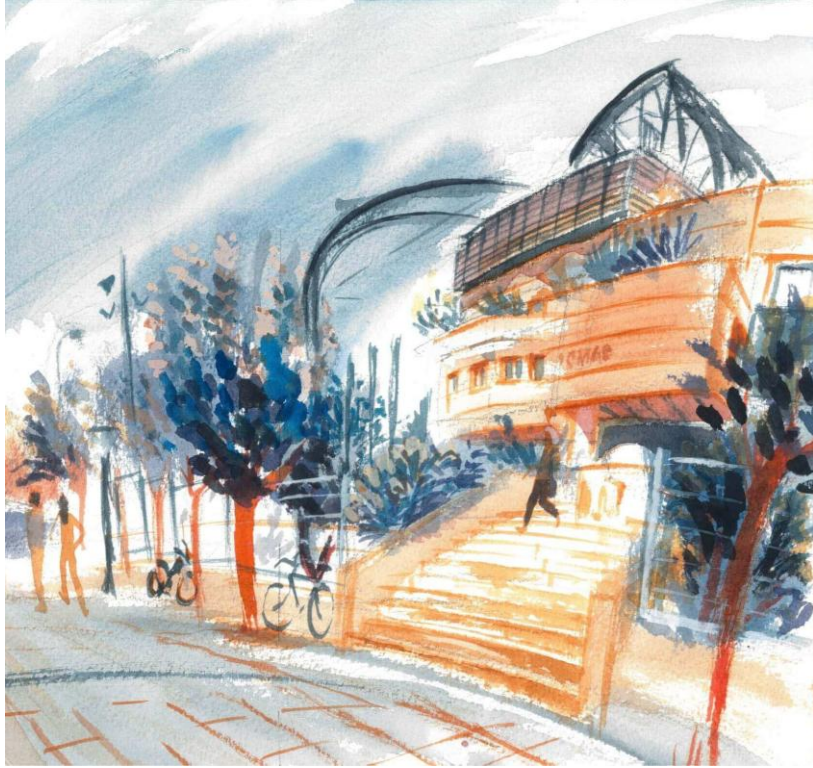




## Transició energètica: el desllorigador en la lluita contra el canvi climàtic

**Xavier Obradors**

Institut de Ciència de Materials de Barcelona, ICMAB-CSIC  
Campus UAB, Bellaterra, Catalonia, Spain

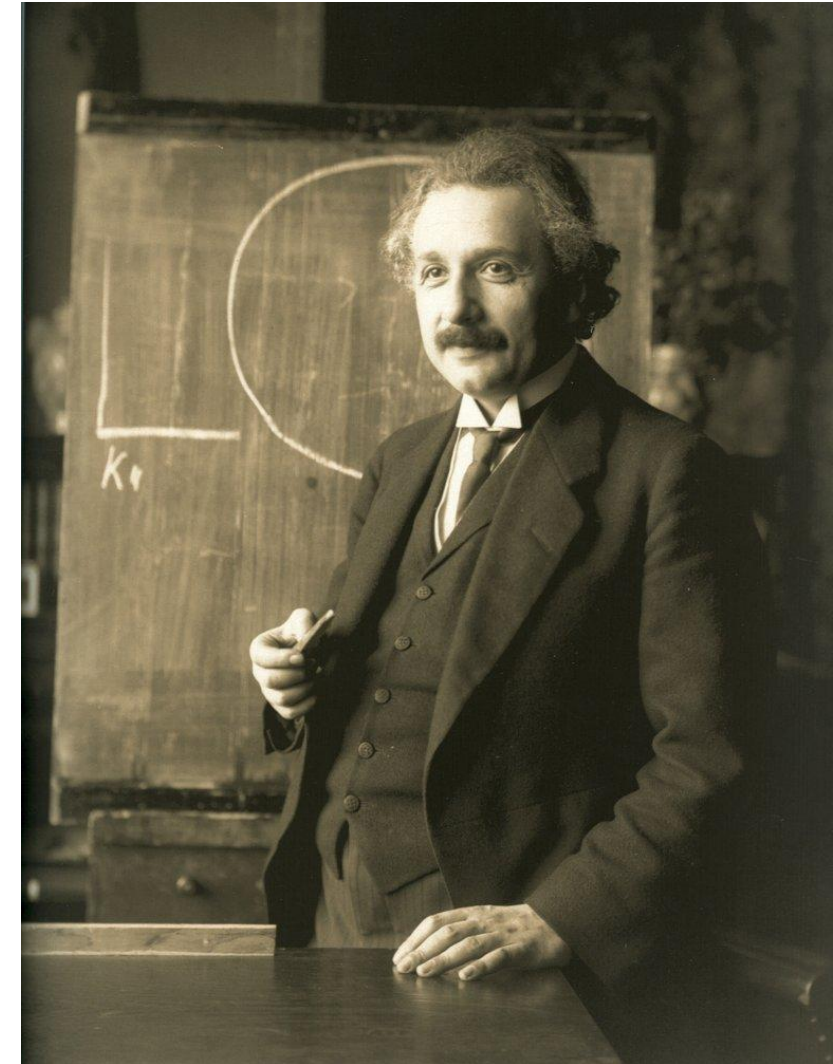


REAL ACADEMIA  
DE CIÈNCIES I ARTS DE BARCELONA  
Fundada el 1764

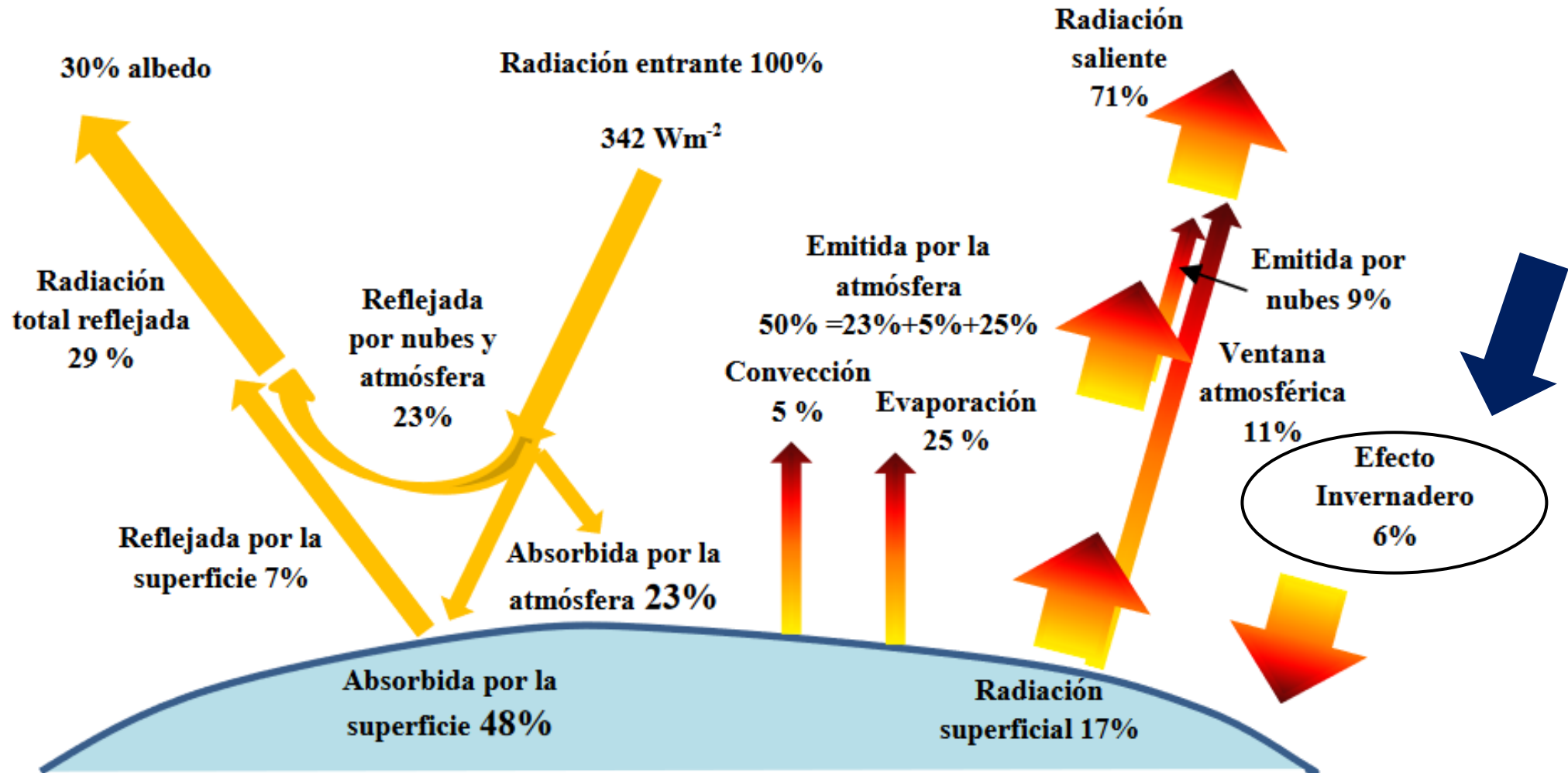
# Crisi climàtica: com ens hi enfrontem?

**“We can not solve our problems  
with the same level of thinking  
that created them”**

**Albert Einstein**



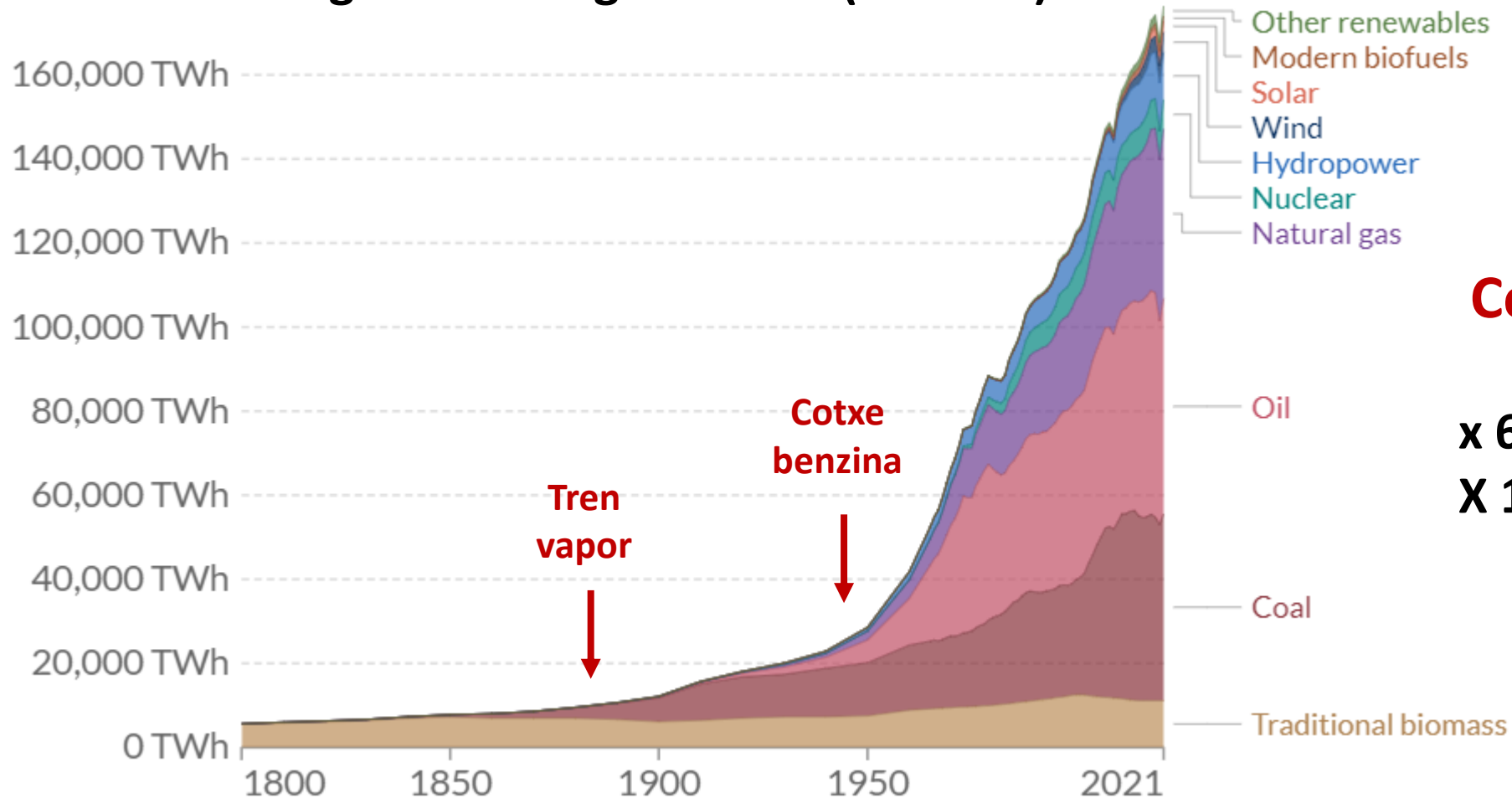
# Què és l'efecte hivernacle?



Una part de la radiació infraroja emesa per la Terra retorna a la Terra degut a la reemissió per part dels gasos de l'atmosfera: **La Terra estaria a -12 °C** si no hi hagués aquest efecte. No ho podem desequilibrar!

# Evolució consum mundial d'energia

Segle XX: energies fòssils (75-85 %)



**Consum energia**

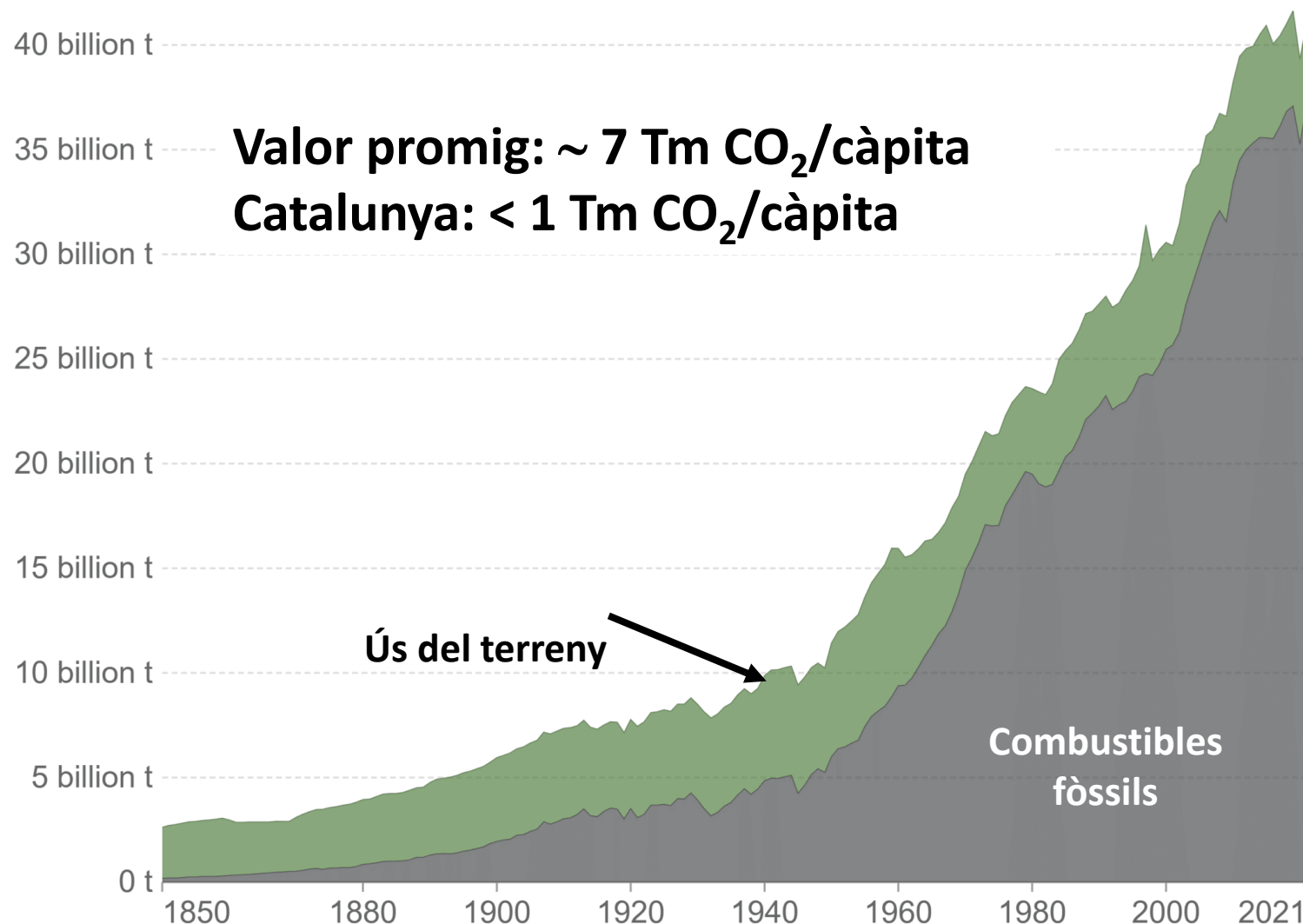
**x 6 en 70 anys**

**X 16 en 120 anys**

- Previsions BAU: +70% al 2030 / +100% al 2050
- Extracció petroli: 160.000 l/s actualment

# Emissions anuals de CO<sub>2</sub> + Gasos Efecte Hivernacle (GEH)

Our World  
in Data



**Valor promig: ~ 7 Tm CO<sub>2</sub>/càpita**  
**Catalunya: < 1 Tm CO<sub>2</sub>/càpita**

**Emissions anuals GEH (2023):**

**~ 53.000.000.000 Tm CO<sub>2</sub>**  
**(~ 53.000 milions Tm CO<sub>2</sub>)**

**(1990 – 2023)**

**EU: - 34 %**

**USA: - 9 %**

**Xina: x 3,3**

**India: x 3**

**Consum energia**

**x 6 en 70 anys**

**Població:**

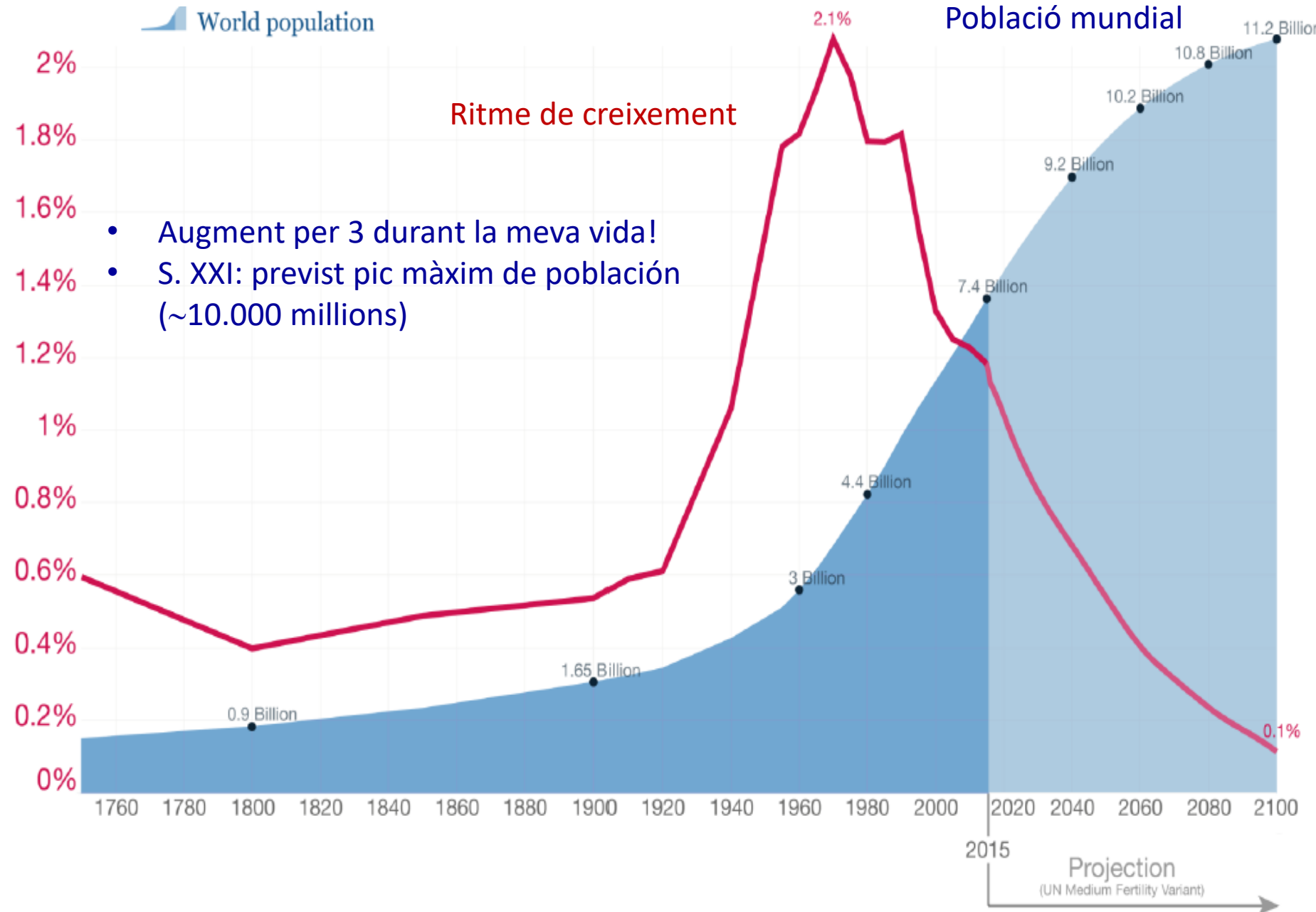
**x 3 en 70 anys**

**GEH**

**X 4 en 70 anys**

# Creixement Població mundial: 1750-2100

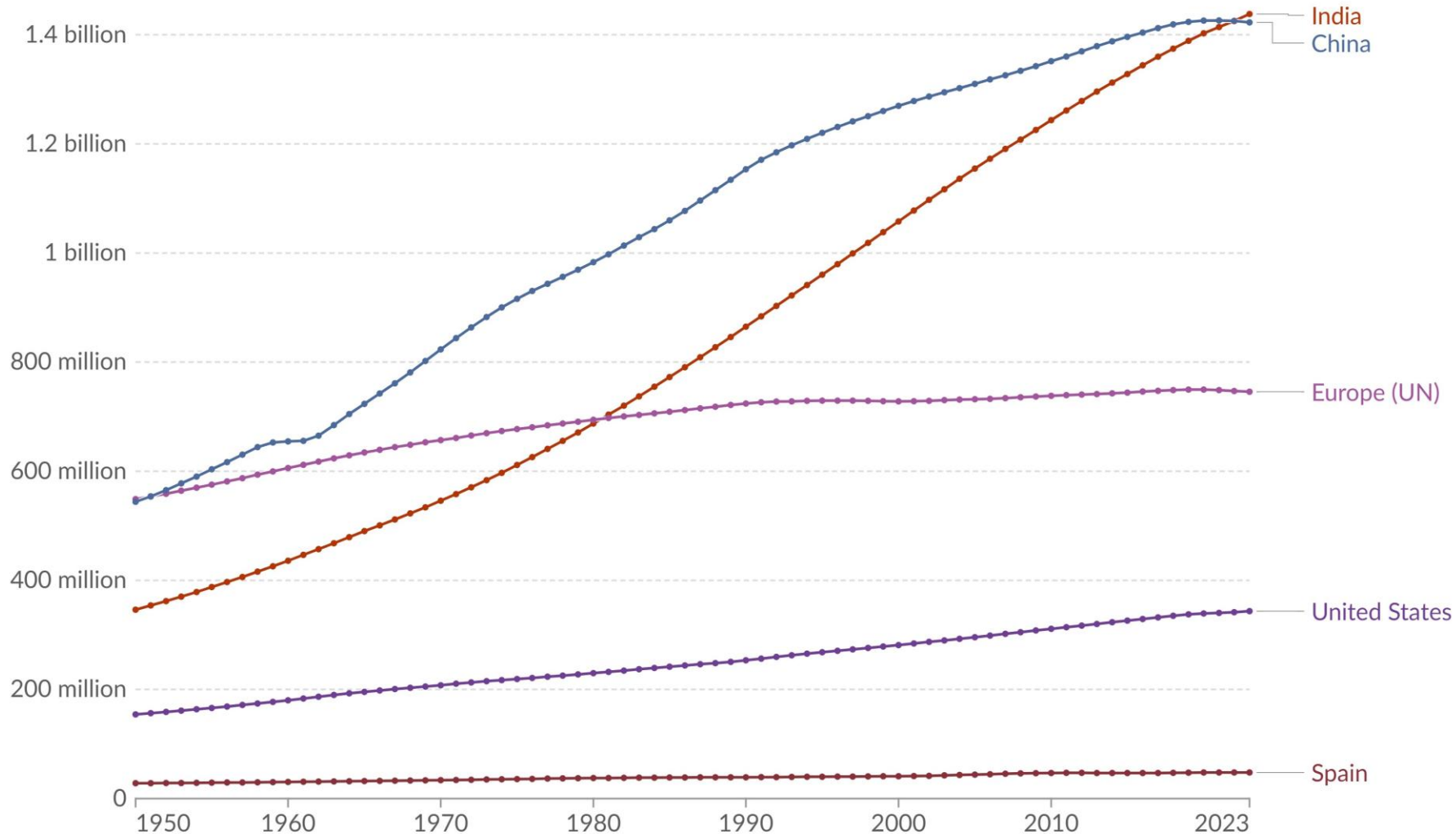
- Creixement sobretot als països en desenvolupament (Àsia)
- Esperança de vida: +15 min/h (2.5 anys/dècada)
- X 2.3 en 125 anys (Espanya)



