La reacción de fisión libera una gran cantidad de energía que calienta agua la cual se turbiniza para generar electricidad.
- Muy poco combustible genera inmensas cantidades de energía.

Pros:

- Muy barata
- Puede usarse en cualquier momento
- Sin emisiones de CO₂

Contras:

- Alta inversión inicial
- No pueden construirse más por ley
- Almacenamiento de residuos



28 toneladas de uranio para generar 1 GW durante 1 año
vs. 4 millones de toneladas de carbón

Centrales de regulación – solar

- Dos tipos:
 - **Termosolar**: calor → agua → turbina → electricidad
 - **Fotovoltaica (FV)**: electricidad a partir de efecto fotoeléctrico.
- Permite la generación de pequeños usuarios.

Pros:

- No contamina
- Escalabilidad
- Abundante recurso solar

Contras:

- FV utiliza recursos tóxicos y escasos
- Necesita mucha superficie
- Dependencia del Sol



Centrales de regulación – eólica

- El viento mueve las palas que mueven una turbina, generando electricidad.
- Buen recurso eólico en Galicia y en el Estrecho de Gibraltar.

Pros:

- Barata
- No contamina
- Tecnología sencilla

Contras:

- Impacto Ambiental
- Dependencia del viento



Centrales de regulación – ciclo combinado

- El gas natural se quema para mover una turbina y generar electricidad. Los gases de salida se usan para calentar agua con la que se produce más electricidad.
- España tiene mucha más capacidad instalada de la que utiliza.

Pros:

- Puede usarse en cualquier momento
- Rápida puesta en marcha

Contras:

- Contaminante
- Dependencia del extranjero
- Combustible caro



Retos de un mundo descarbonizado



Almacenamiento

- Tecnología poco madura
- Escasez de recursos → litio
- Alto impacto ambiental → almacenamiento en presas



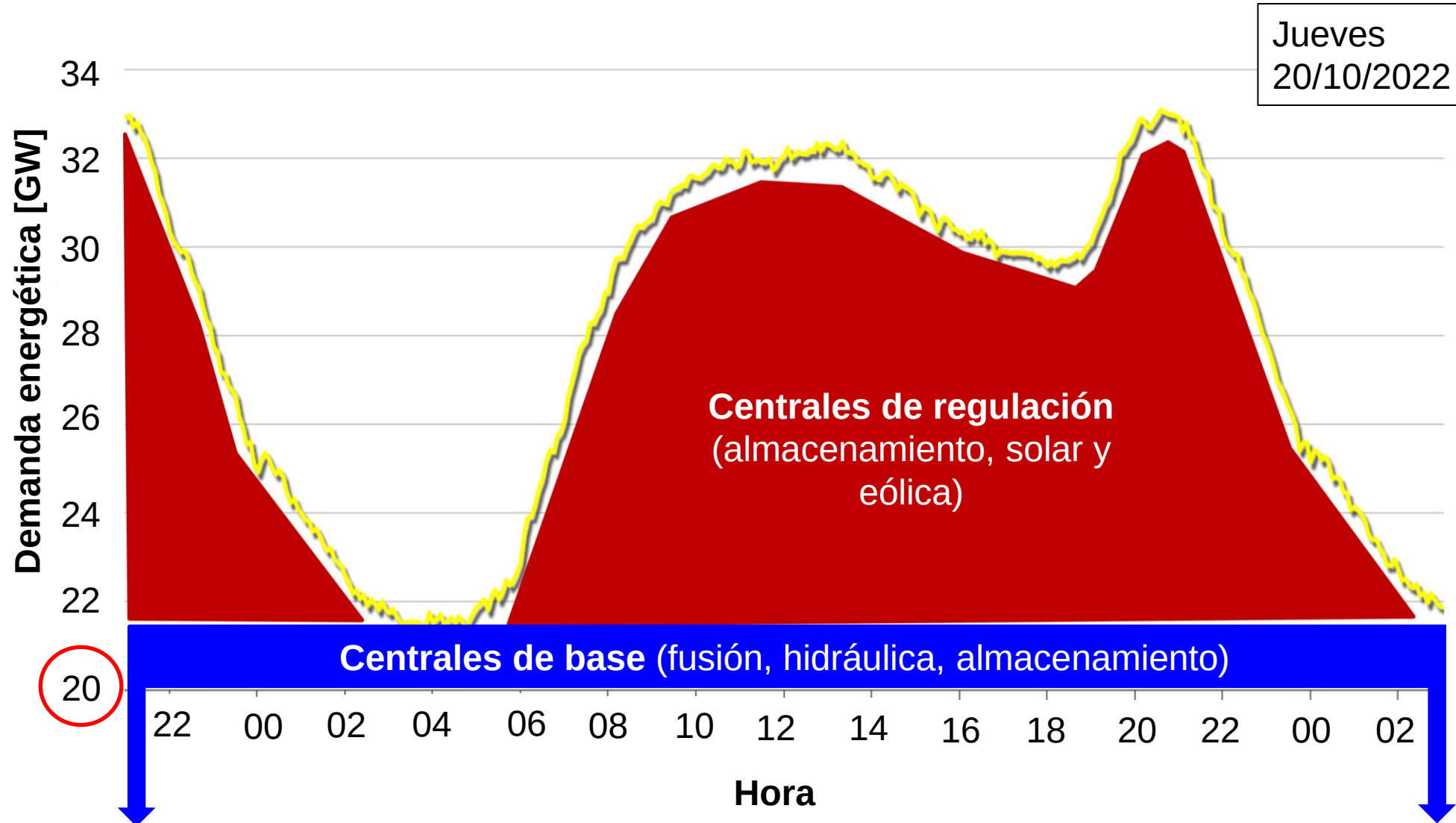
Falta de centrales de base

- Falta de estabilidad en la red
- Fisión y carbón saldrán del mercado

Falta de estabilidad

- Dependencia del sol/ viento
- El cambio climático llevará a climas más irregulares → lluvias, vientos más peligrosos y sequías.

Nuestro Mundo Que se Avecina: Un posible mix energético en el futuro



!Empezamos! ¡A cubrir la demanda energética de España!



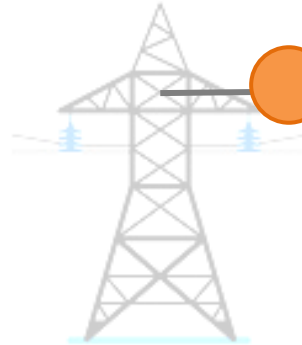
Consumidores



Corriente



Mix de plantas



● = 1 GW



Elegid las centrales de base y las centrales de regulación

Centrales de base: Fusión, Fisión, Carbón

Centrales de regulación: Solar, Eólica, Hidráulica, Ciclo Combinado



Elegid las centrales de base y las centrales de regulaci3n

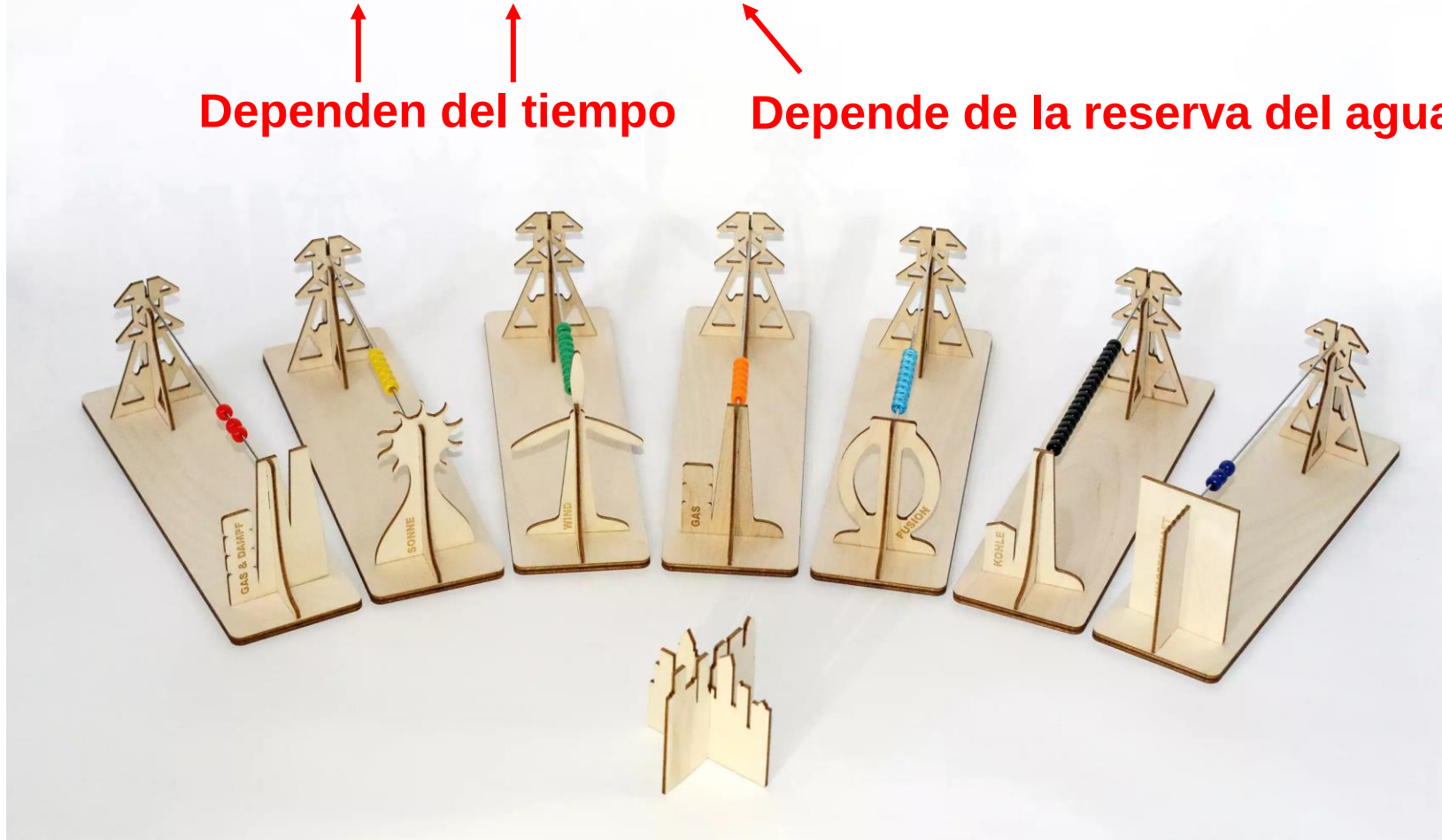
Centrales de base: Fusión, Fisi3n, Carb3n

← Responden lentos a cambios (max. 1 GW)

Centrales de regulaci3n: Solar, E3lica, Hidr3ulica, Ciclo Combinado

Dependen del tiempo

Depende de la reserva del agua



Elegid vuestra distribuci3n de plantas



Equipo:



GW
instalado

max 40

Demanda

Hora

2h 4h 6h 8h 10h 12h 14h 16h 18h 20h 22h 24h

Fusi3n

Solar

Carb3n

Ciclo
comb.

Fisi3n

Agua

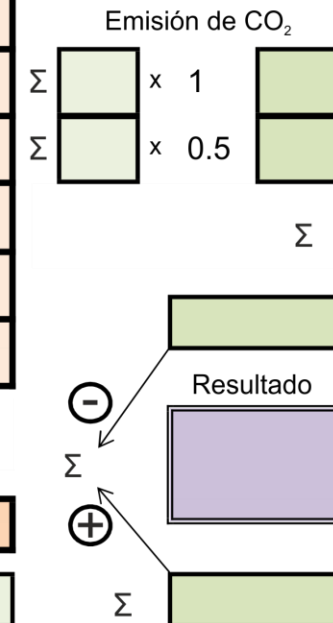
E3lica

Reserva de agua:

00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

Demanda cubierta

Puntos



Demanda cubierta? Sí o No

MEGAWATTS
& MARBLES

Equipo:



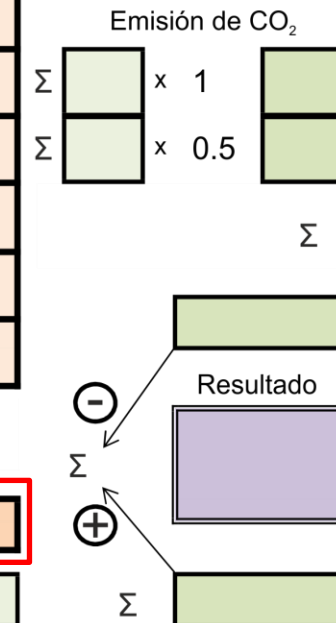
Max-Planck-Institut
für Plasmaphysik



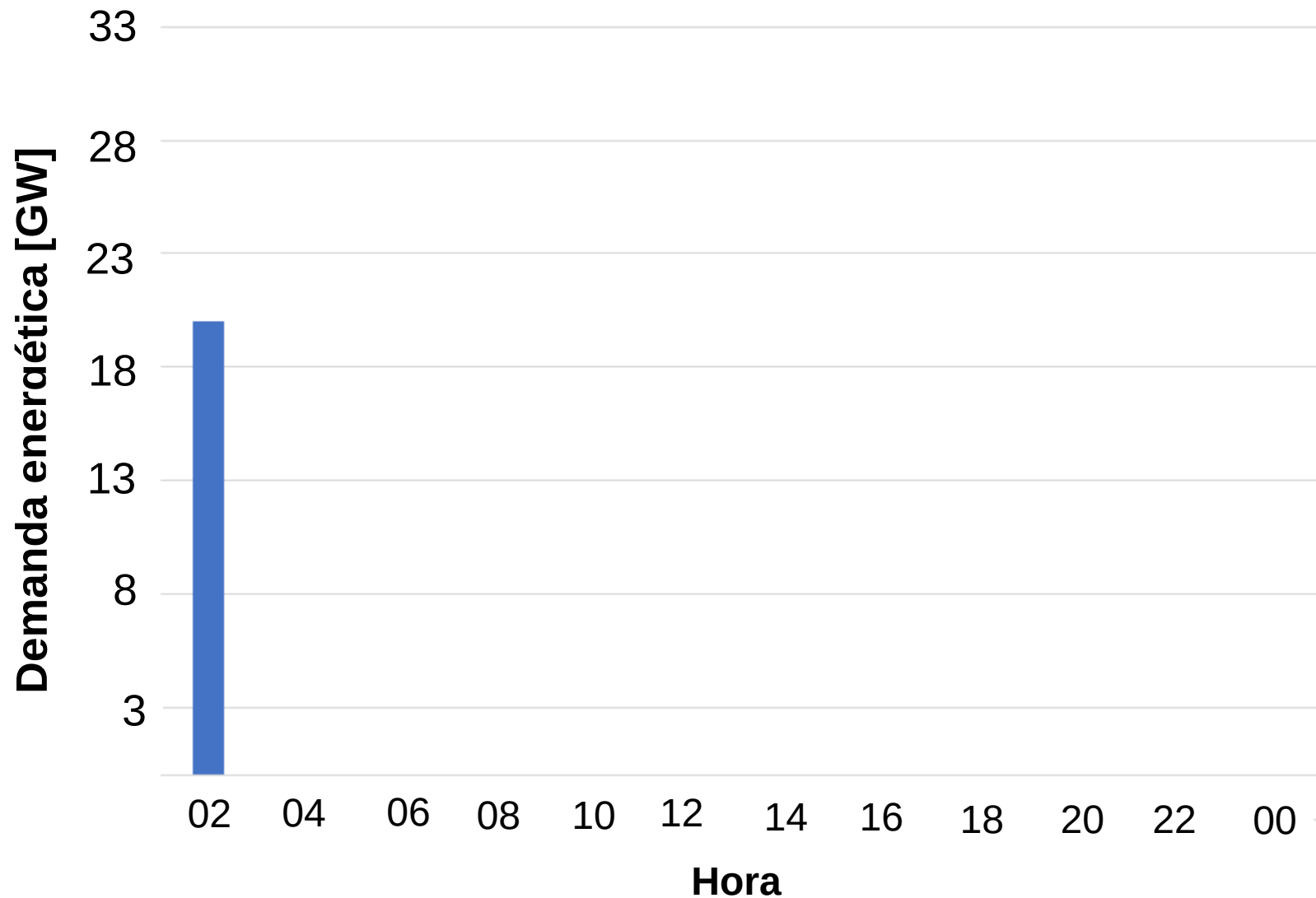
Institute for Integrated
Energy Systems



GW	Hora	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
instalado	Fusión												
	Solar												
	Carbón												
	Ciclo comb.												
	Fisión												
	Agua												
	Eólica												
max 40	Reserva de agua:	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00											
	Demanda cubierta												
	Puntos												