# Creixement Població mundial: 1750-2100

- Creixement sobretot als països en desenvolupament (Àsia)
- Esperança de vida: +15 min/h (2.5 anys/dècada)
- X 2.3 en 125 anys (Espanya)

Population, 1950 to 2023

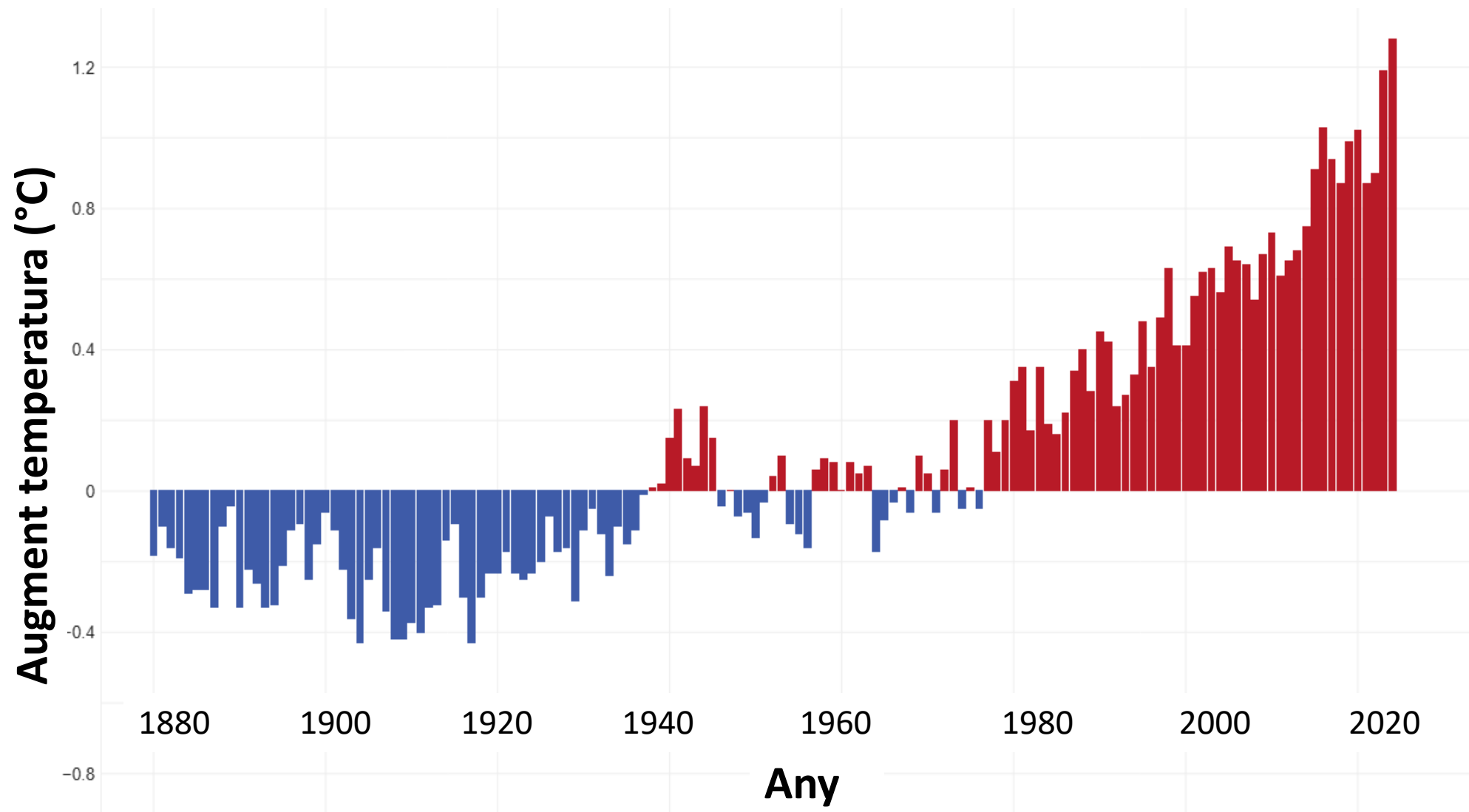


Data source: UN, World Population Prospects (2024)

Note: Values as of 1 July of the indicated year.

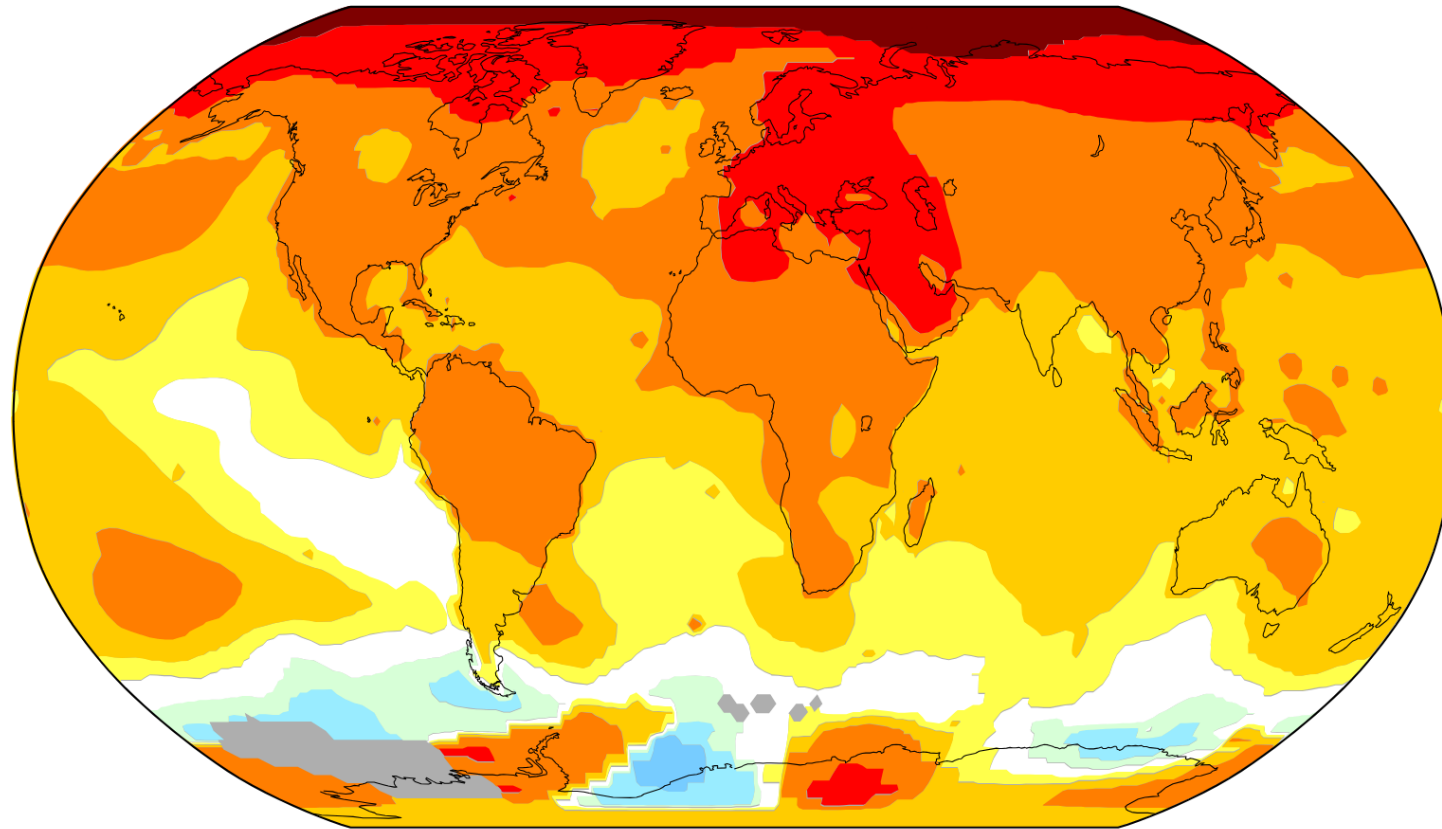
OurWorldinData.org/population-growth | CC BY

# Augment antropogènic de la temperatura

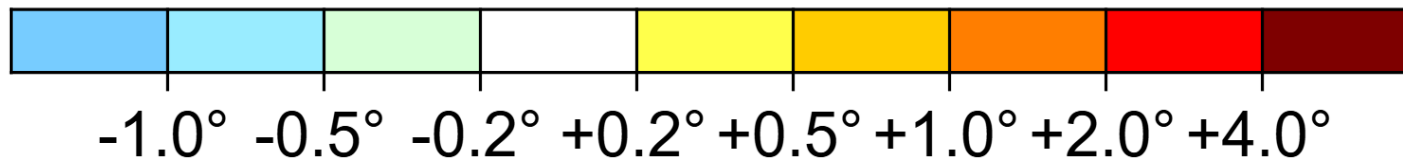


**2024: la temperatura més alta en 170 anys (+1.35°C global)**

# Distribució augment antropogènic de temperatura



Trend from 1973 to 2023 (°C)

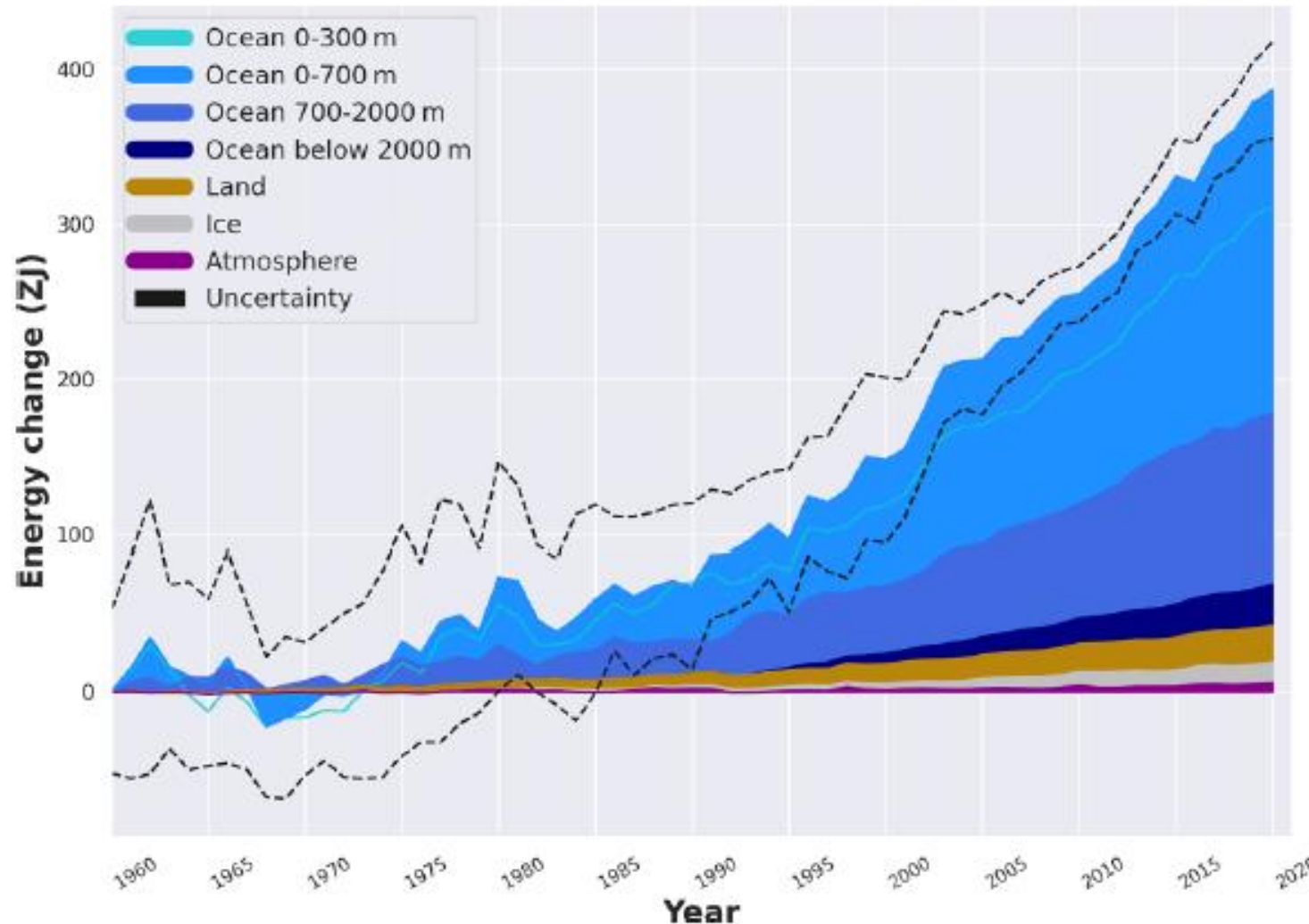


**2023: les temperatures més  
altes en 170 anys (+1.4°C  
global, +2°C Barcelona)**

[https://es.wikipedia.org/wiki/  
Calentamiento\\_global](https://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global)

# Energia acumulada a la terra degut a l'efecte hivernacle

1 ZJ (zeptajoule) =  $10^{21}$  J

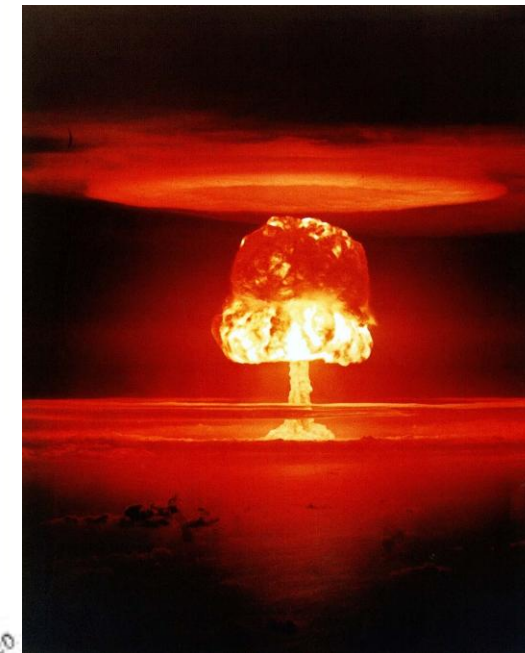


89 % mar

5 % Terra

4 % crioesfera

2 % atmosfera



- Generació equivalent calor: (1 bomba atòmica Hiroshima / 30 s) during 60 anys
- Actualment fins i tot pitjor: ~ 1 bomba atòmica Hiroshima / 15 s

# Consequències de la crisi climàtica



California 2021



- Augment temperatura
- Meteorologia més extrema
- Augment nivell del mar
- Disminució volum glacià (-5 bTm gel)
- Pèrdua permafrost



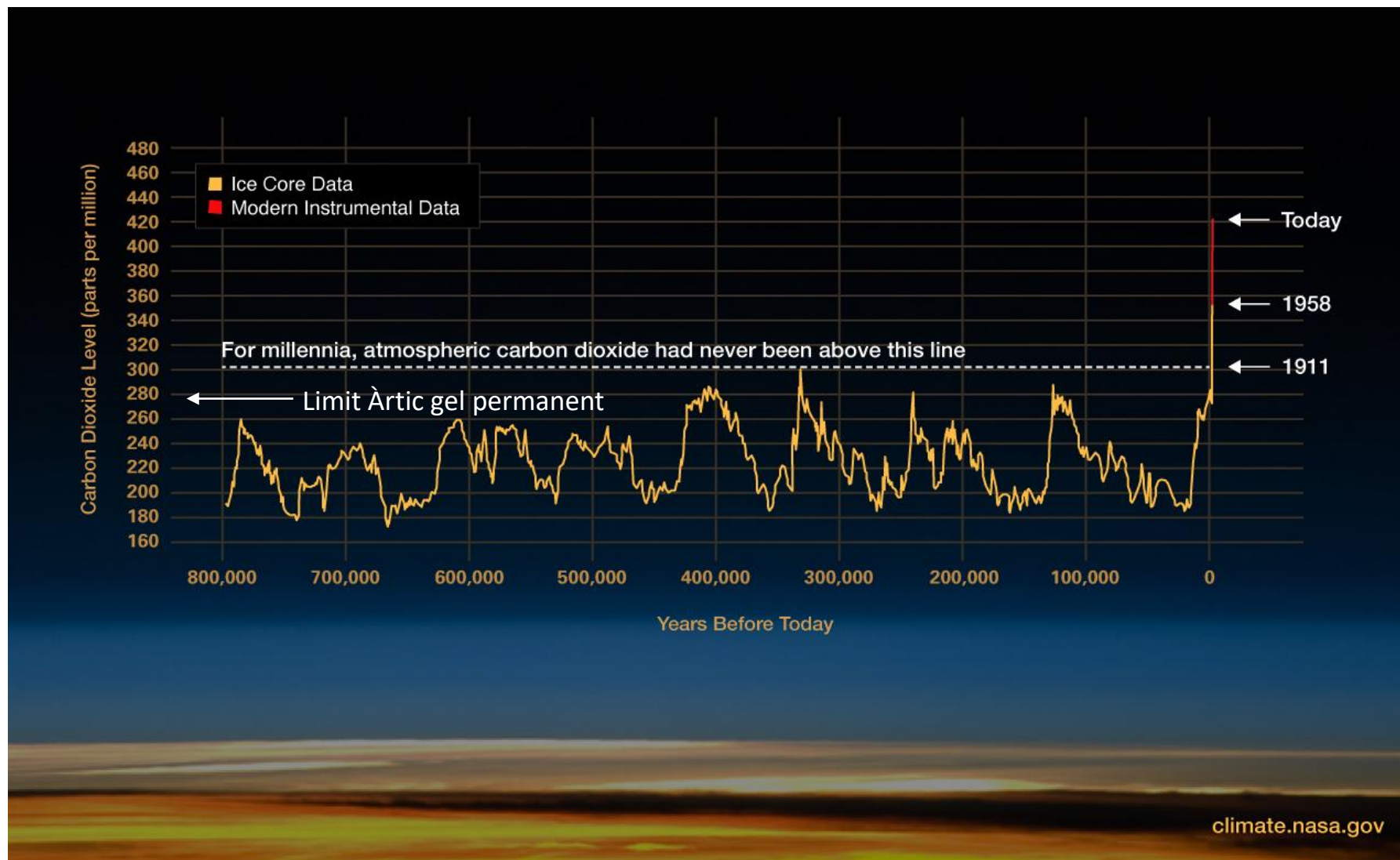
València 2024



Australia 2021

- Pèrdua de biodiversitat
- Salut: Augment malalties infeccioses, calor (> 8 milions morts/any pol·lució atmosfèrica)
- Crisi alimentària: agricultura, desforestació, sequeres, pesca, incendis, inundacions, qualitat aigua (0.7 milions morts/any pel 2030 = 10 % morts càncer)
- Gran impacte mediambiental, econòmic i social
- Increment massiu de les migracions

# Història del CO<sub>2</sub> a l'atmosfera



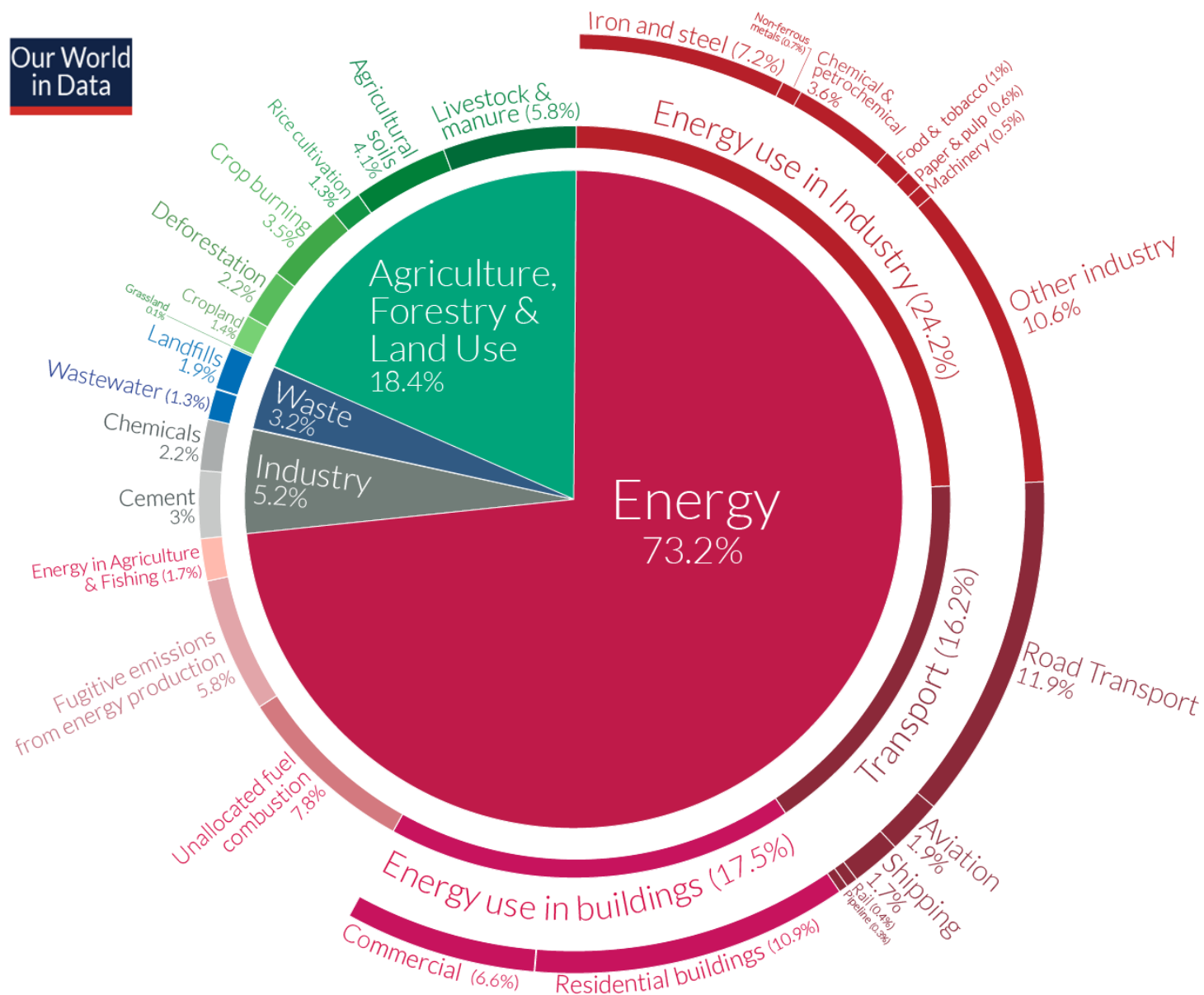
Oscilacions  
climàtiques:  
periods glacials  
i interglacials

Desaparició gel  
Àrtic (2035)?