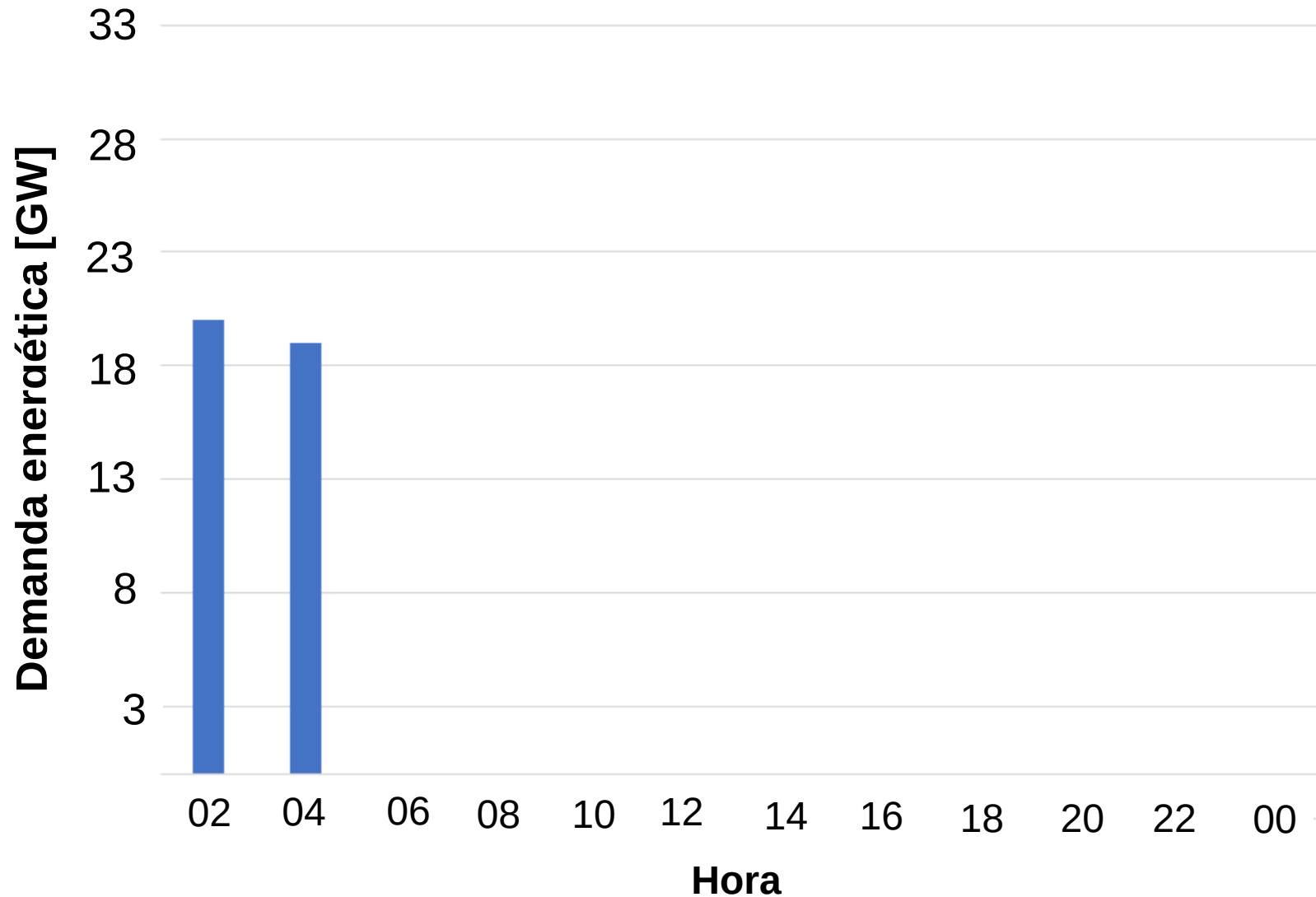


Consumo a las 2h: 20 GW



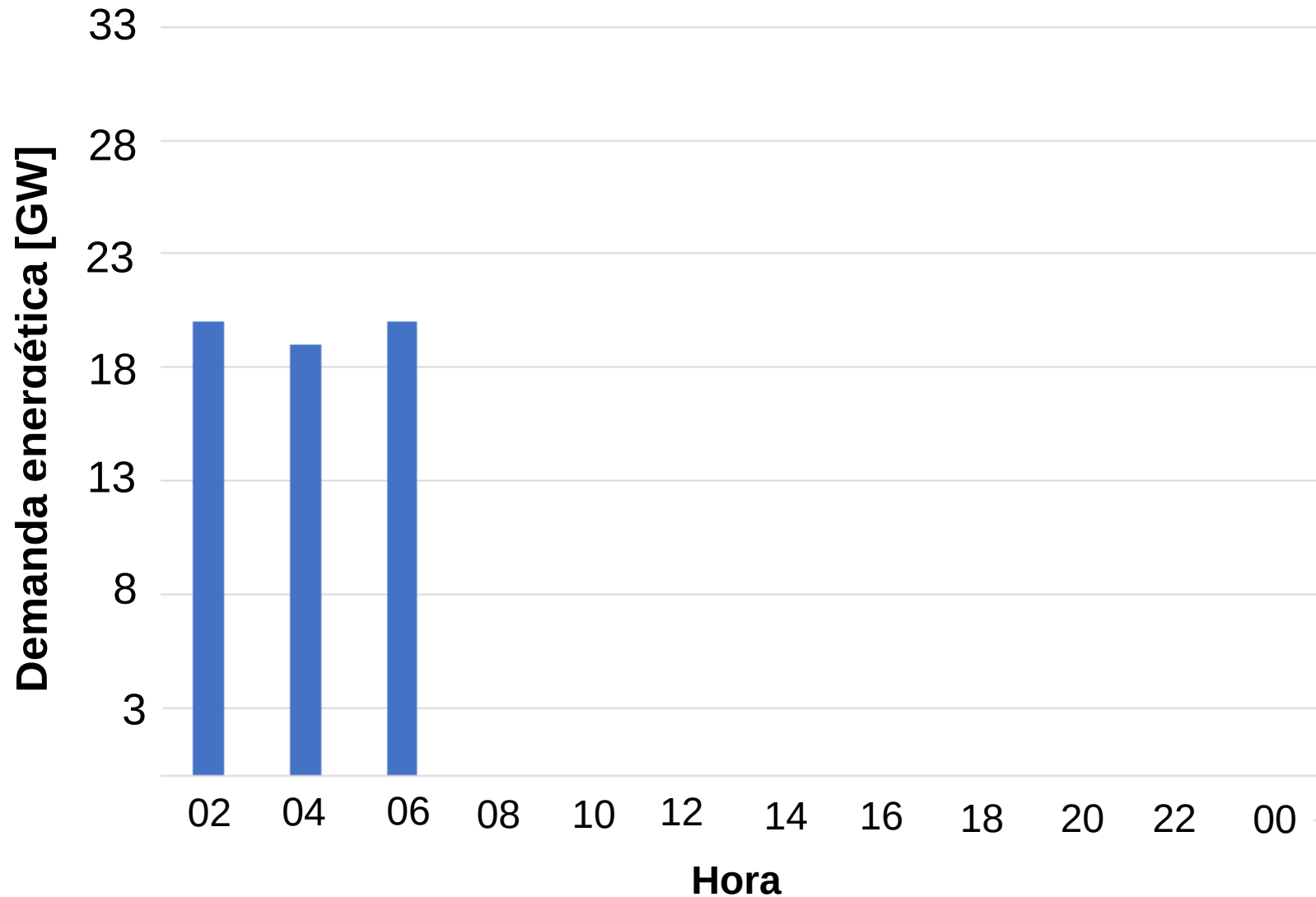
VIENTO: 50%

Consumo a las 4h: 19 GW



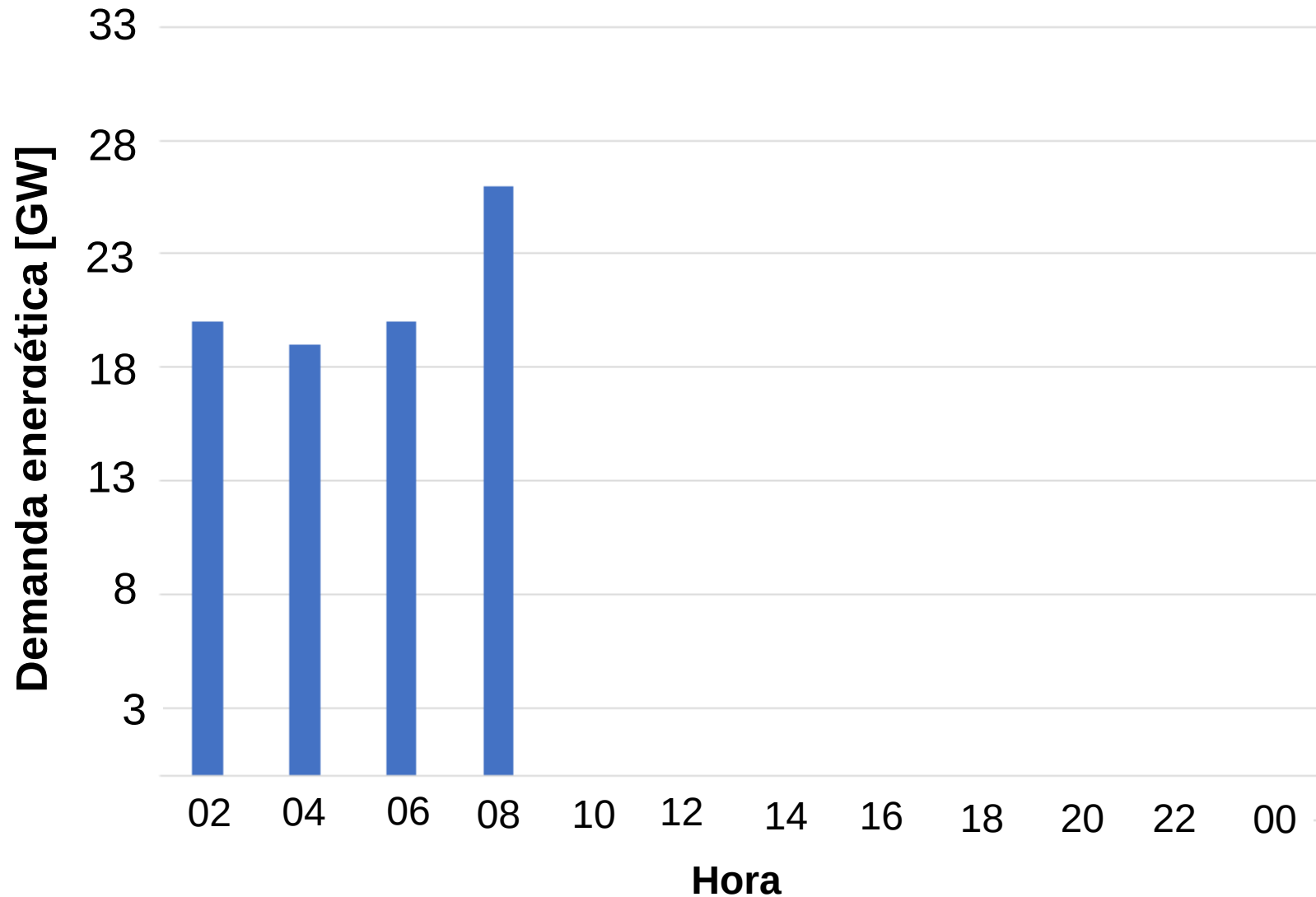
VIENTO: +1

Consumo a las 6h: 20 GW



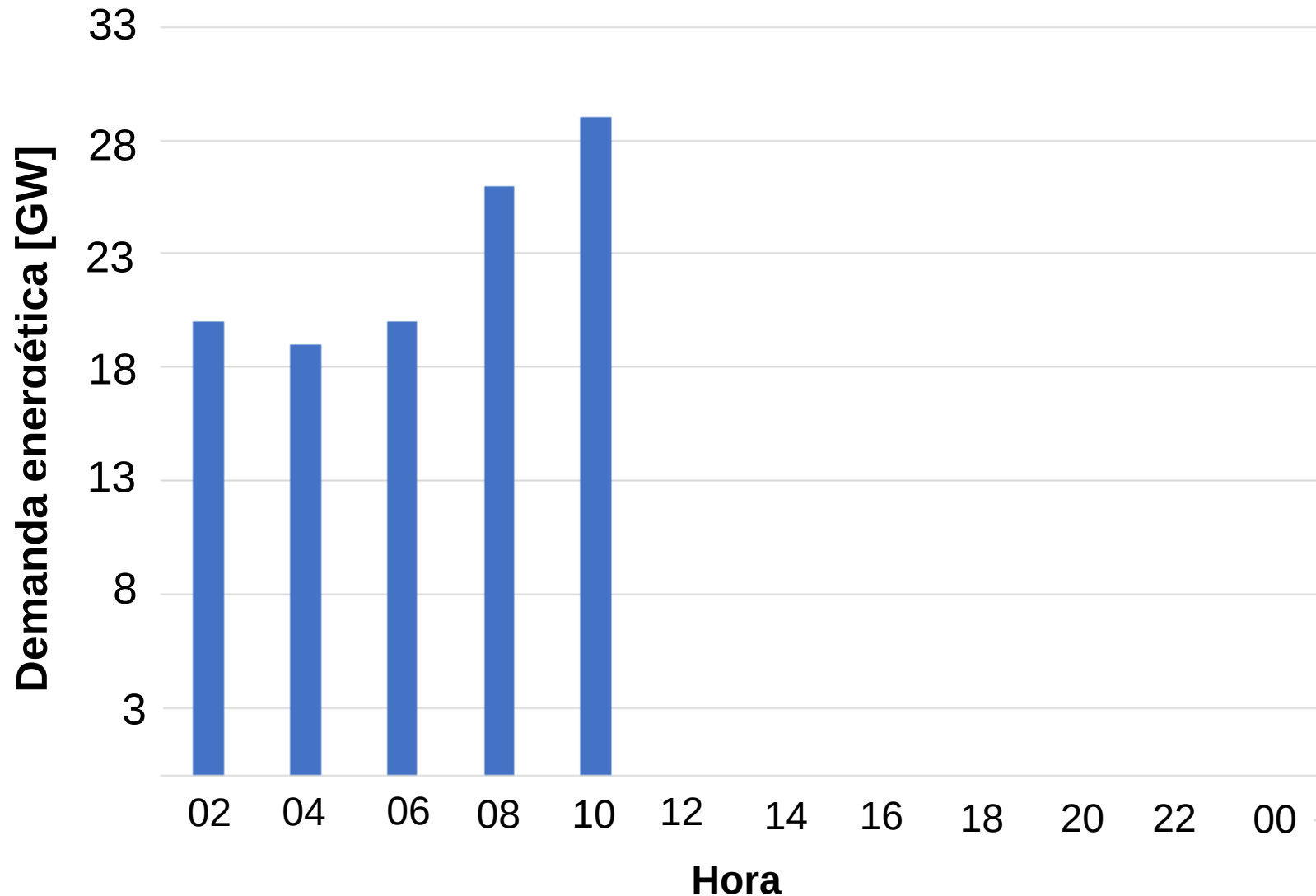
VIENTO: +2
SOLAR: 25%