La major concentració mai experimentada en > 800.000 anys a la Terra  
Estem transitant del Holocè (~ 12.000 anys) a l'Antropocè?

# Emissions Gasos Efecte Hivernacle per sector

Our World  
in Data



## Sectors generadors de GEH

Segle XX: energies fòssils (75-85 %)

GEH equivalent: ~ 53.000.000.000 Tm CO<sub>2</sub>  
(~ 7 Tm CO<sub>2</sub>/càpita)

## La crisi climàtica

Crisi energètica: necessitat de la transició energètica neutre en carboni

## Darrers 70 anys

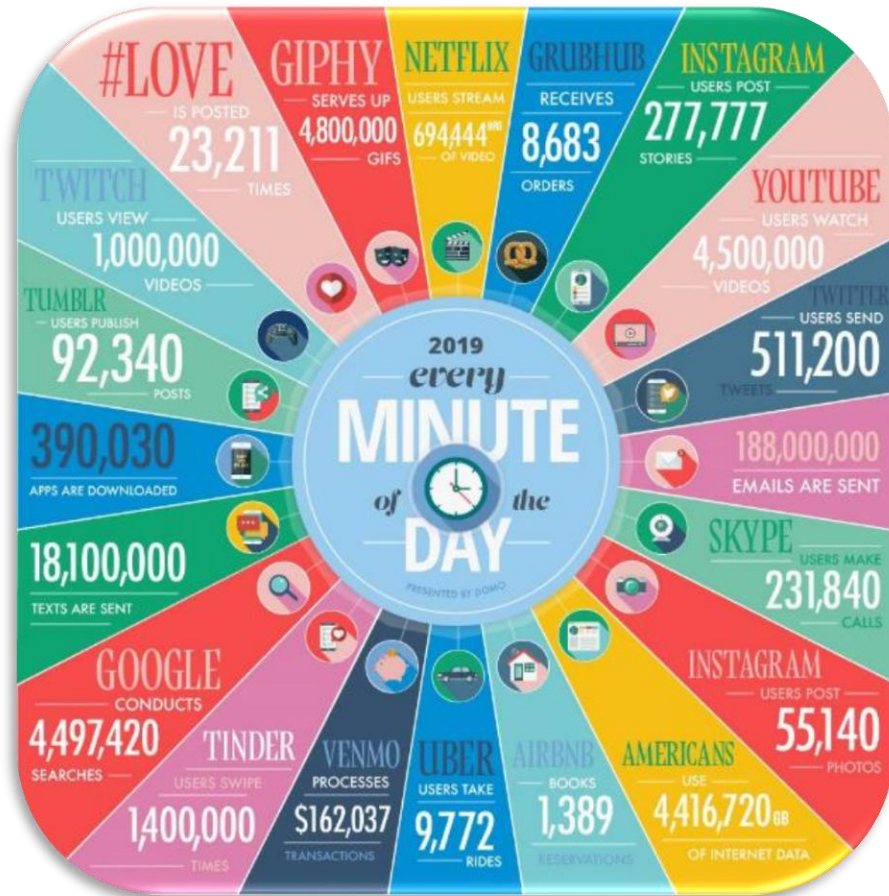
Consum energia: x 6

Població: x 3

GEH: X 4

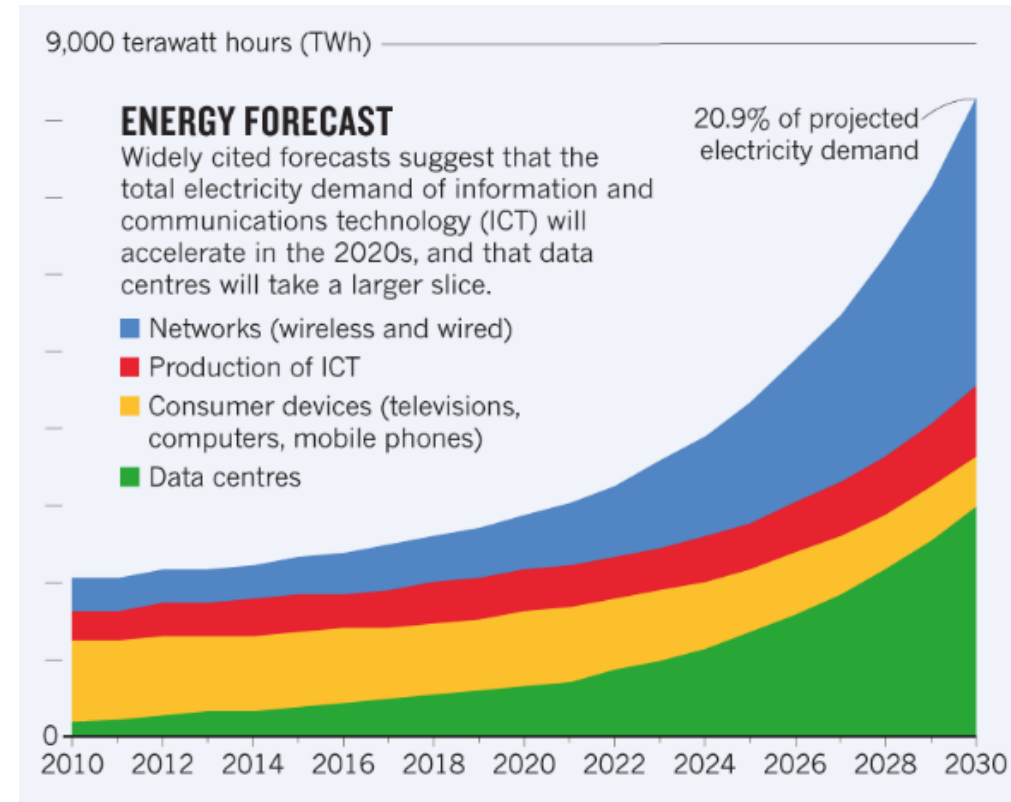
PIB/càpita: X 12

# Les TIC ja no són energèticament innocents



Consum IA:  
x 20 demanda

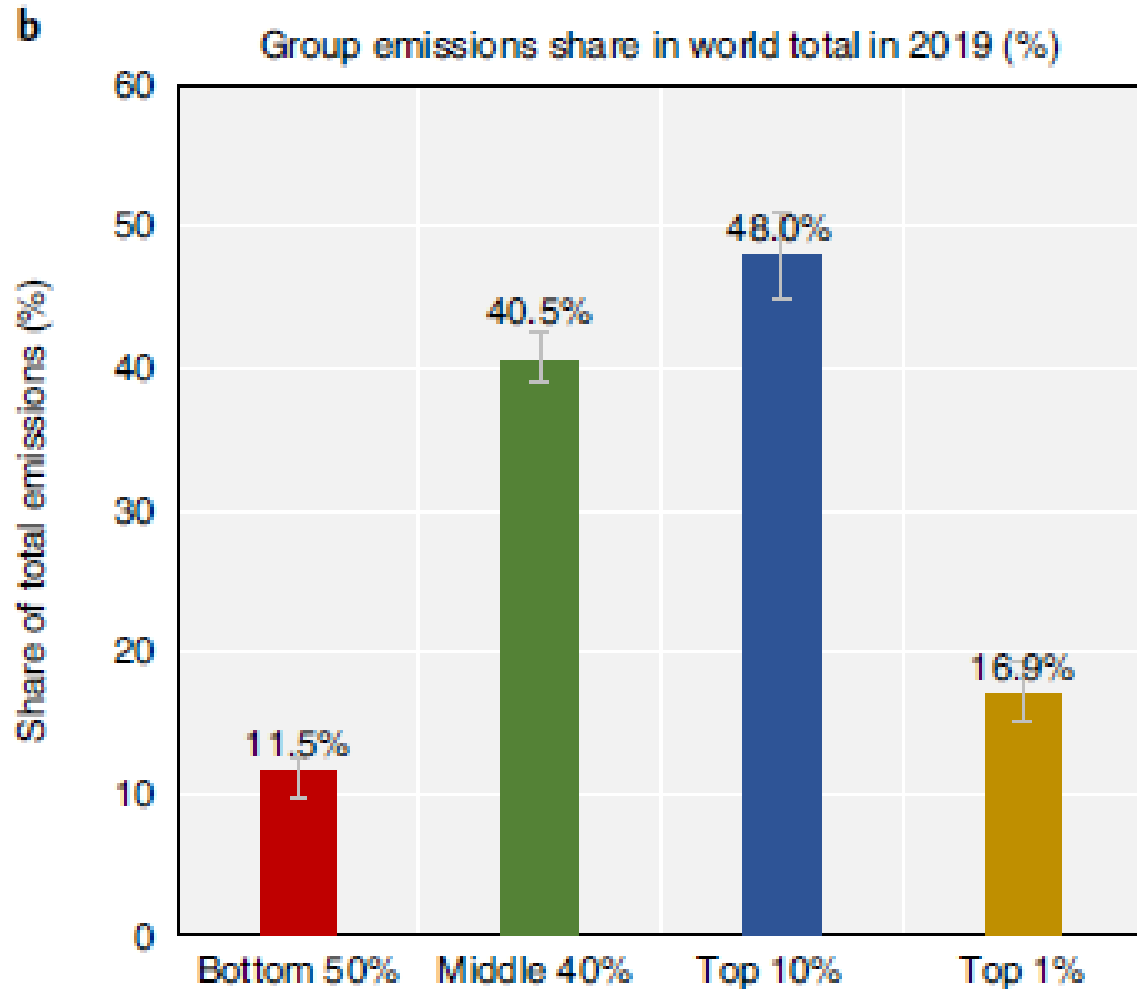
Consum energia x 4 en 20 anys!



- La superabundància de les dades: centers de dades
- Creixement demanda energia elèctrica TIC: 5 - 20 % (2.030) ?
- Generació CO<sub>2</sub> (1,8 -2,8 %): ja és superior a l'aviació!
- Impacte de la Intel·ligència Artificial en el consum global!

Presió usuaris finals sobre la sostenibilitat dels fabricants de xips (IA)?

# Desigualtat d'emissions de CO<sub>2</sub> per càpita segons la renda



L. Chancel, Nature Sustainability (2022) 5, 931–938

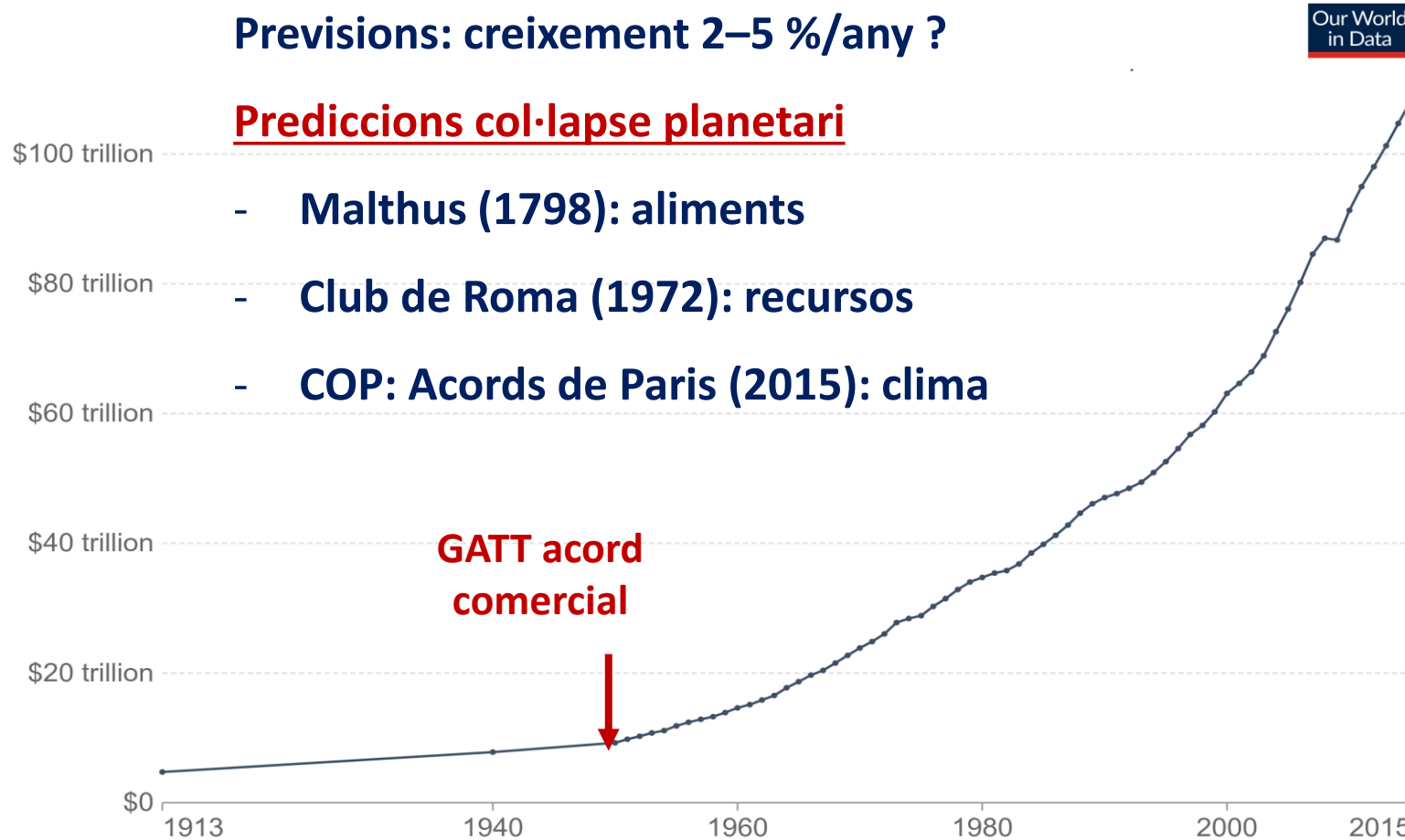
- La població amb rendes més altes (10 %) genera 6-10 vegades més de CO<sub>2</sub> (50 % del total) que el 50 % amb renda més baixa
- EU: la nostra vida domèstica només influencia en el 10-15 % del CO<sub>2</sub> per càpita
- Un 50 – 70 % de les emissions de la població 10% top provenen de les seves inversions!
- Gran capacitat per impulsar la transició energètica invertint bé!!
- Correlació desigualtat renda i emissions

# Evolució PIB mundial

Previsions: creixement 2–5 %/any ?

## Prediccions col·lapse planetari

- Malthus (1798): aliments
- Club de Roma (1972): recursos
- COP: Acords de Paris (2015): clima



Source: World GDP - Our World In Data based on World Bank & Maddison (2017)

OurWorldInData.org/economic-growth • CC BY

## PIB mundial

x 12 en 70 anys (1950-2020)

X 3 Població

X 2 esperança vida

## Per càpita

PIB/càpita: x 4

Energia /càpita: x 2

GEH /càpita: x 1.3

## Desacoplament PIB – CO<sub>2</sub>

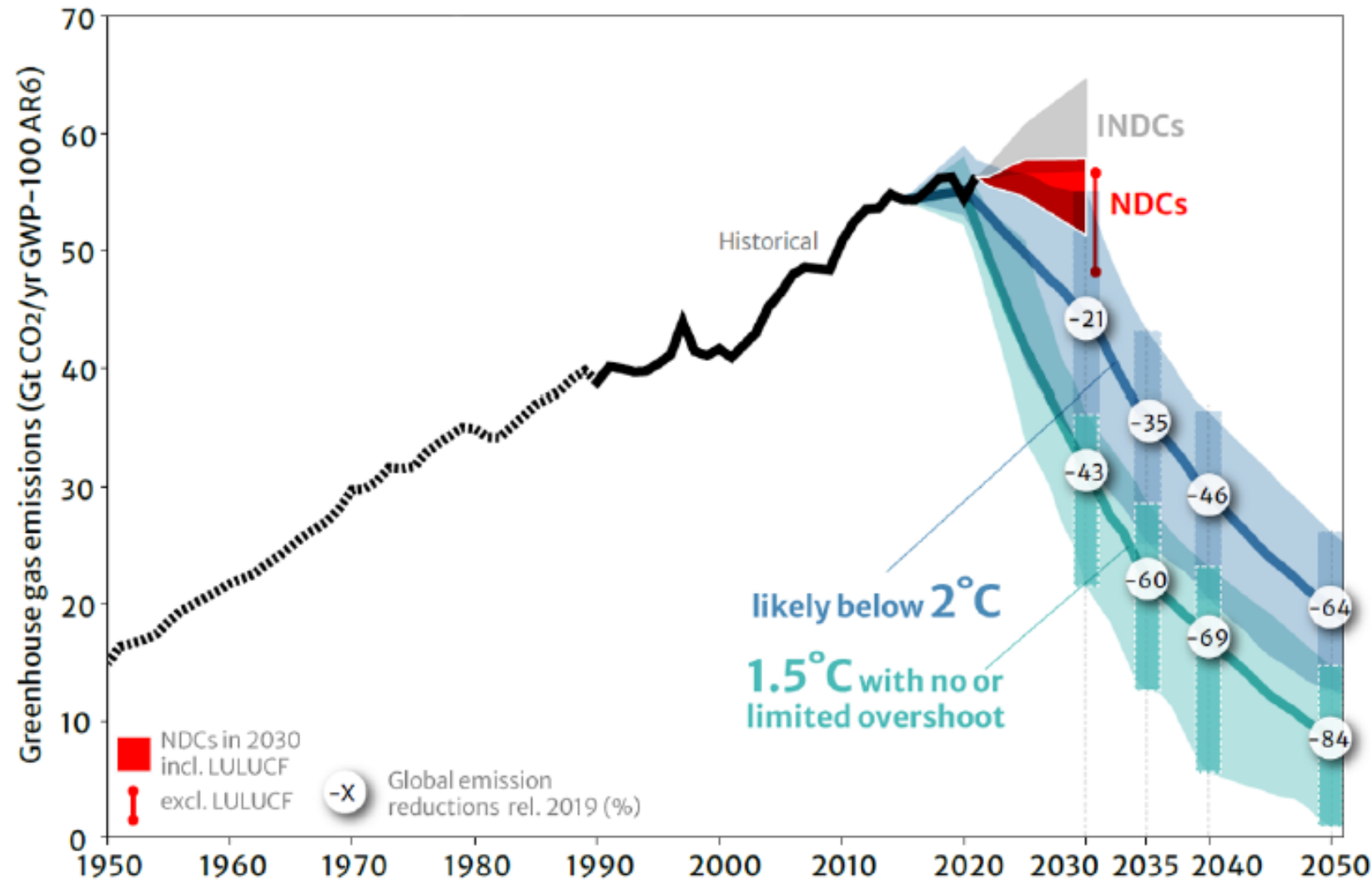
- És possible créixer econòmicament sense créixer en GEH?
- 30 % regions del món ho han aconseguit!

• Forta correlació PIB amb emissions GEH

• L'energia mou l'economia mundial

# Estabilització clima: reducció emissions carboni

Emissions annuals GEH equivalent: ~ 60.000.000.000 Tm CO<sub>2</sub>



Informe NU 2023

Acord Paris IPCC (2015):  
+1.5 °C in 2050 !

Reptes intermedis (- CO<sub>2</sub>):

- 45% el 2030
- 70% el 2040
- 85% el 2050!

**Necessitem passar pel pic d'emissions urgentment!**

# Captura CO<sub>2</sub>: podem revertir directament l'efecte hivernacle?

## Emissions futures

- Enterrament subterrani
- Materials per a capturar CO<sub>2</sub> de l'atmosfera
- Mitigació de les emissions en els processos industrials (ciment, fertilitzants, metal·lúrgia)
- Cost de la segrestació de CO<sub>2</sub>?