Consumo a las 8h: 26 GW



VIENTO: -1
SOLAR: +1

Consumo a las 10h: 29 GW

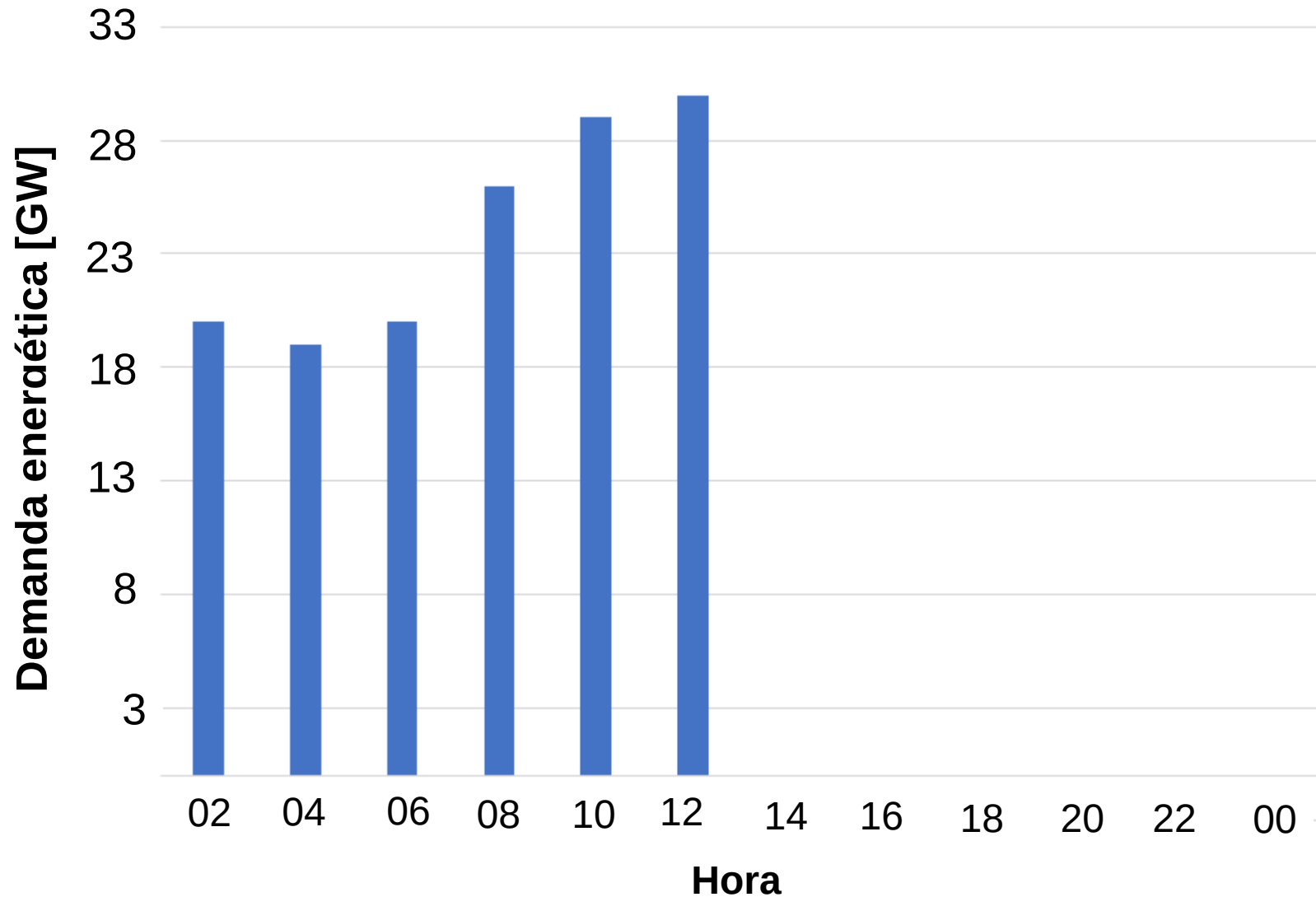


VIENTO: +1
SOLAR: +1

**CORTE DEL
SUMINISTRO DE GAS**

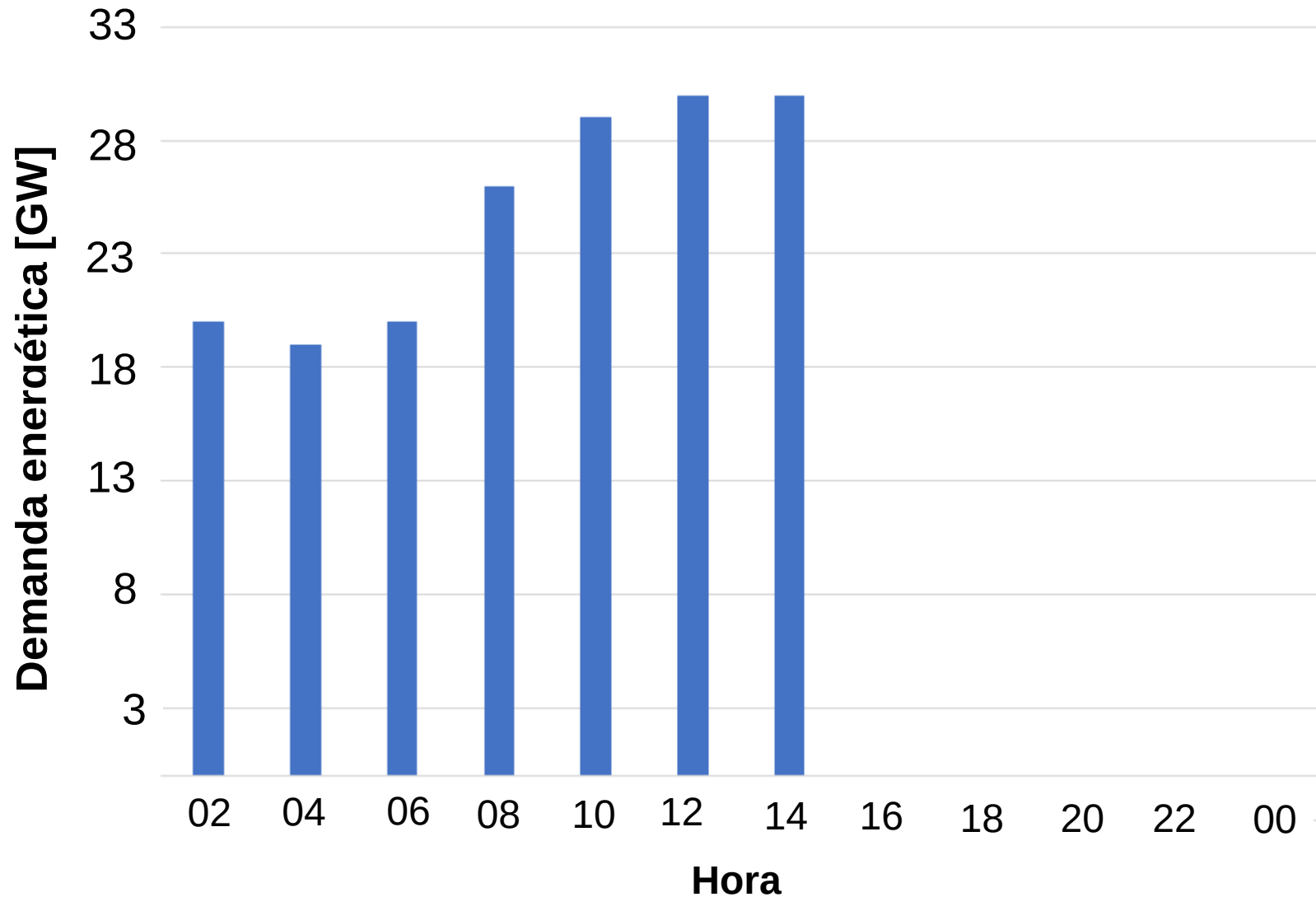
-3 de gas esta ronda

Consumo a las 12h: 30 GW



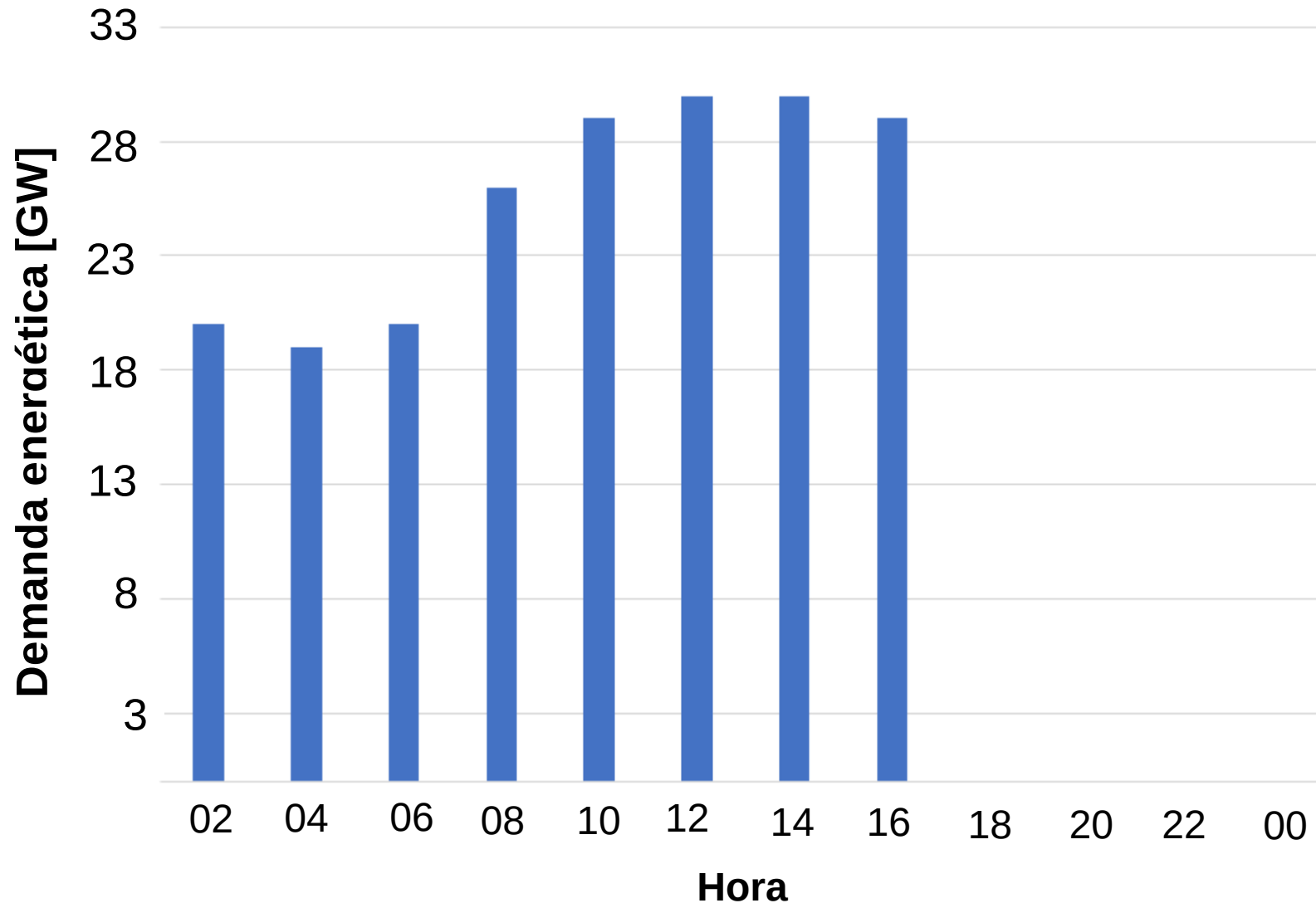
VIENTO: -1
SOLAR: +1

Consumo a las 14h: 31 GW



VIENTO: -2
SOLAR: +2

Consumo a las 16h: 29 GW

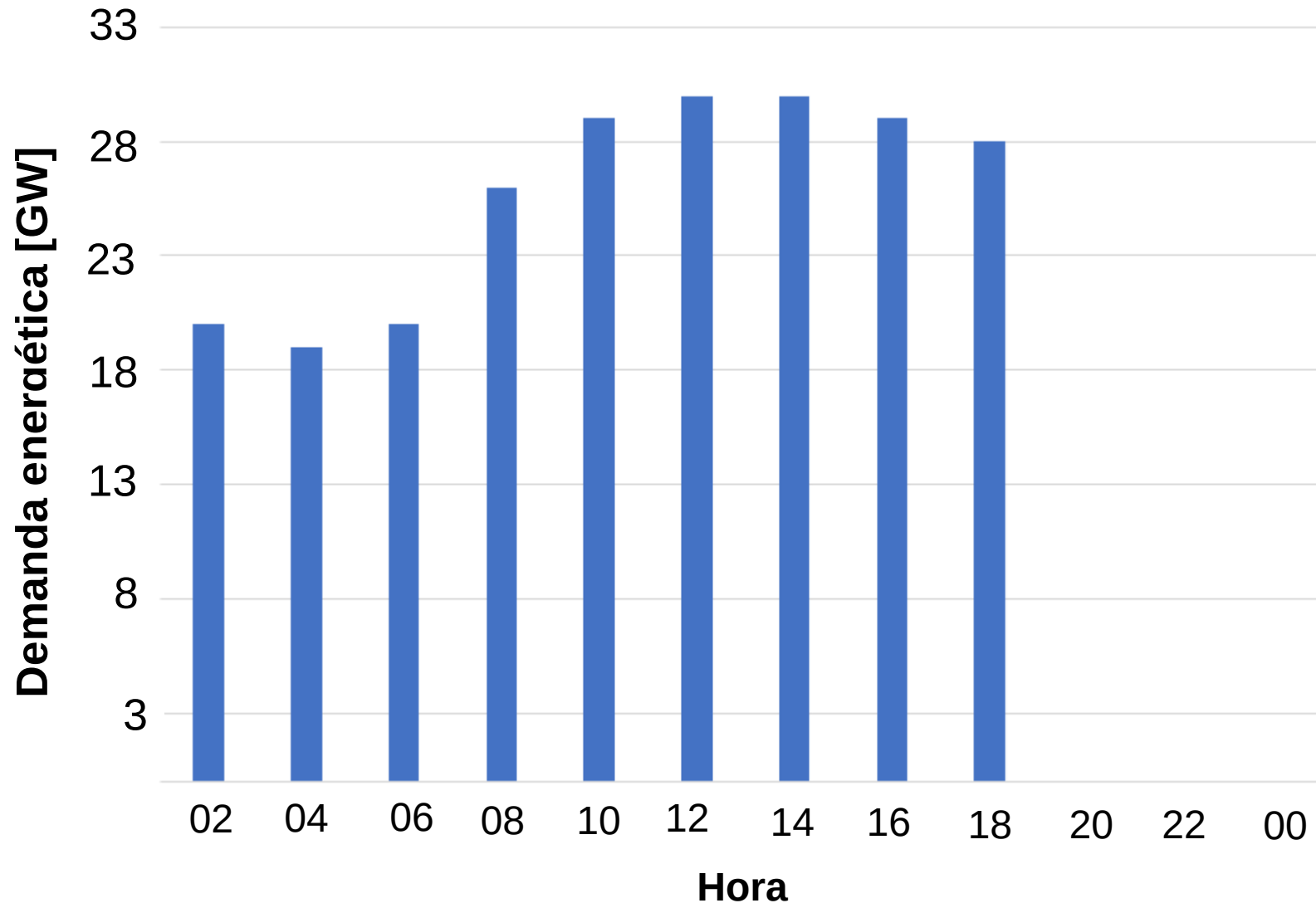


VIENTO: +1
SOLAR: +2

Altas temperaturas

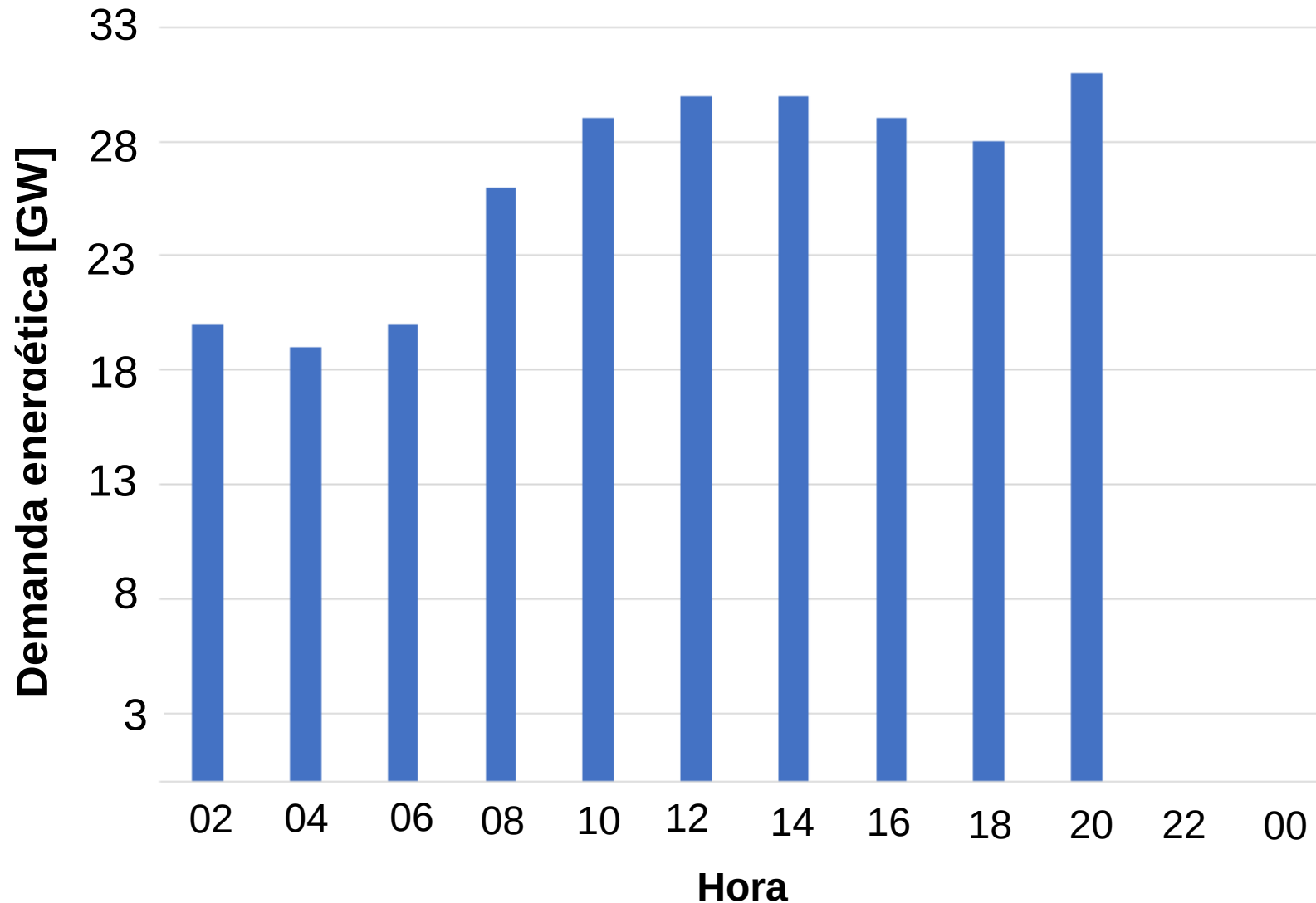
-1 almacenamiento
de agua

Consumo a las 18h: 28 GW



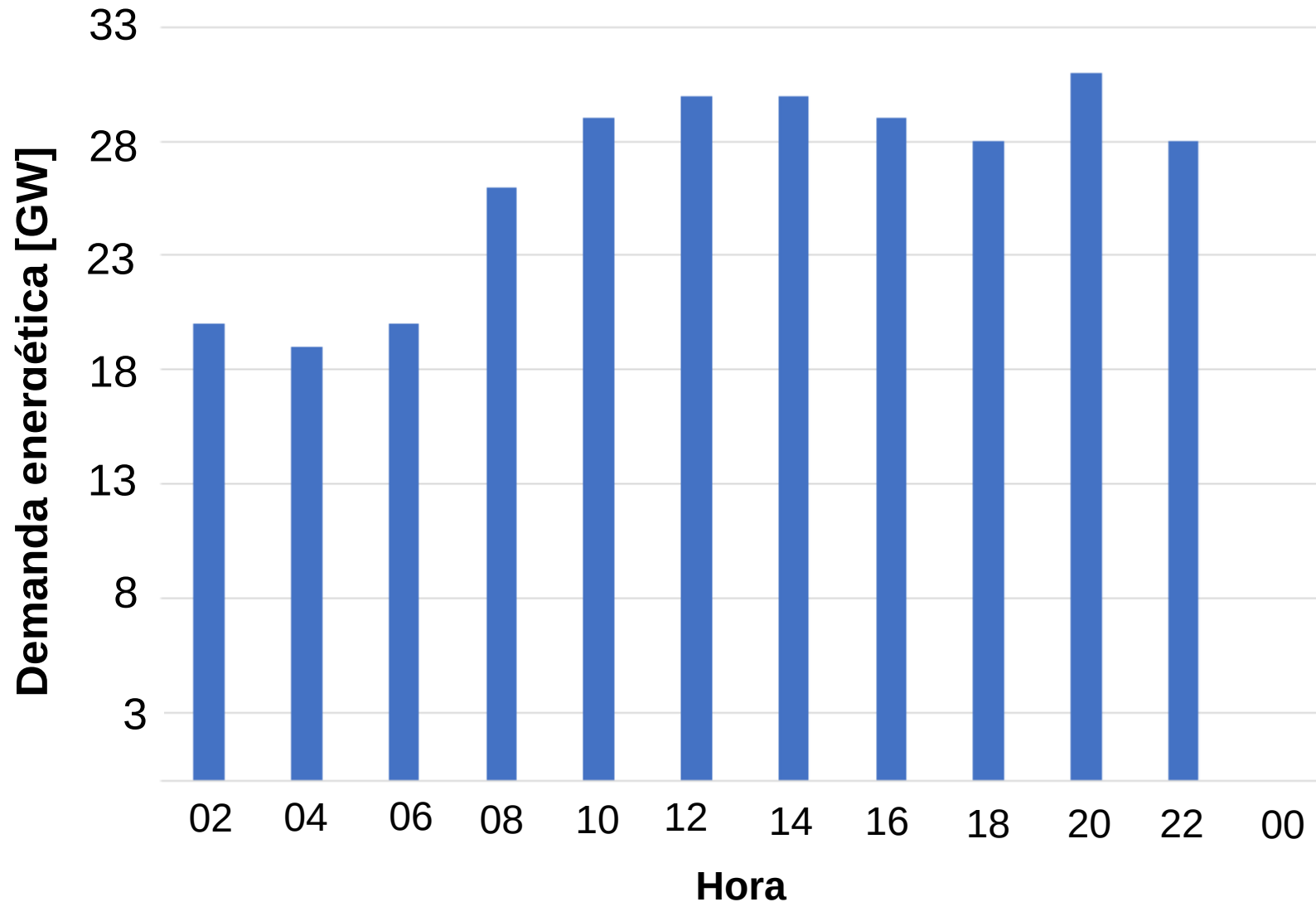