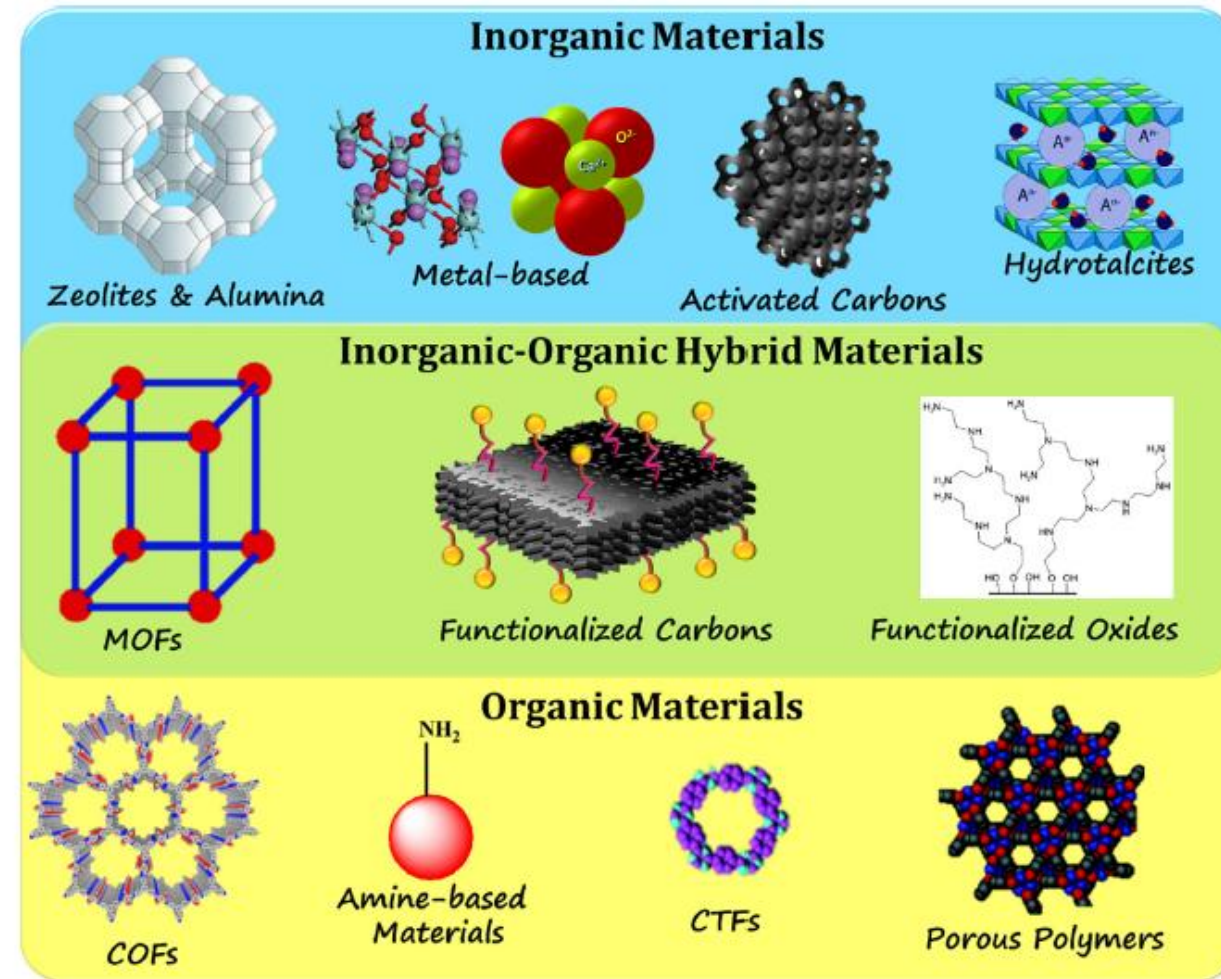
## Emissions passat

- Eliminació 100 ppm CO<sub>2</sub> atmosfera: entropia generada (~900.000 MTm CO<sub>2</sub>)
- 1.000 centrals nuclears (1 GW) / 10 anys (450 centrals a tot el món actualment)
- Cost: > 20.000.000 M\$ (30 \$/Tm CO<sub>2</sub>)  
= PIB USA/any

**Efecte irreversible (deute generacional)  
cost inassumible, no és viable!**

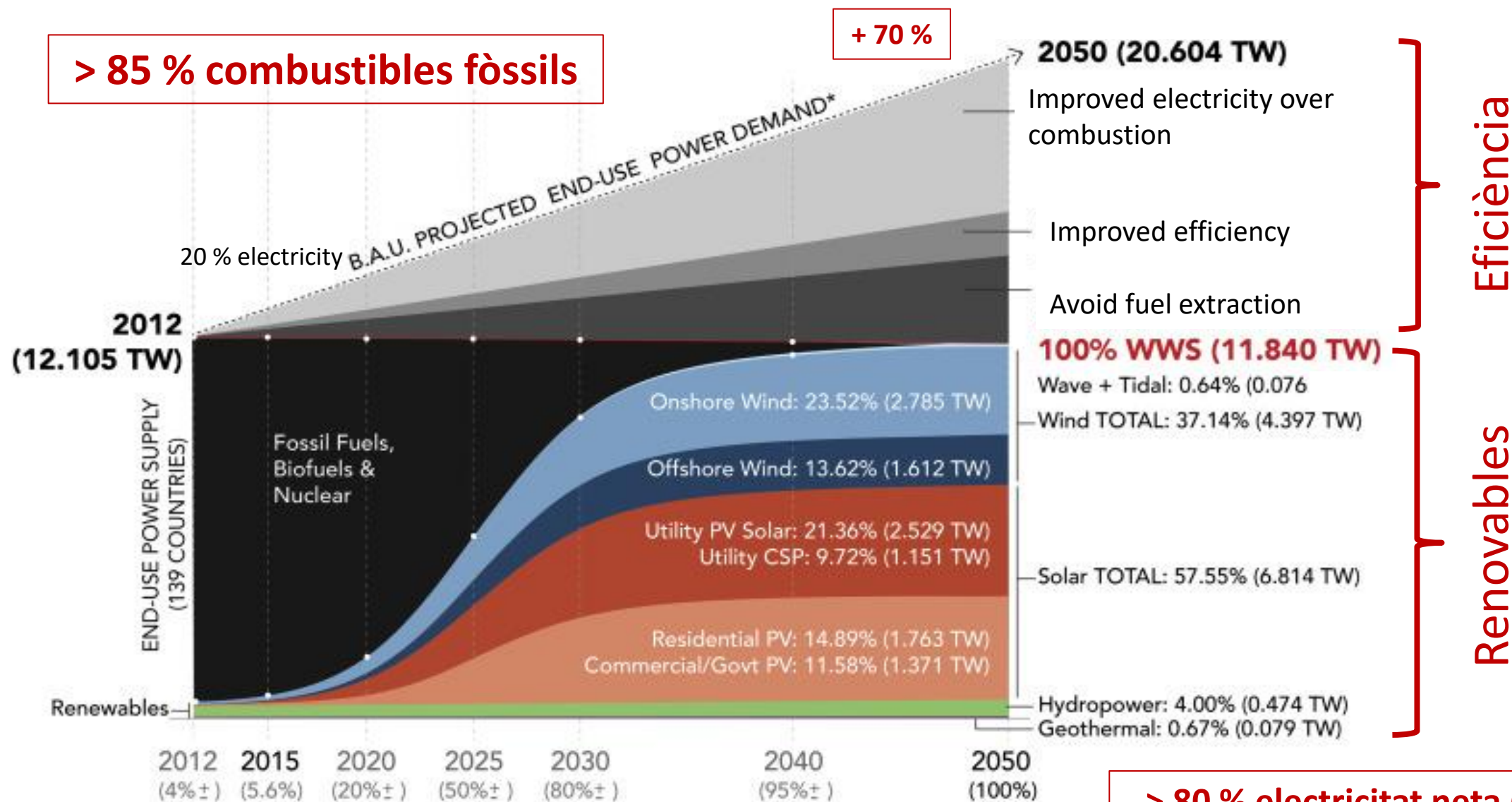


**Natura necessita molts anys**



S. Castro-Pardo et al, Materials Today 60, 227 (2022)

# Transició energètica: full de ruta global

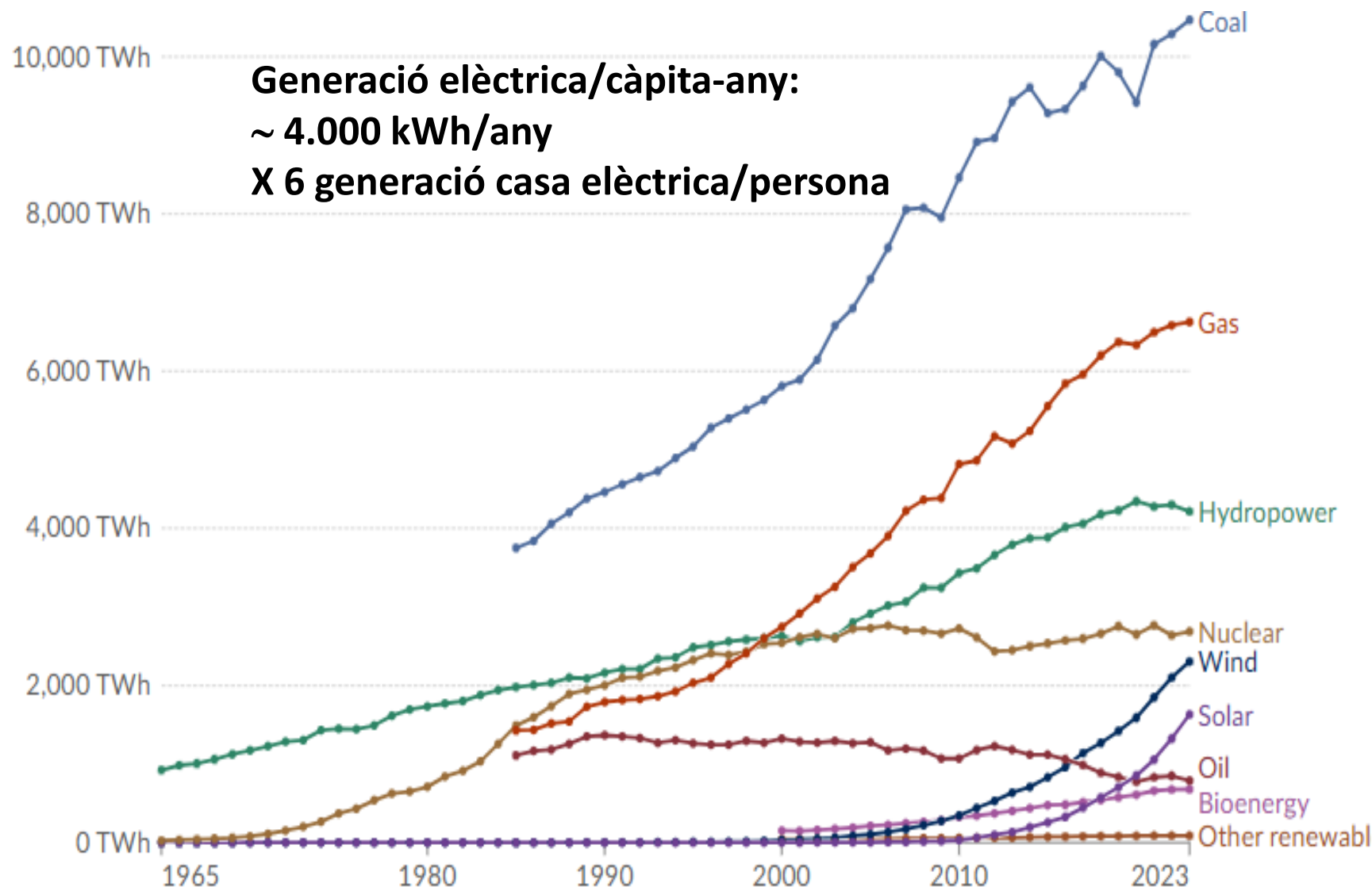


- **Balanç net positiu de ~ 25 milions de llocs de treball**

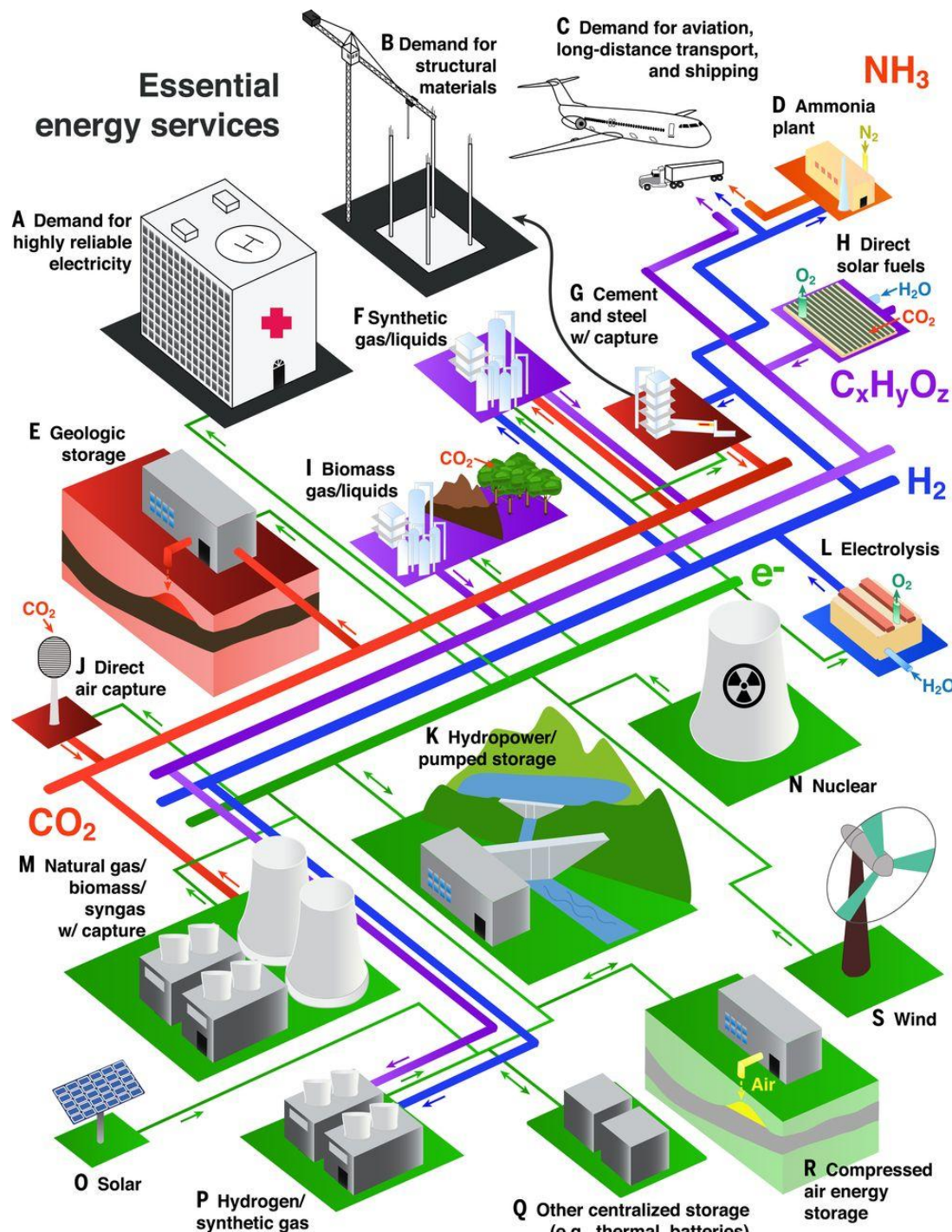
M.Z. Jacobson et al., Joule 1, 108 (2017)

# Creixement mundial de les energies renovables

**Generació elèctrica món: ~30.000 TWh/any**



- Urgent revertir les inversions en energies fòssils cap a les renovables!
- Els usuaris finals tenen poder per impulsar aquesta transició
- Electricitat renovable: ~ 25 %
- Electricitat no GEH: ~ 35 %
- Energia no GEH vs primària: 18 %

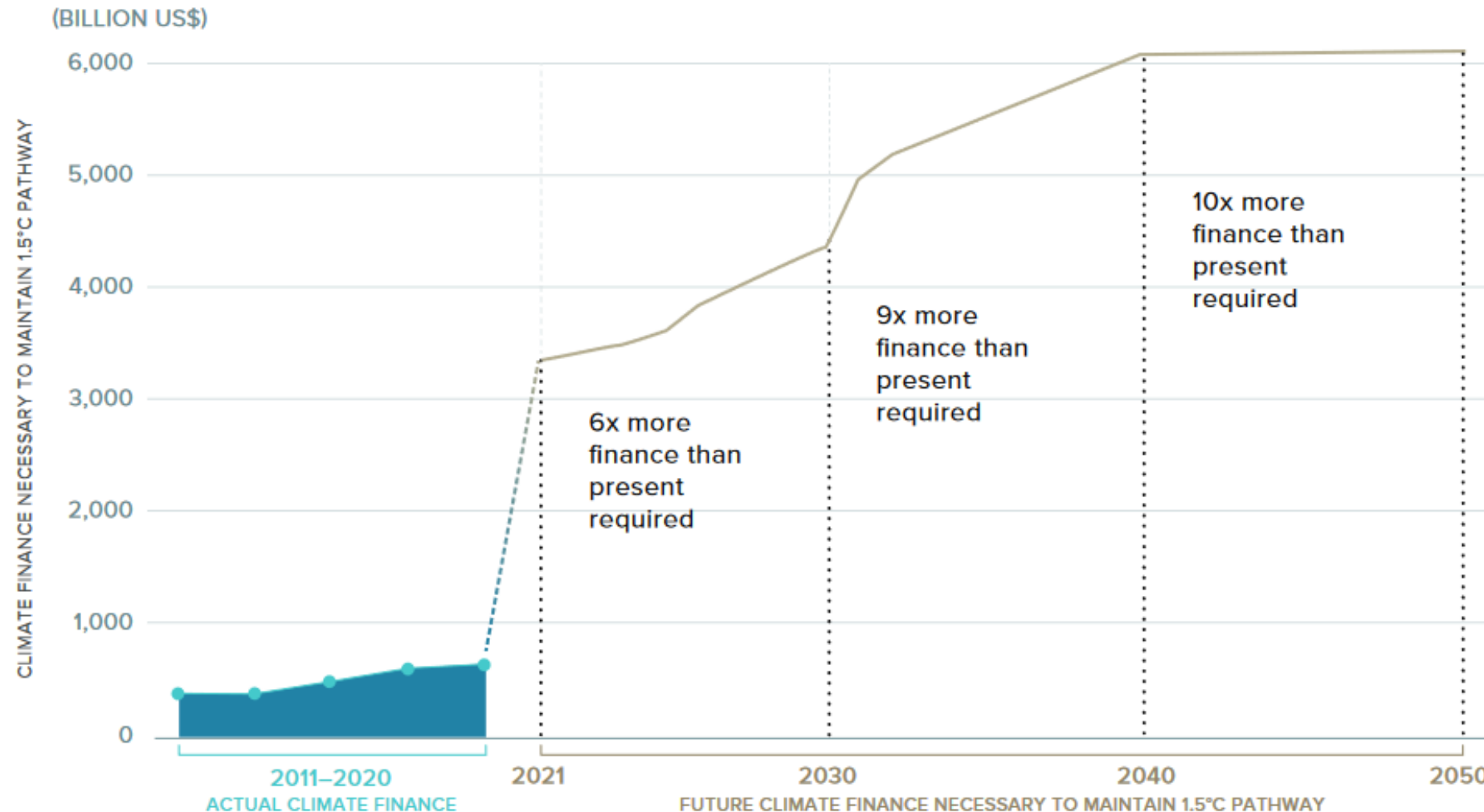


## La complexitat del cicle de l'energia neutre en GEH

- Vectors energètics complementaris segurs, eficients i sostenibles
- Electricitat: ~ 70–80 %
- Combustibles solars: ~ 20-30 %
- Generació descentralitzada
- Interdependència oferta i demanda: atenció a la intermitència
- Recerca i innovació essencials per reeixir amb els recursos sostenibles

# Inversió estimada necessària per aconseguir l'objectiu $\Delta T < 1.5^\circ\text{C}$

**Necessitem augmentar les inversions x 6 - 12 respecte valors actuals !**



**Cost 4-5 vegades més baix que despeses combustibles fòssils incloent emissions  $\text{CO}_2$**

**Necessitem invertir 3-6 % PIB/any fins el 2050**

**Stern Review: “The Economics of Climate Change” (2006)**

**Project Drawdown (Reversion) (<https://drawdown.org/>)**

**Nature 619, 761 (2023)**

# Inversió estimada necessària per aconseguir l'objectiu $\Delta T < 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Necessitem augmentar les inversions x 6 - 12 respecte valors actuals !

(BILLION US\$)

5 000

## Exemple Xina (neutralitat CO<sub>2</sub> any 2060)

- X 15: fotovoltaica (585.000 km<sup>2</sup>) + generació eòlica (672.000 km<sup>2</sup>)
- > 400.000 km xarxa MAT
- Inversió: 220.000 M\$/any
- Estalvi despeses combustibles fòssils: 223.000 M\$/any
- Estalvi emissions CO<sub>2</sub>: 400.000 M\$/any

Nature 619, 761 (2023)

2011–2020  
ACTUAL CLIMATE FINANCE

2021

2030  
FUTURE CLIMATE FINANCE NECESSARY TO M

Cost 4-5 vegades més baix que despeses combustibles fòssils incloent emissions CO<sub>2</sub>

Necessitem invertir 3-6 % PIB/any fins el 2050

Stern Review: “The Economics of Climate Change” (2006)



850 MW

Project Drawdown (Reversion) (<https://drawdown.org/>)

Nature 619, 761 (2023)

# MATERIALS: una tecnologia facilitadora de la societat del benestar

**MITIGACIÓ CANVI CLIMÀTIC**

**ECONOMIA CIRCULAR**

**MINIMIZACIÓ ÚS MATERIALS CRÍTICS**

Èxit cures de salut  
Sistemes disruptius de diagnosi & teràpies

Transició energètica  
Mobilitat elèctrica  
Indústria 5.0

Electrònica intel·ligent,  
comunicacions & computació

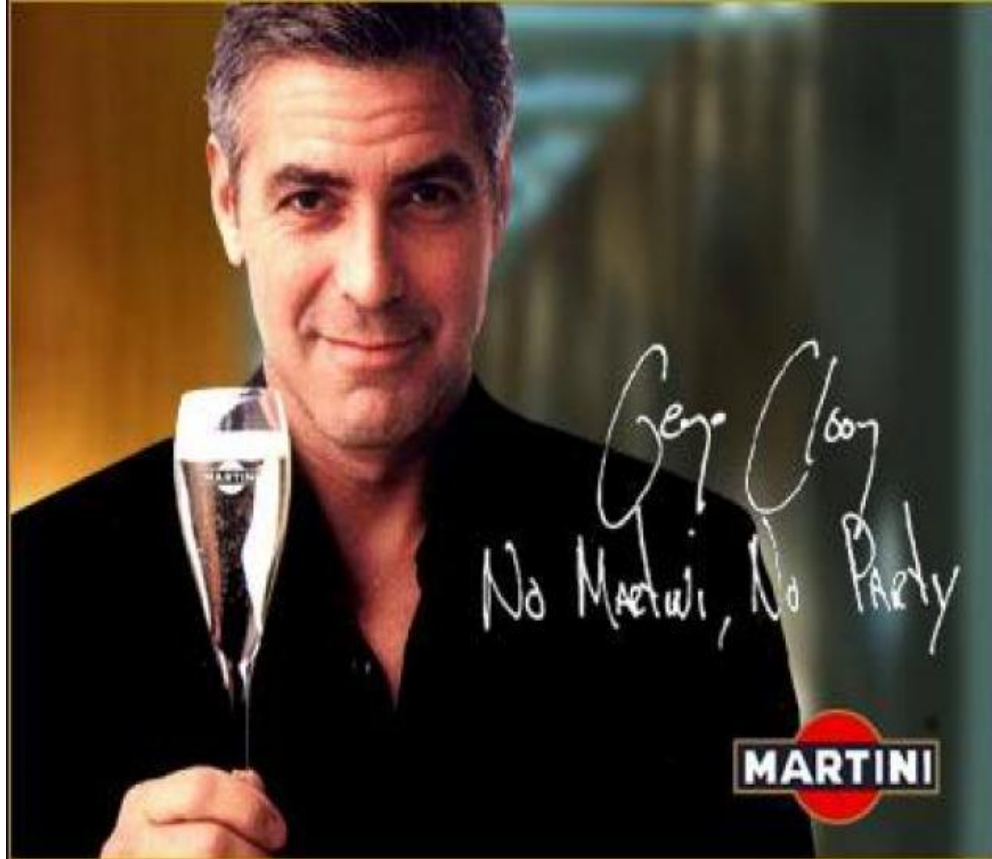
Ciència Bàsica a la frontera del coneixement



**SOSTENABILITAT PLANETA**

# Materials: una ciència facilitadora

Les tecnologies estàn sempre limitades pels materials disponibles



- Ens podem enfrontar als grans reptes científics, tecnològics i socials i trobar-hi sortida si disposem dels materials adequats i els convertim en dispositius fiables
- La ciència i la tecnologia no ho poden tot, sense ells no podem res!. Han fet possible el canvi climatic, poden revertir-lo?

# Nanomaterials: com fer més amb menys?

$1 \text{ nm} = 0,0000000001 \text{ m}$



“PECES” PER LA FORMACIÓ DE MATERIALS



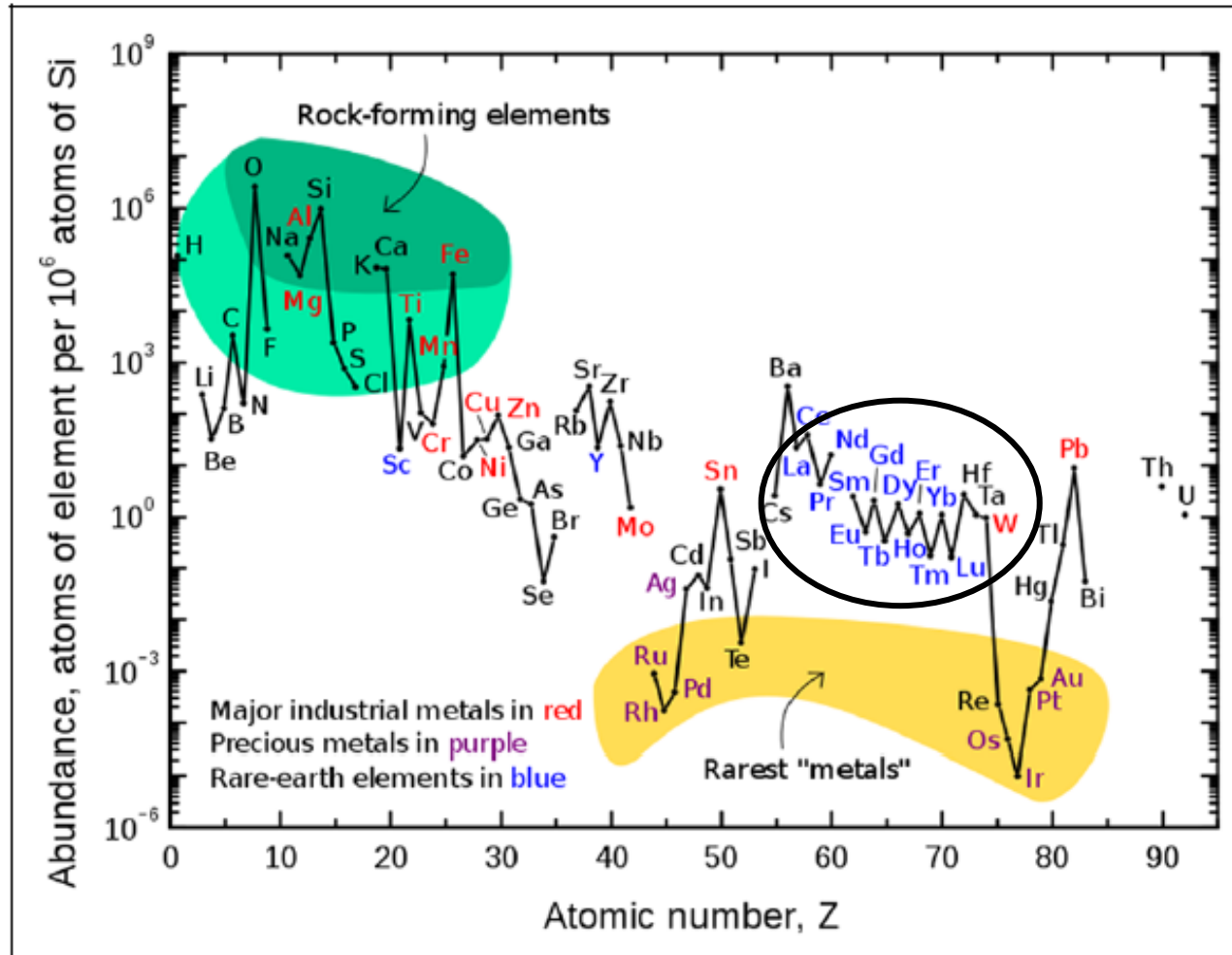
 **CMAB**  EXCELENCIA  
SEVERO  
OCHOA  
NCIA DE MATERIALES DE BARCELONA



## Cortesia G. Tobias

# Sostenibilitat dels elements atòmics

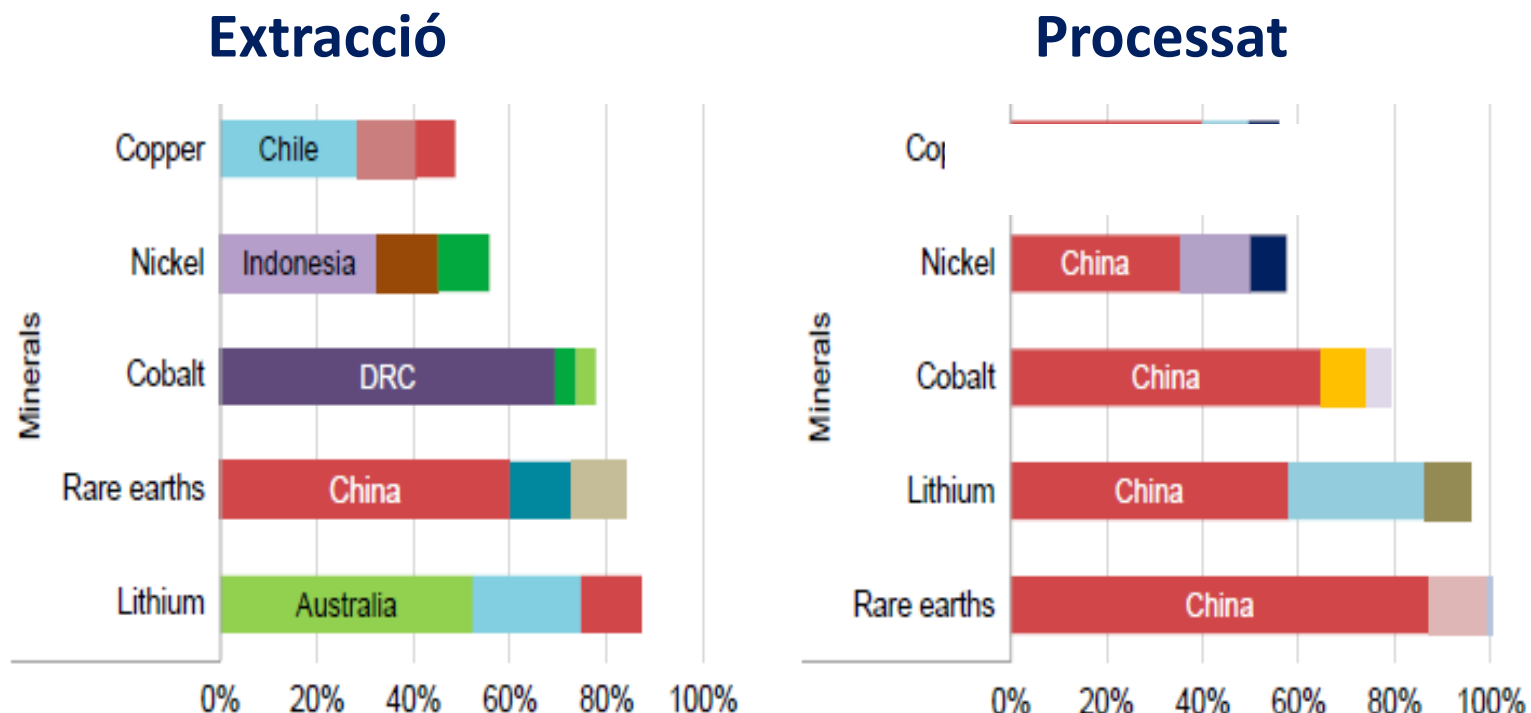
## Abundància dels elements a la Terra



- El regal que ens fa la Natura: minerals
- La mineria és costosa en generació de desordre i contaminació: cal minimitzar-la i fer-la sostenible!
- Els elements no es cremen! (reutilització, reciclatge, circularitat)
- Es necessiten uns 50 elements pels dispositius més comuns. Les Terres rares no són tan rares!

- Hi han elements abundants i elements escassos
- Cal actuar amb molta intel·ligència: usar els elements més abundants

# Elements crítics: distribució geogràfica



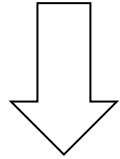
IEA. All rights reserved.

- Extracció minera és diversa però el processat es concentra a Xina
- Estratègia Xina : tota la cadena de valor els interessa
- Europa necessita seguretat estratègica. Desenvolupar reciclatge
- Nova geoestratègia: continent inexplorat (Àrtic), països no desenvolupats

# La fusió: la nostra font d'energia

**165,000 TW**

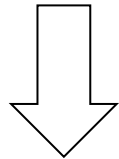
**De llum solar arriba a la Terra  
cada dia**



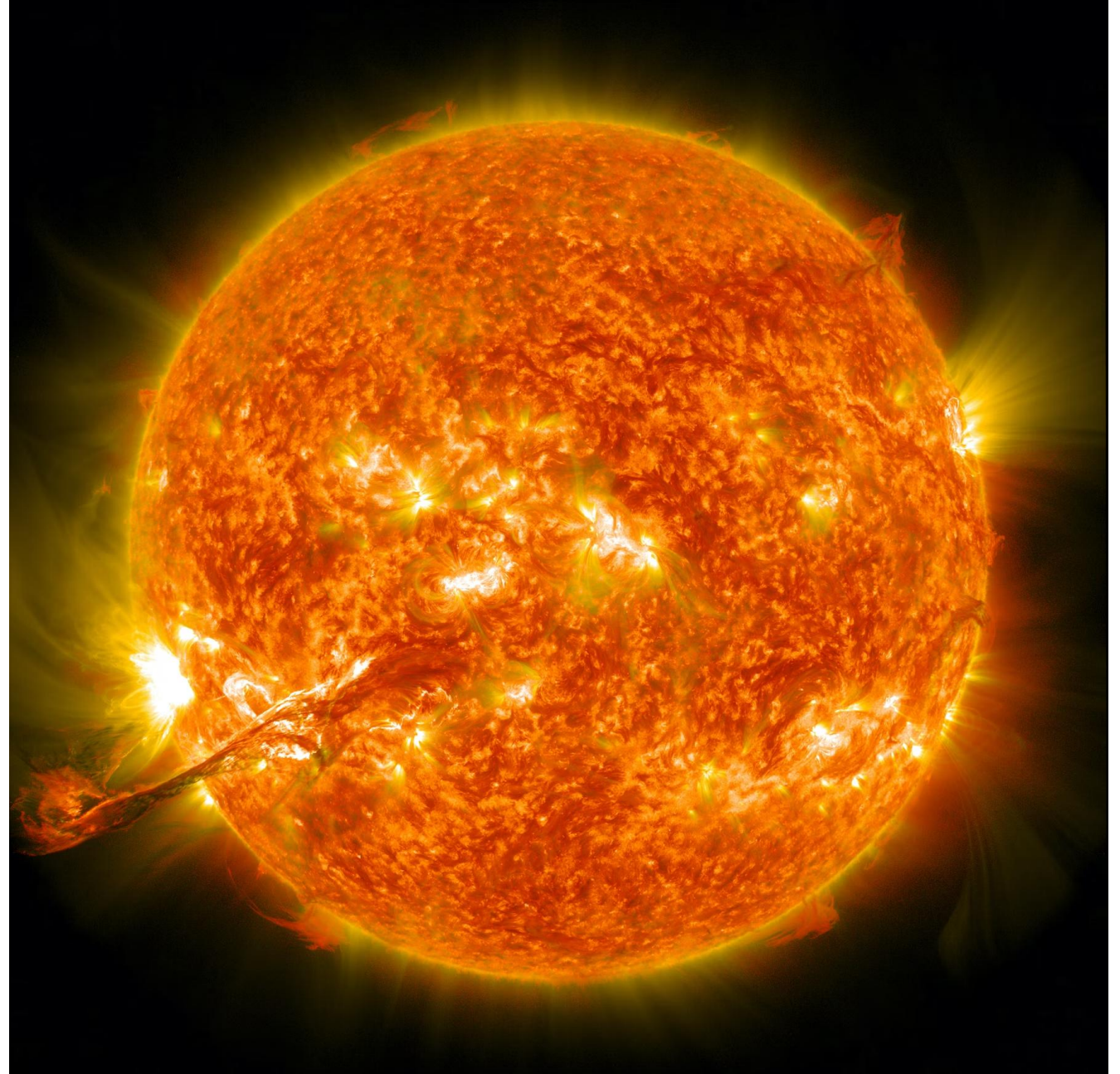
**Podem aconseguir 12 TW**

**De llum solar l'any 2050?**

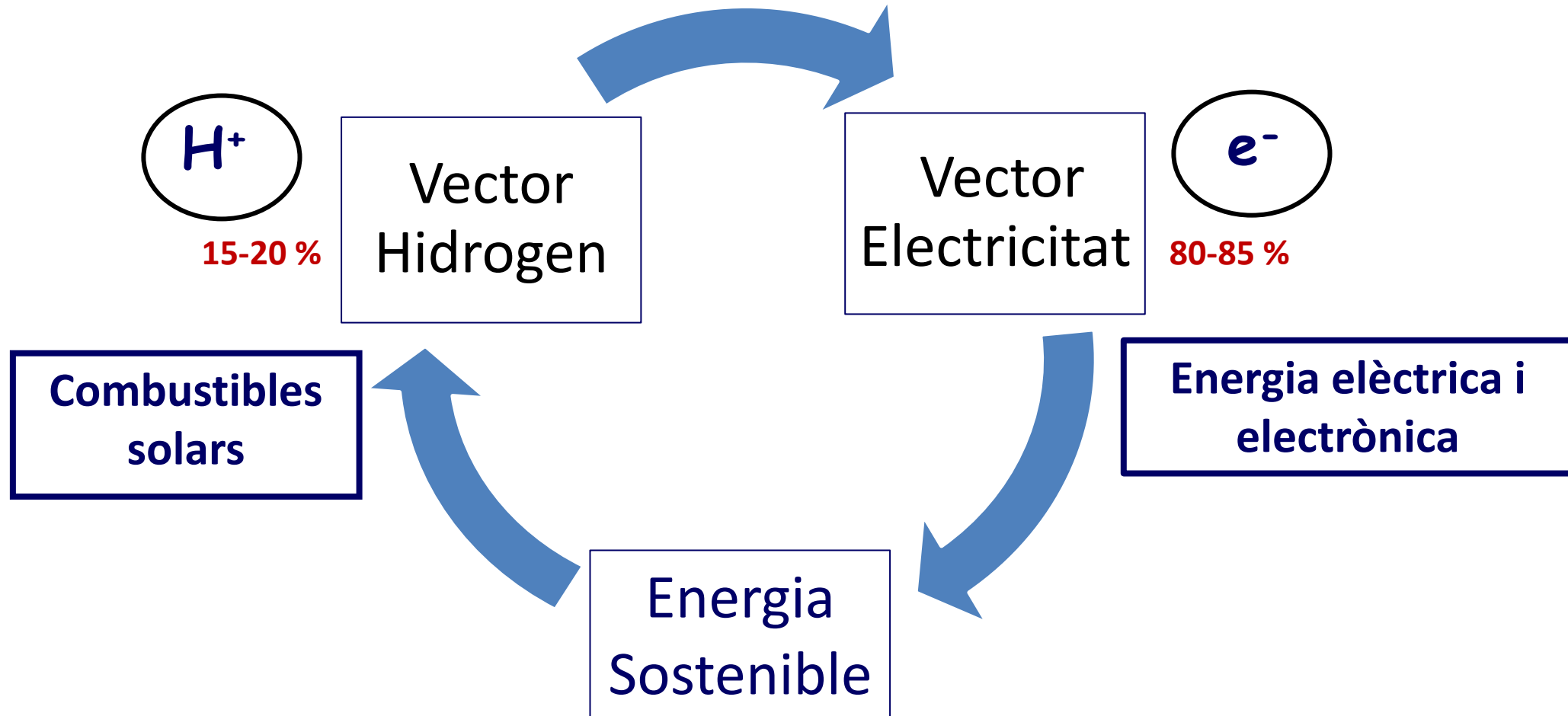
**(10% eficiència, 0.1% superfície)**



**1h llum solar = 1 any energia  
humanitat**



# Un nou paradigma energètic: electricitat i combustibles renovables combinats



**Electricitat esdevindrà el vector energètic dominant (80-85 % energia)**

**H<sub>2</sub> verd (amoniac) com a forma final minoritaria d'energia?: Baixa eficiència de l'electròlisis (40 % pèrdues)!**

# Primera generació de cel.les fotovoltaiques

Si: dominació del mercat mundial (Xina)

Autoconsum i grans parcs solars (terreny herm !)

Plans aigua: reducció evaporació i millora eficiència PV

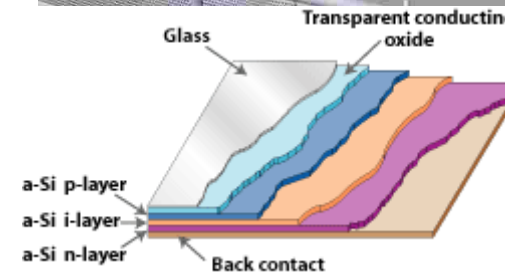
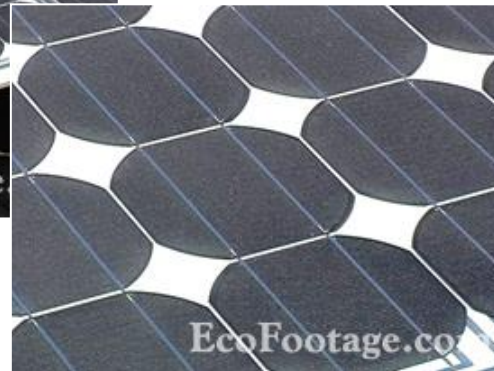
## 1<sup>a</sup> Generació: Silici

Tipus

Monocrystal.lí

Policristal.lí

Amorf



# Primera generació de cel.les fotovoltaïques

**Si: dominació del mercat mundial (Xina)**

**Autoconsum i grans parcs solars (terreny herm !)**

**Plans aigua: reducció evaporació i millora eficiència PV**



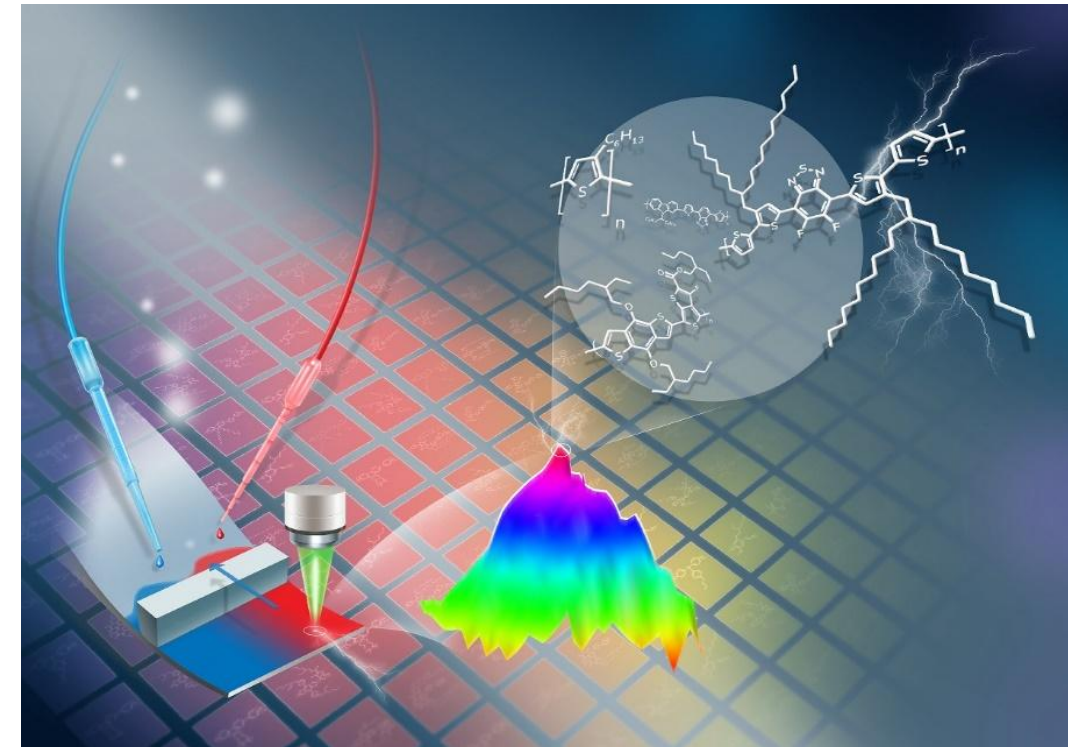
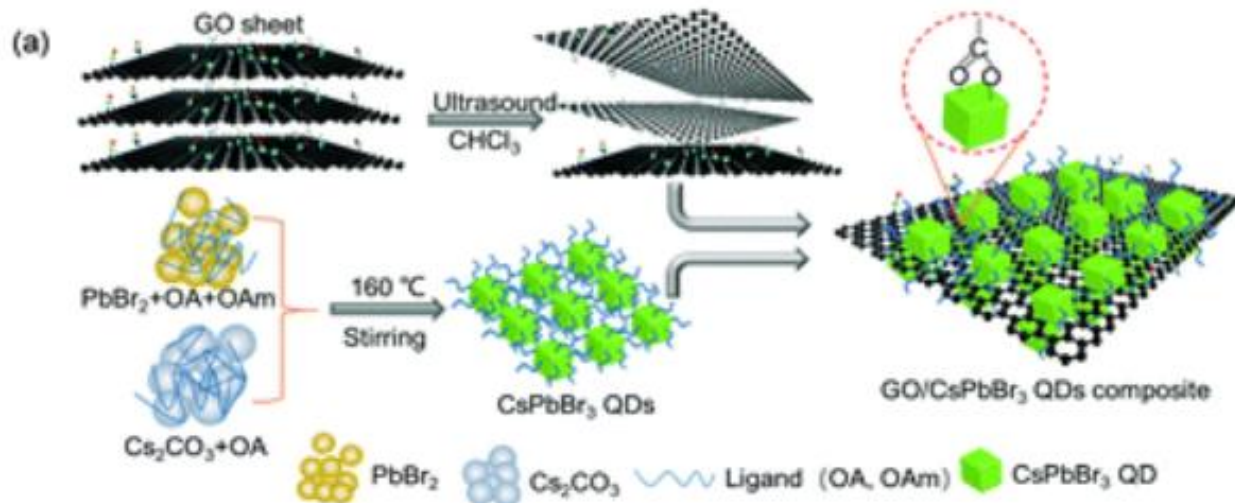
850 MW, Xina