VIENTO: -1
SOLAR: -1

Consumo a las 20h: 32 GW



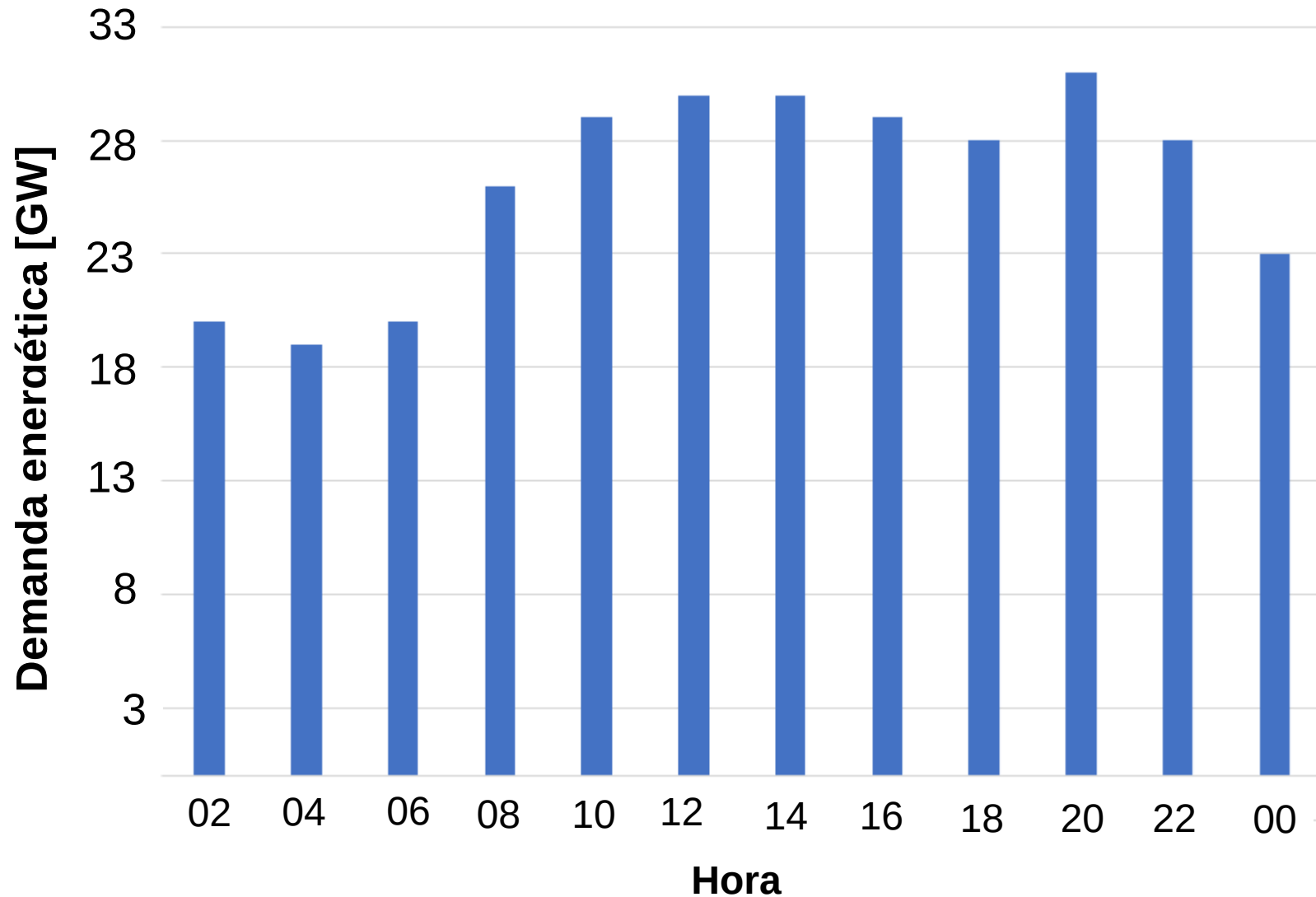
VIENTO: -2
SOLAR: -2

Consumo a las 22h: 28 GW



VIENTO: -2
SOLAR: -4

Consumo a las 24h: 23 GW



VIENTO: -1
SOLAR: 0

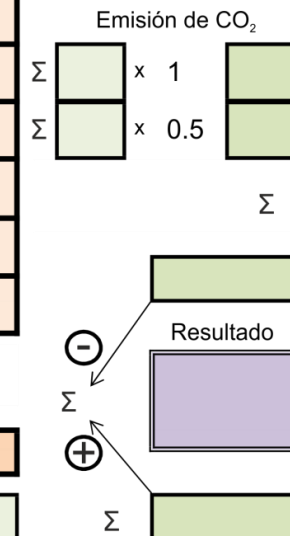
Resultados

- Demanda cubierta Sí: Puntos = Demanda