# Generació fotovoltaica: de la 1<sup>a</sup> a la 3<sup>a</sup> generació



| Material          |                                         |
|-------------------|-----------------------------------------|
| Silici            | 1 <sup>a</sup> generació                |
| GaAs (III-V)      |                                         |
| CIGS / CZTS       | 2 <sup>a</sup> generació<br>(capa fina) |
| CdTe              |                                         |
| PbS (QD)          |                                         |
| MAPI (perovskita) | 3 <sup>a</sup> generació<br>(emergent)  |
| Orgànic           |                                         |

Producció a gran escala amb materials abundants (inorgànics o orgànics)  
Noves aplicacions

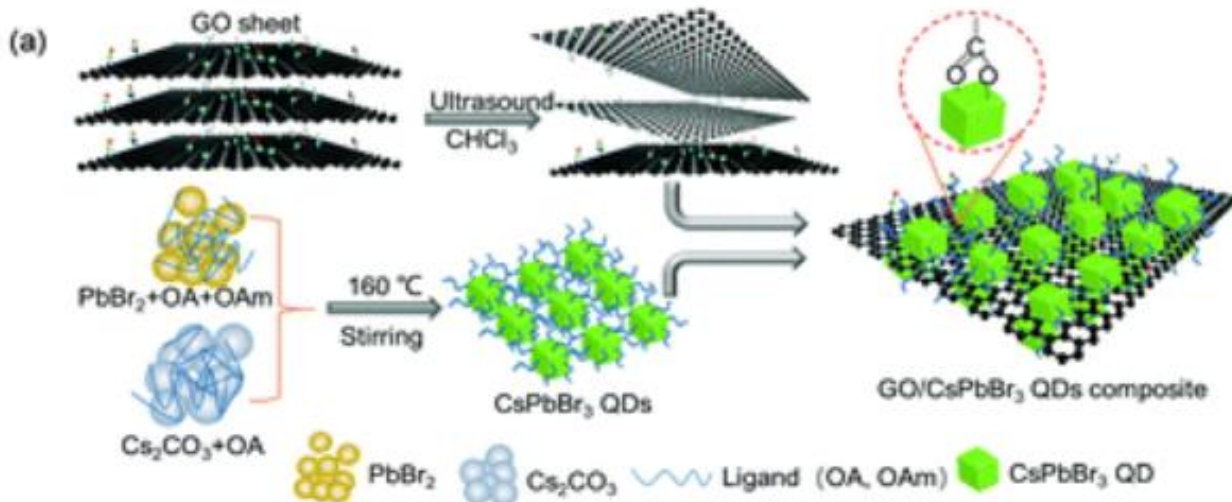


# Generació fotovoltaica: de la 1<sup>a</sup> a la 3<sup>a</sup> generació



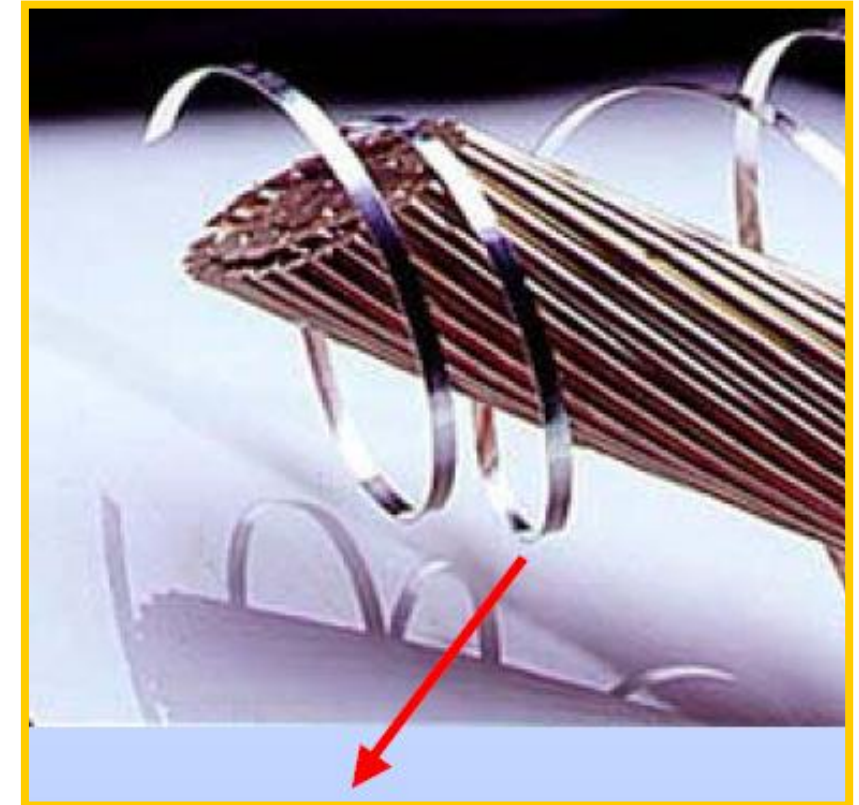
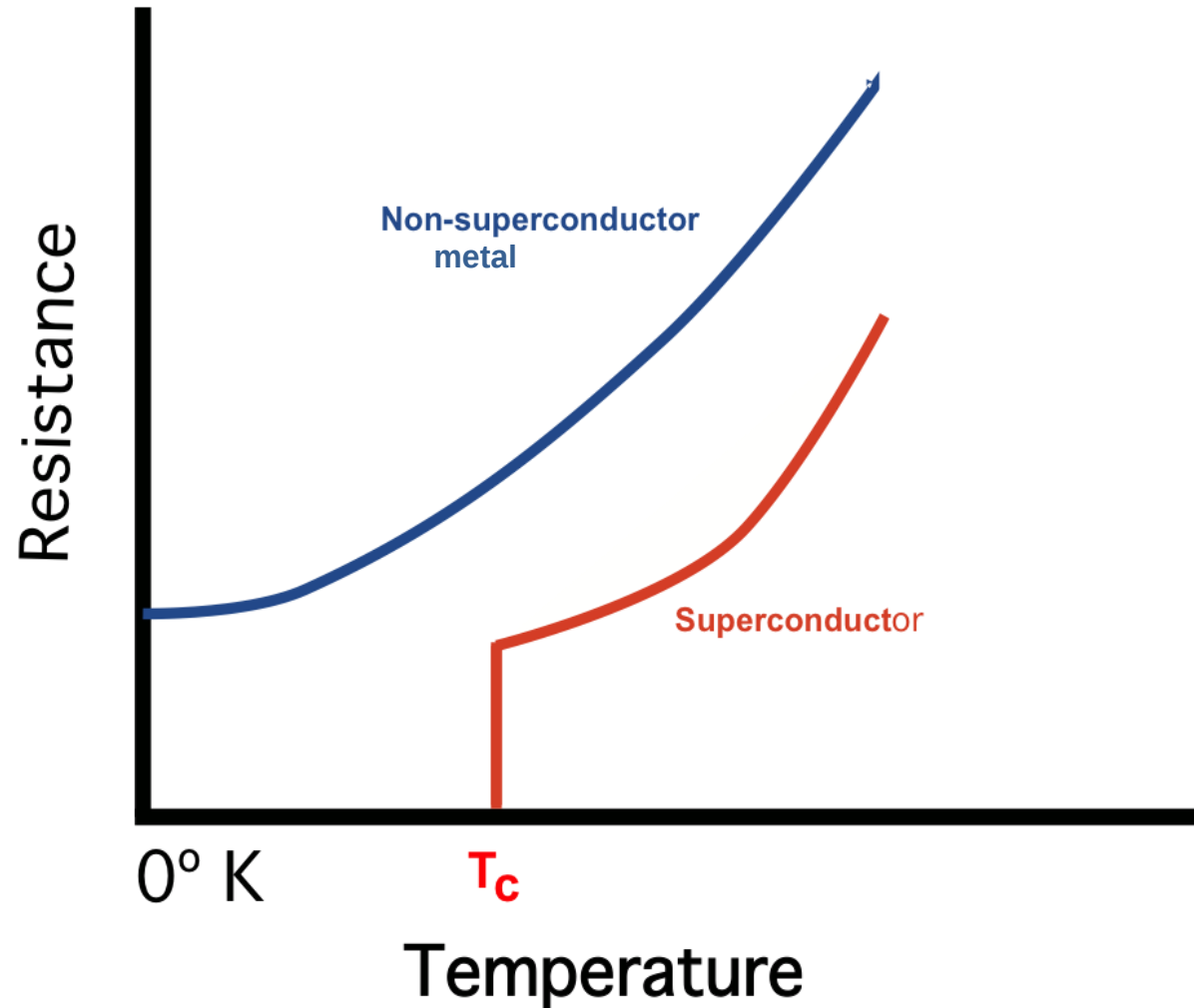
| Material          |                                         |
|-------------------|-----------------------------------------|
| Silici            | 1 <sup>a</sup> generació                |
| GaAs (III-V)      |                                         |
| CIGS / CZTS       | 2 <sup>a</sup> generació<br>(capa fina) |
| CdTe              |                                         |
| PbS (QD)          | 3 <sup>a</sup> generació<br>(emergent)  |
| MAPI (perovskita) |                                         |
| Orgànic           |                                         |

Producció a gran escala amb materials abundants (inorgànics o orgànics)  
Noves aplicacions



# Superconductivitat: l'eficiència d'un material quàntic

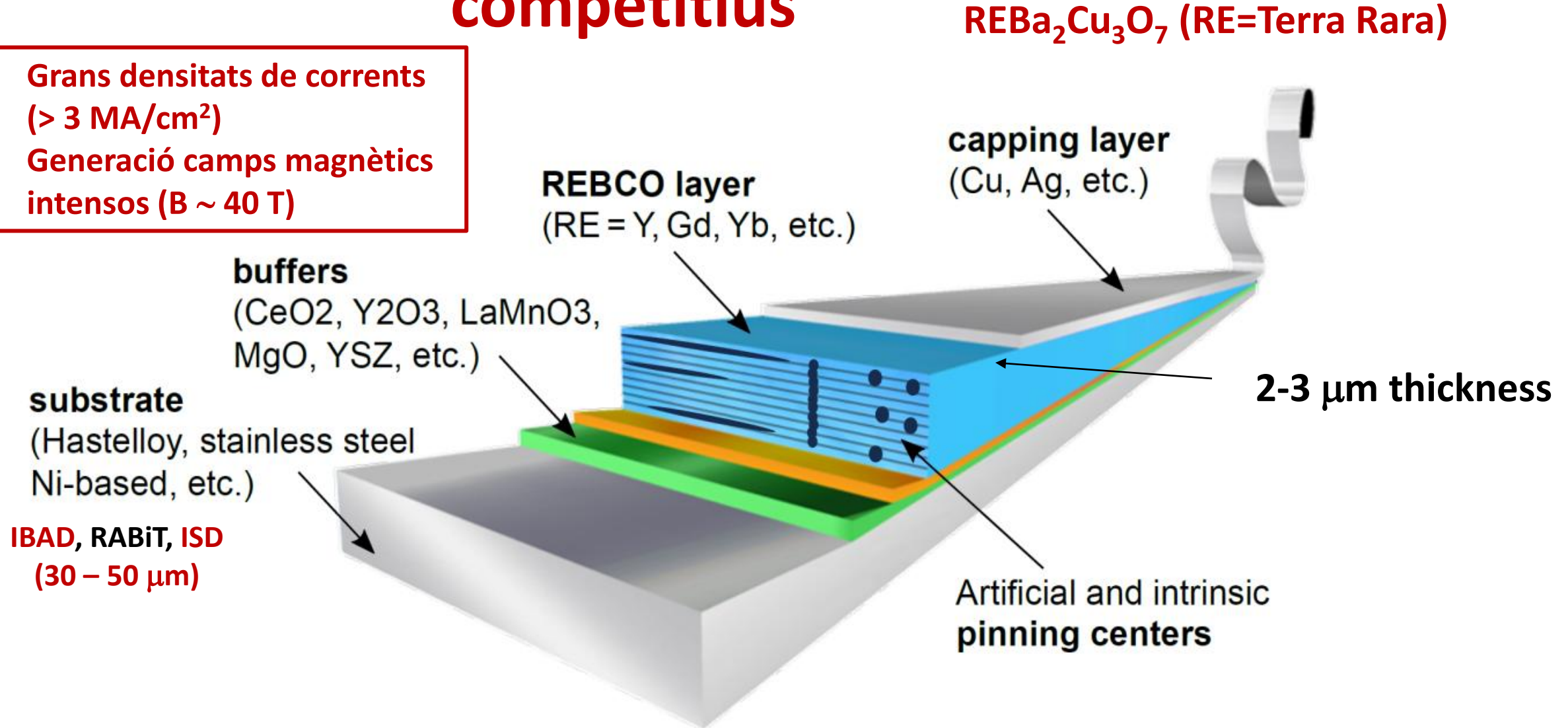
... amb 6 premis Nobel directes: 1913, 1972, 1973, 1987, 2003, 2025



Un material superconductor pot transportar grans corrents elèctrics sense pèrdues (x 100 vs Cu)

# “Coated Conductors”: els superconductors competitius

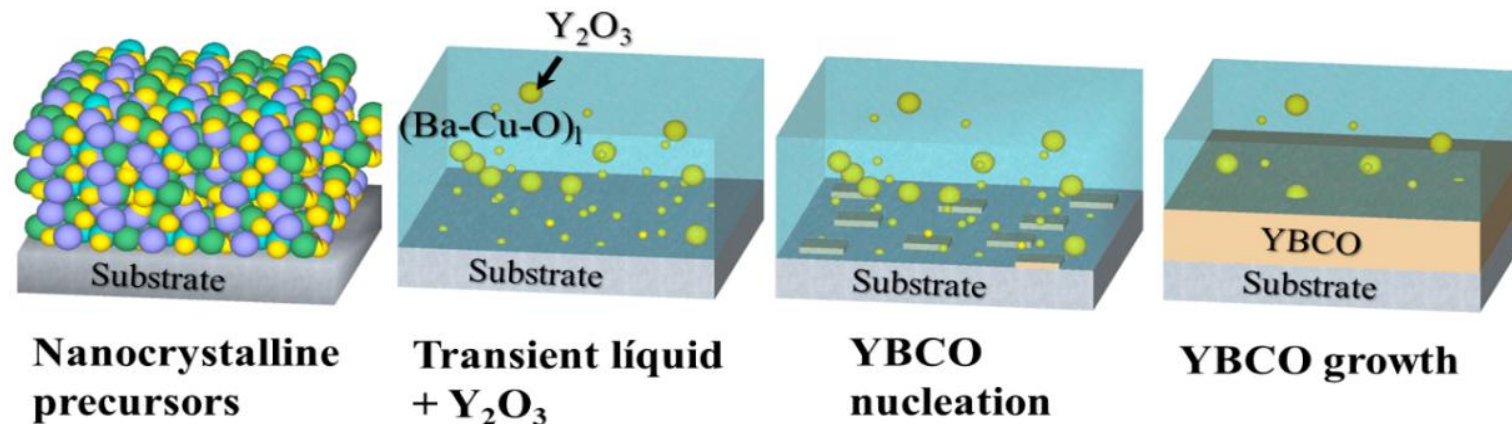
- Grans densitats de corrents ( $> 3 \text{ MA/cm}^2$ )
- Generació camps magnètics intensos ( $B \sim 40 \text{ T}$ )



Grans llargàries ( $> 1 \text{ km}$ ) i capes superconductors epitaxials i nanoestructurades ( $2\text{-}5 \text{ μm}$ ) sobre un substrat metàl·lic flexible ( $30\text{-}50 \text{ μm}$ )

# Metodologia baix cost ICMAB

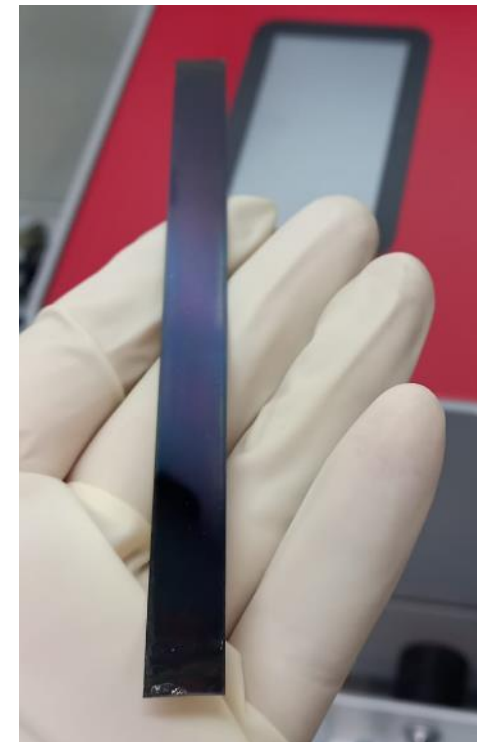
## Transient Liquid Assisted Growth (TLAG)



Creixement ultrarràpid mitjançant un líquid transitori  
Baix cost: química de solucions

- Alta difusió atòmica en líquids
- Creixement ultraràpid (millora x 100)
- Creixement en grans àrees
- Fabricació nanocompostos: alts camps magnètics
- Reducció figura de mèrit cost/prestació:  
comercialització en curs

**Coated Conductor**  
**Figura de mèrit**  
**cost/prestació**  
**€ / kA m**



*L. Soler et al., Nat Comm (2020)*  
*S. Rasi et al., Advanced Science (2022)*  
*Patent 2022*  
*T. Puig, X. Obradors, Nature Rev Physics (2023)*

# Manufactura Industrial

~ 10 companyies consolidades

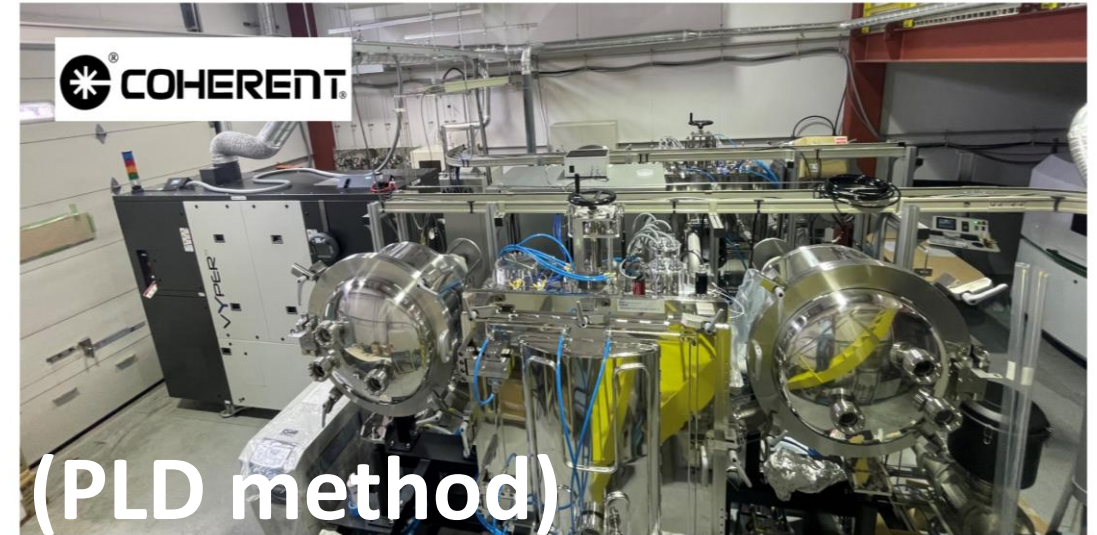


<https://www.youtube.com/watch?v=oP51LC16nok>

Next-gen production unit (600W laser + 2 chambers)



(RCE method)



(PLD method)



(CSD method)

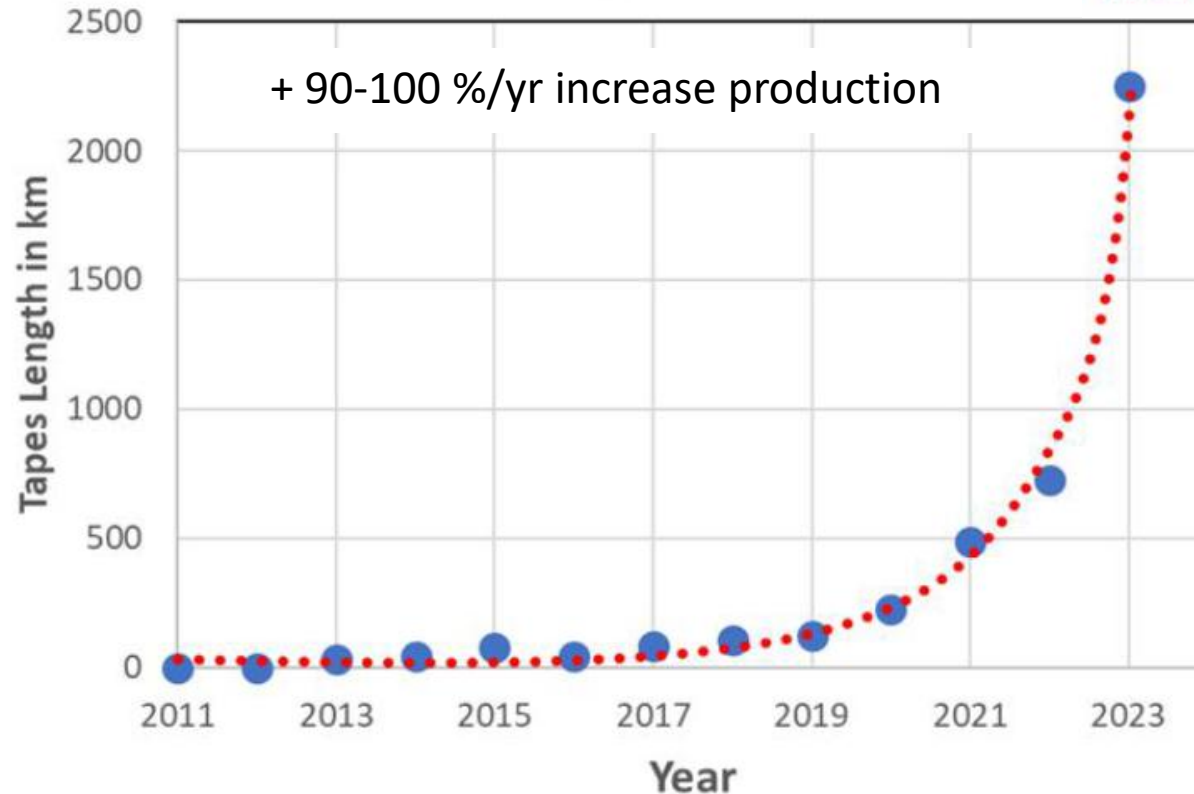


# Manufactura Industrial

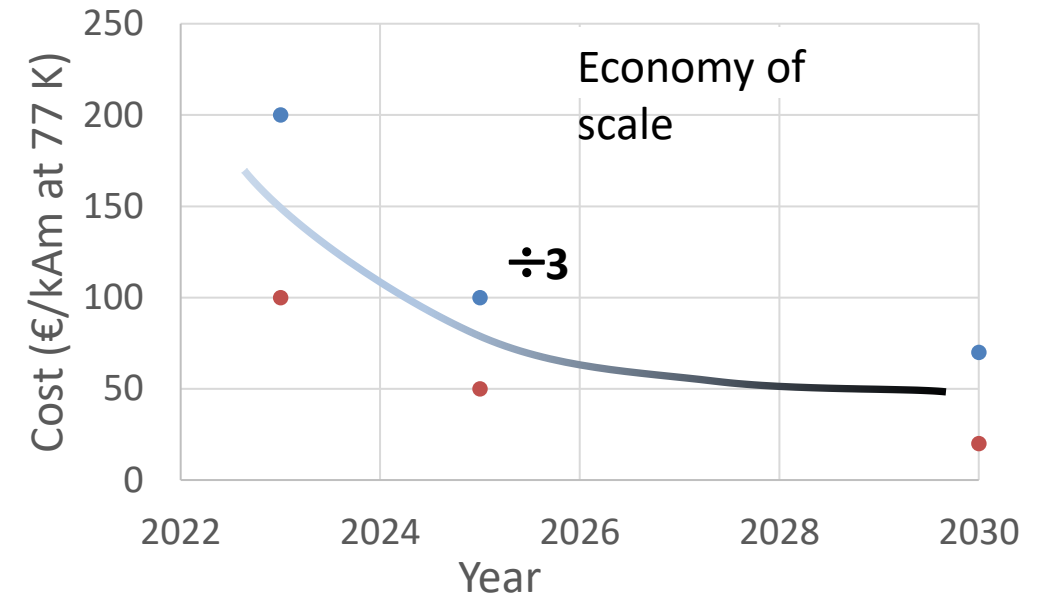
~ 10 companyies consolidades



## 4mm HTS Tape Production



<https://www.youtube.com/watch?v=oP51LC16nok>

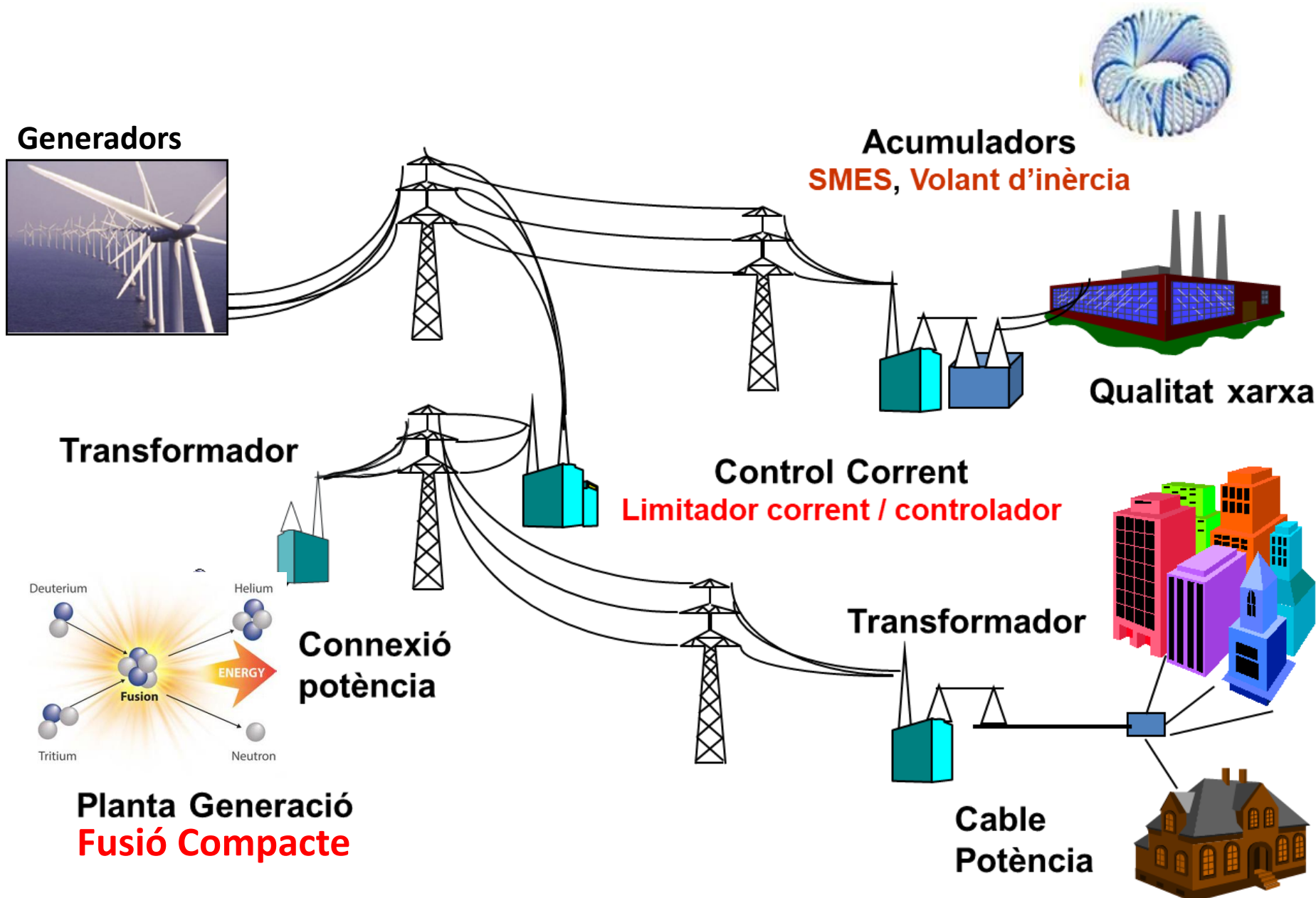


- Grans esforços i inversions per augmentar la producció anual: > 5.000 km/any actualment

**Figura de mèrit € / kA m**

**“Figura de mèrit de HTS atraparà LTS i Cu amb un augment de 10 en el volum de producció”**

# Superconductivitat: el segon segle de l'electricitat



**Transport**

**Aviació elèctrica**

**MAGLEV**



**Generació (fusió), eficiència, xarxa Intel·ligent, qualitat, sostenible, menys materials crítics**

# FUSIÓ: energia elèctrica neta ilimitada?

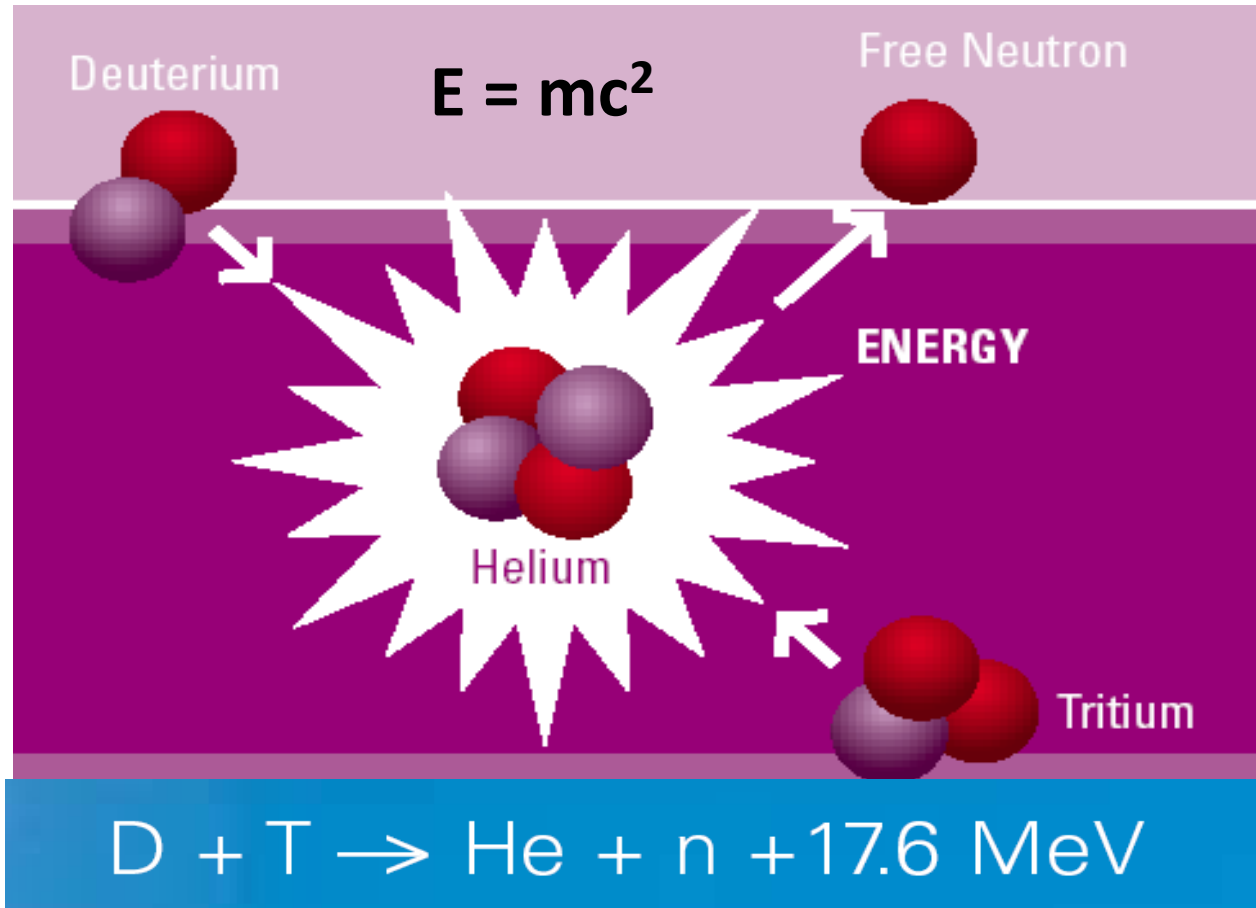
= 1 l aigua (D)

= 250 l petroli

= 300 Kg Carbó

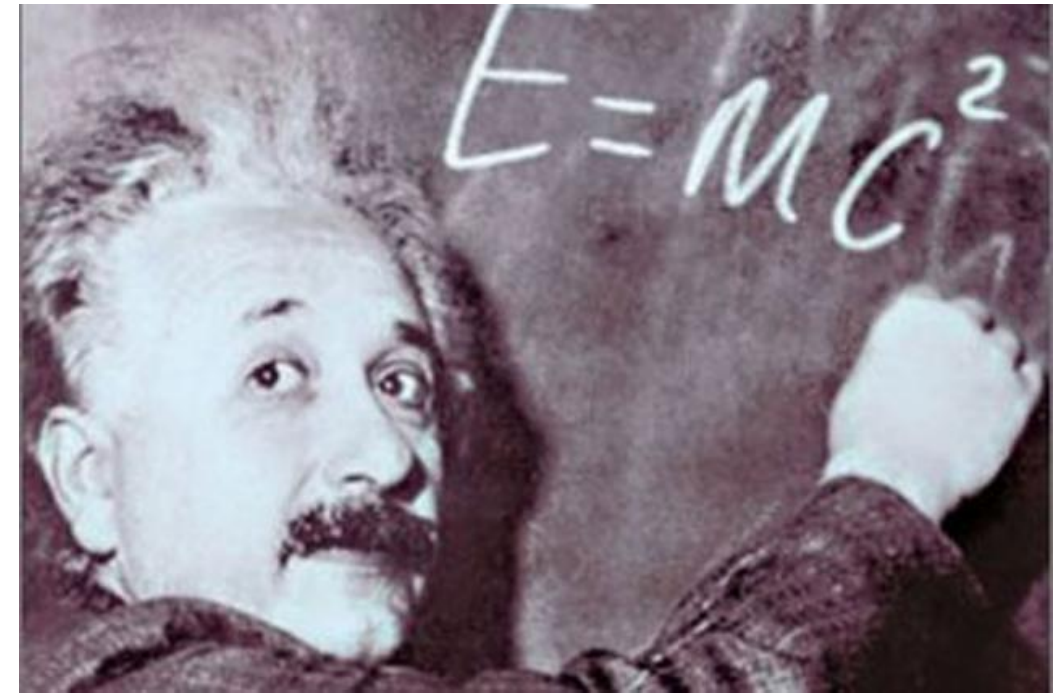
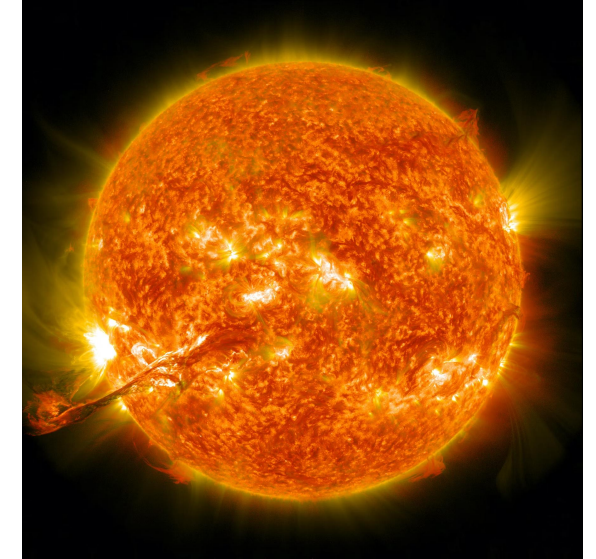
## ITER reactor (2005-2025)

- 800 m<sup>3</sup> ampolla magnètica (tokamak)
- 500 MW<sub>th</sub>
- 150 milions °C



~ 52.000 km/s

Energia estels



## The prospects of high-temperature superconductors

Overcoming cost barriers could make high-temperature superconductors pervasive

By Alexander Molodyk<sup>1</sup> and  
David C. Larbalestier<sup>2</sup>

Science 380, 1220 (2023)

“...the present outlook for high-temperature superconductor materials and their industrial applications is historic...”

araciència

DISSABTE, 5 D'AGOST DEL 2023 ara

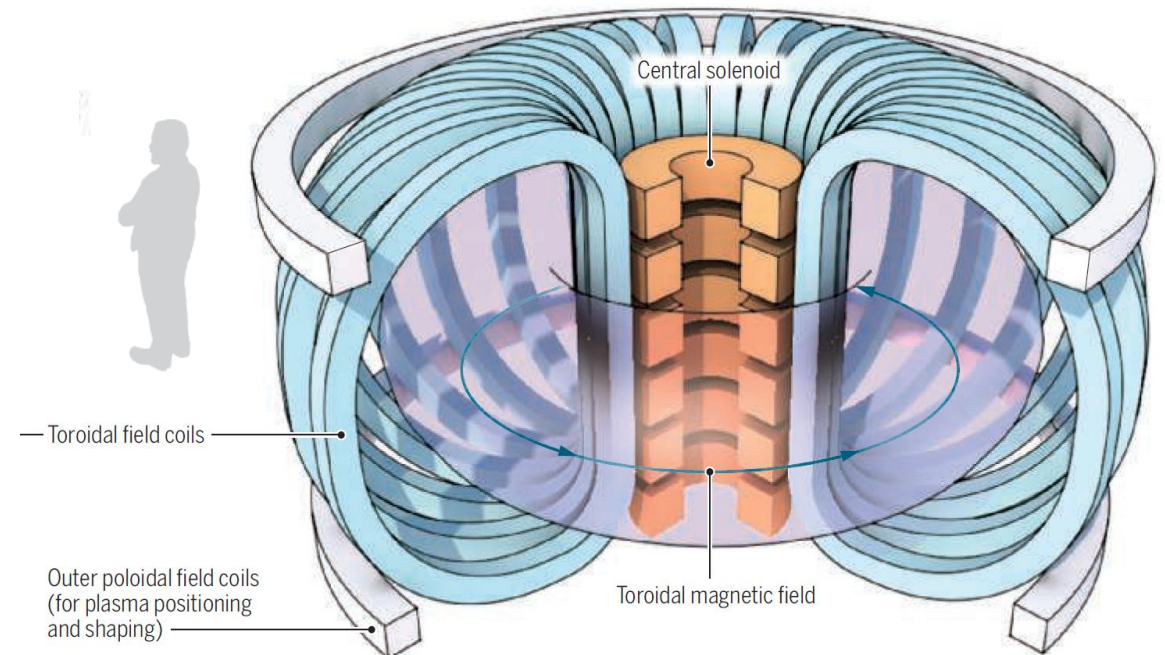
X. Obradors, T. Puig

“Fusió nuclear: utopia o realitat? (2023)”

## FUSIÓ COMPACTE

20.000 km cinta HTS  
(18 bobines toroidals)

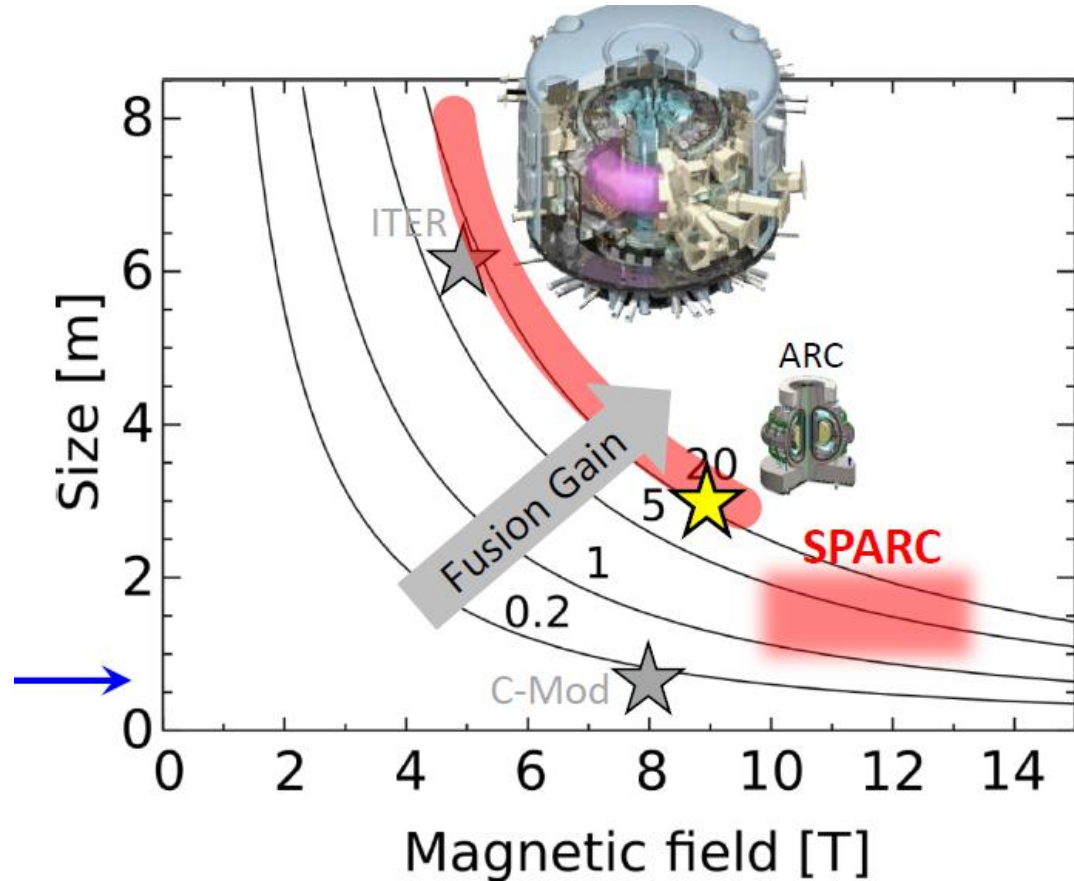
Força motriu indústria superconductors



# Fusió compacte amb imants ultraintensos

SPARC: Smallest Possible Affordable, Robust, Compact

Una tecnologia disruptiva amb els superconductors alta temperatura



Disseny reactors  
>500 MW

THE  
NEW YORKER

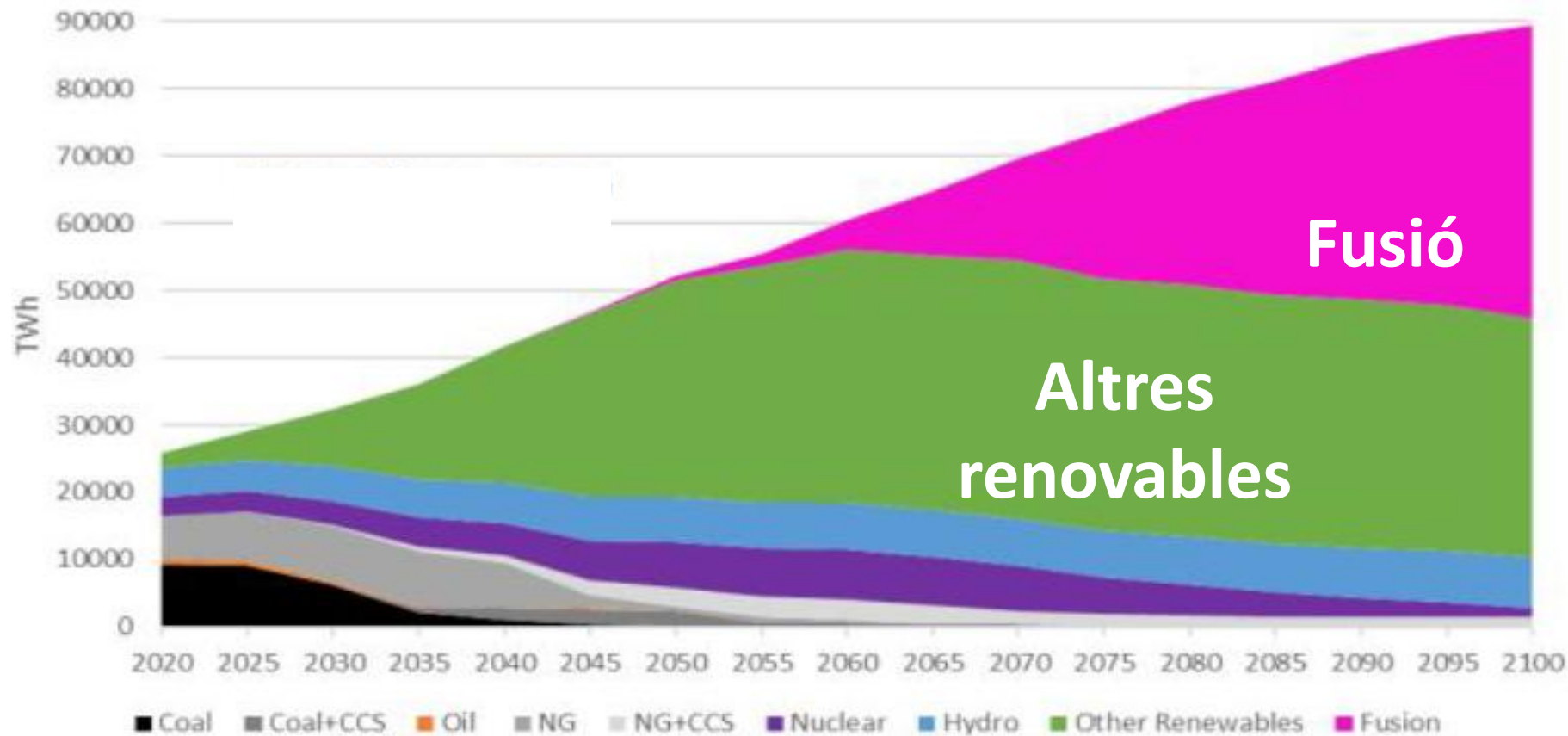
ANNALS OF SCIENCE OCTOBER 11, 2021 ISSUE

CAN NUCLEAR FUSION  
PUT THE BRAKES ON  
CLIMATE CHANGE?