- Demanda cubierta No: Proporcionada – 3 puntos

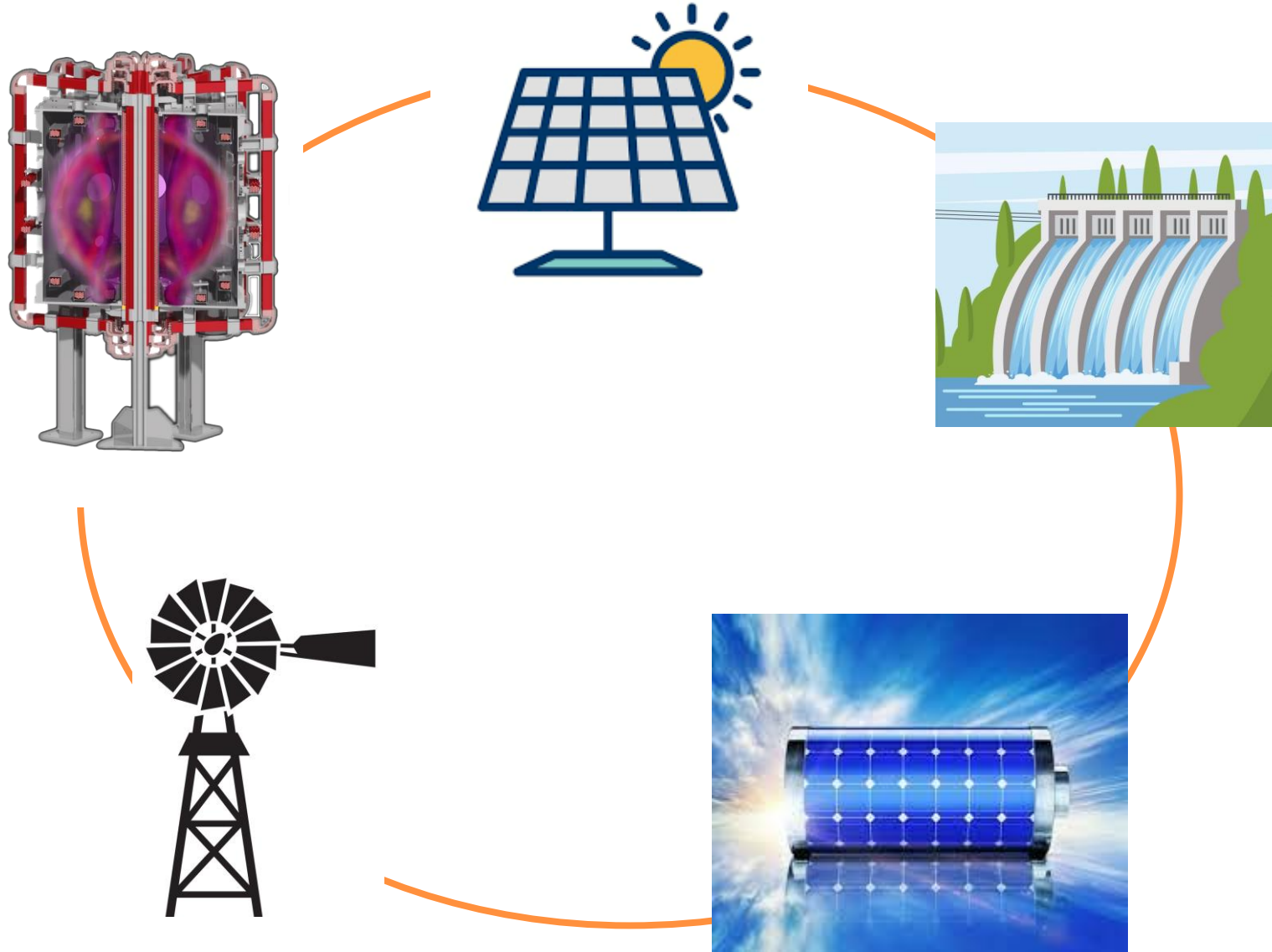
**MEGAWATTS
& MARBLES**

Equipo:

GW		Hora	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
instalado														
	Fusión													
	Solar													
	Carbón													
	Ciclo comb.													
	Fisión													
	Agua													
	Eólica													
max 40	Reserva de agua:		00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Demanda cubierta														
Puntos														



Discusión y Conclusiones



Nuestro mundo que se avecina: avanzando hacia un mundo más justo y equilibrado