<https://news.mit.edu/2021/MIT-CFS-major-advance-toward-fusion-energy-0908>

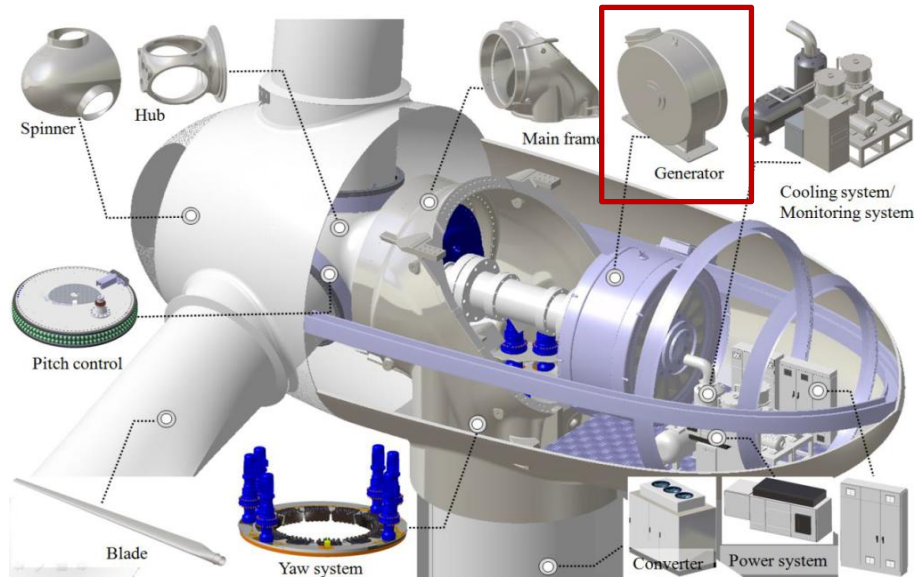
- Camps magnètics ultra-intensos amb HTS: 20 T (x 400.000 camp magnètic terrestre)
- Volum tokamak molt més petit ; gran estalvi construcció i funcionament
- Temperatures refrigeració superiors: reducció costos funcionament

# Producció d'electricitat amb reactors de fusió



- Reactors segurs i sense residus radioactius (> 500 MW)
- Substitució centrals nuclears (~20 %): generació continua electricitat i calor
- Reactors 100 vegades menys de terreny que la fotovoltaica
- Nombroses noves empreses (> 40) de la indústria de la fusió: ja no és una utopia!
- Primers reactors fusió compacte esperats pel 2030 + milers pel 2050

# Generadors eòlics superconductors



**Més eficiència**  
**Menys pes (- 70-80 %)**  
**Menys material (-70 % Cu)**  
**No RE dels imants permanents**  
**Elevada fiabilitat**  
**Off-shore!**



10-15 MW, voltatge mitjà i generador directe (no reductor)

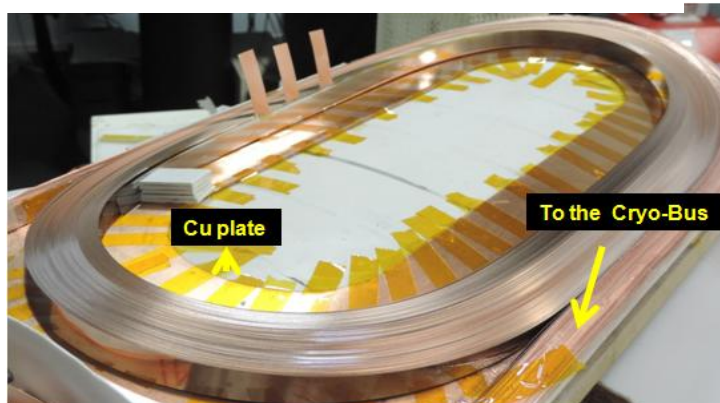


Gamesa



**ICMAB** EXCELENCIA SEVERO OCHOA  
INSTITUT DE CIÈNCIA DE MATERIALS DE BARCELONA

**Estàtor HTS per generador de 2 MW**

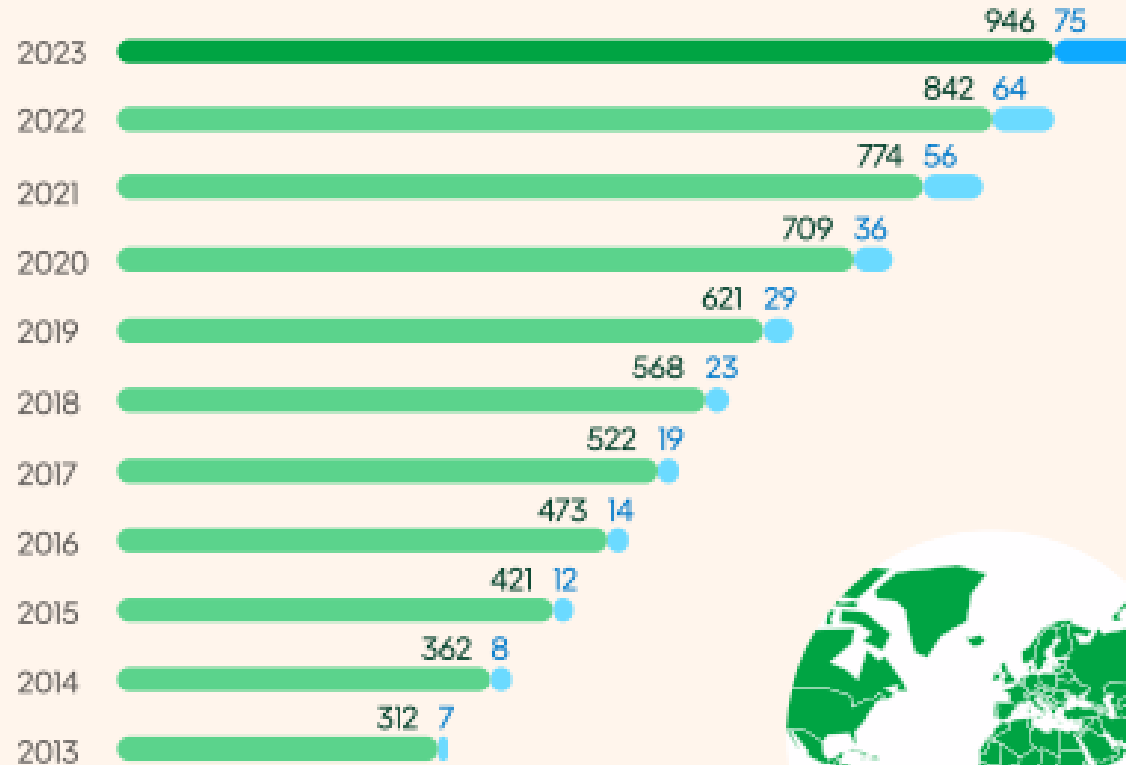


Patent PCT/EP2016/058934



# Generadors eòlics superconductors

## En el mundo



**906 GW** capacidad eólica instalada en el mundo

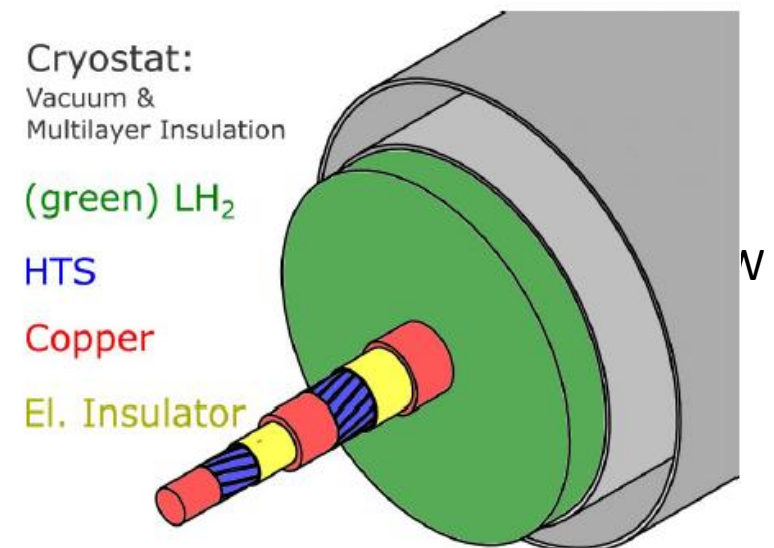
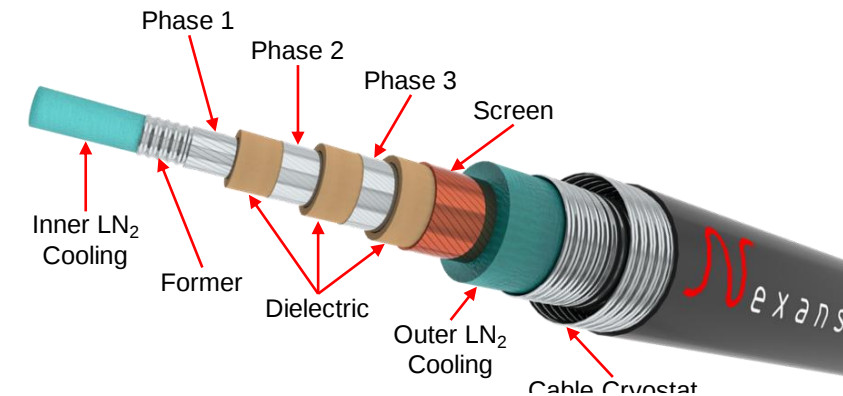
Fuente: Global Wind Energy Council, Global Wind Report 2023



Creixement continuat dels  
generadors eòlics off-shore: una  
gran oportunitat

# Xarxes elèctriques intel·ligents: Cables superconductors

- Integració d'energia elèctrica renovable ben protegida i estable
- Augment de potència (x 5). Molt útil a zones urbanes
- Les xarxes MAT no tenen acceptació social. Cables enterrats i sense pèrdues (DC)!
- Sense pol·lució electromagnètica, reducció impacte mediambiental
- Instal·lació a túnels o ponts preexistents
- Reducció d'ús d'elements crítics: - 85 % Cu.
- Xarxes híbrides (Combustible  $LH_2$  + HTS electricitat / 25 K). Projecte TransHyde (Alemanya): Mar del Nord – Hamburg, 75 km,  $4\text{ Gw}_e + 1\text{ GW}_H$ .



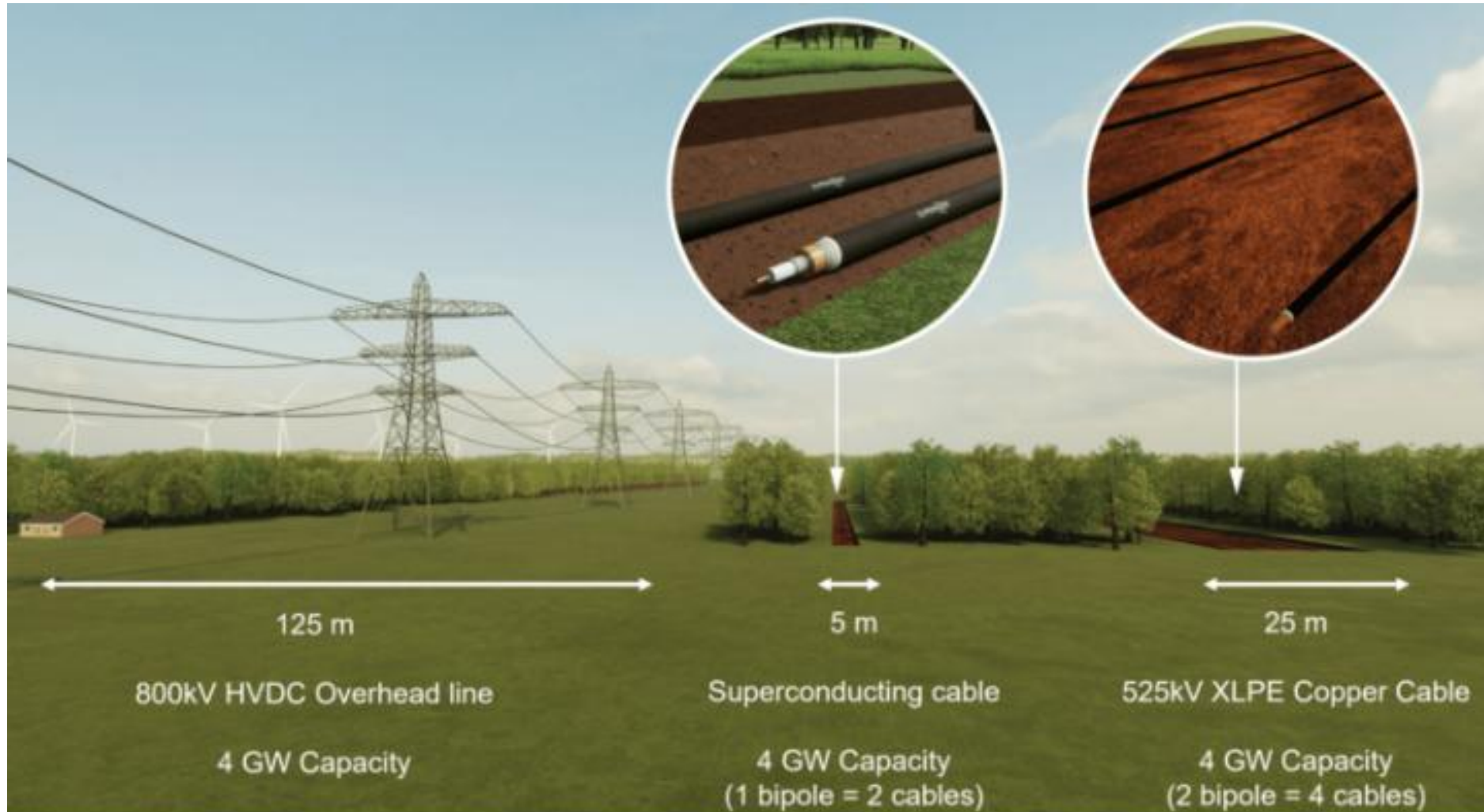
# Xarxes elèctriques intel·ligents: Cables superconductors

- Integració d'energia elèctrica renovable ben protegida i estable
- Augment de potència (x 5). Molt útil a zones urbanes
- Les xarxes MAT no tenen acceptació social. **Cables enterrats i sense pèrdues (DC)!**
- Sense pol·lució electromagnètica, reducció **impacte mediambiental**
- Instal·lació a túnels o ponts **preexistents**
- Reducció d'ús **d'elements crítics**: - 85 % Cu.
- **Xarxes híbrides** (Combustible  $\text{LH}_2$  + HTS electricitat / 25 K). Projecte TransHyde (Alemanya): Mar del Nord – Hamburg, 75 km,  $4 \text{ Gw}_e + 1 \text{ GW}_H$ .



**HTS cable 24kV-3200 A (Nexans). 2012**  
 Premi ENDESA – Novare a ICMAB

# Cables superconductors HVDC per llargues distàncies



- **Algún dia el transport elèctric aeri serà cosa del passat!**
- **Adaptat a túnels preexistents**

- **El més baix impacte mediambiental: acceptació social**
- **Afectació mínima del terreny: reducció costos, acceleració permisos, menys drets de pas**
- **Estalvi materials crítics. Cu:  $\div 8$  (2 GW) ,  $\div 22$  (6 GW). Augment sostenibilitat!**



- Algún dia el transport elèctric aeri serà cosa del passat!
- Adaptat a túnels preexistents
- MAT Pirineus? (8,5 km, 1,4 Gw)
- MAT Aragó – CAT ?
- Vall d'hidrogen ?
- El més baix impacte mediambiental: acceptació social
- Afectació mínima del terreny: reducció costos, acceleració permisos, menys drets de pas
- Estalvi materials crítics. Cu: ÷8 (2 GW) , ÷ 22 (6 GW). Augment sostenibilitat!

# Projecte SUPERNODE: distribució elèctrica Europea

Conexió segura autopistes elèctriques amb cables superconductors (0,9 b€/cost; 30 anys; 3 anys fòssils) ?

**SUPERNODE™**  
Connecting the Future



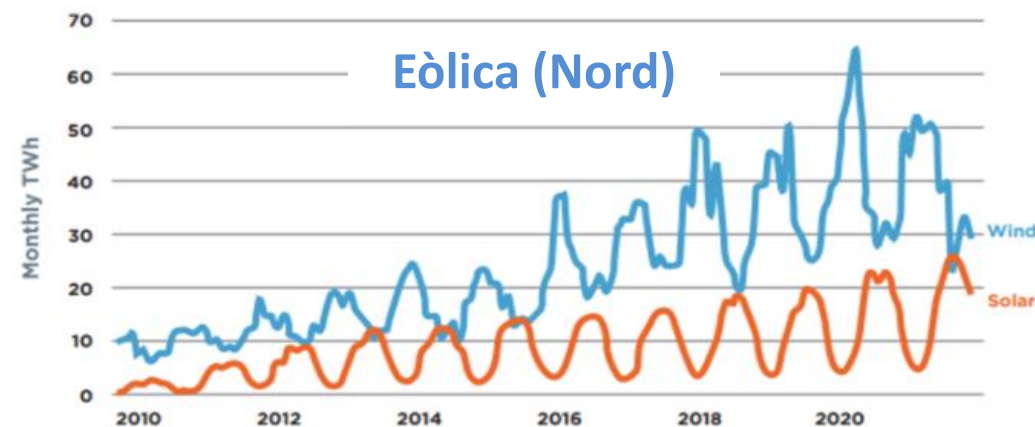
## Xarxa elèctrica Europa

> 670 GW

> 400 millions clients

- 27 països

- Xarxa més extensa del món: > 1.3 M km transmissió + > 10 M km distribució



Source: International Energy Agency  
O'Connor (2023) Supergird - Supersolution

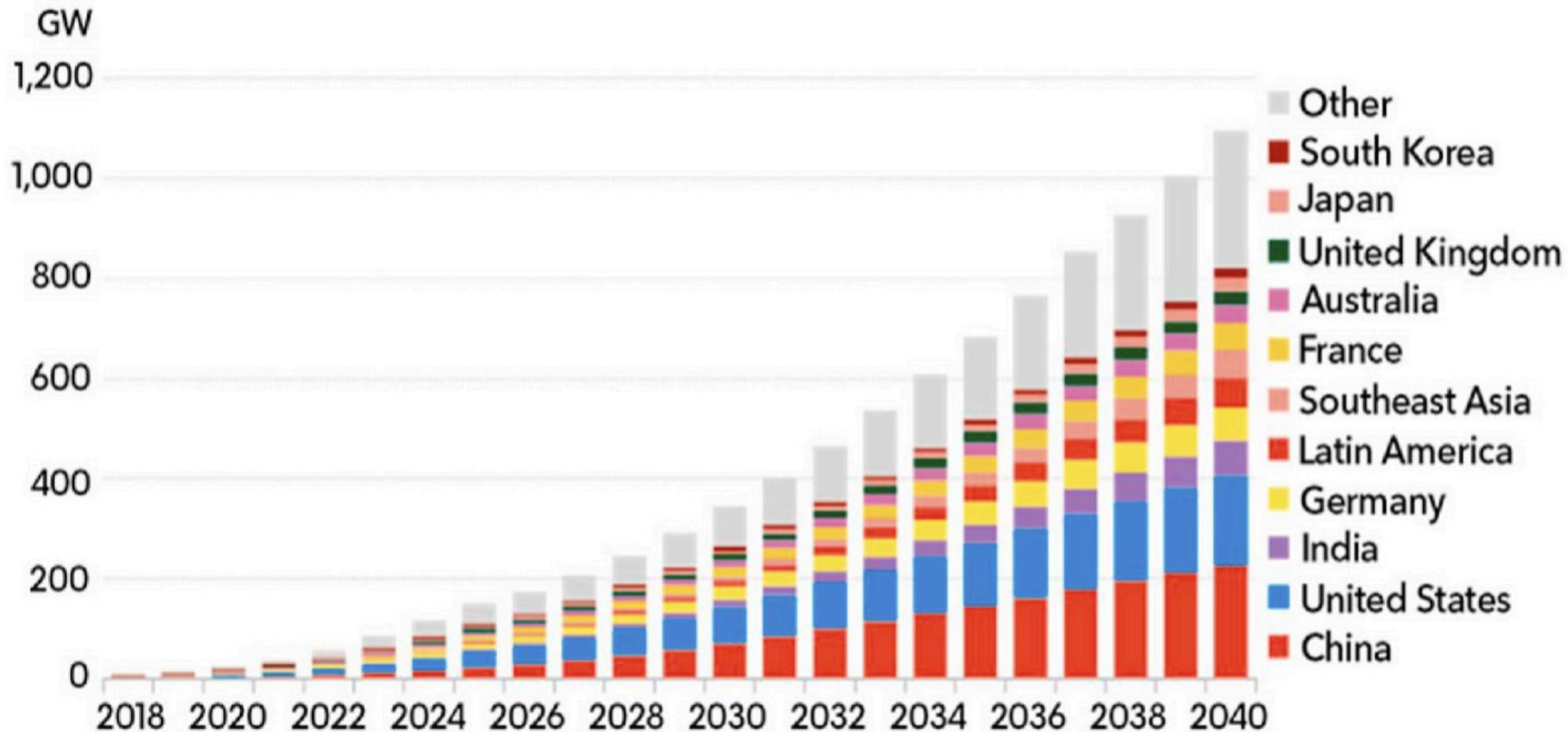
**Fotovoltaica (Sud)**

Complementarietat fonts: minimització intermitència  
Oferta renovable generada lluny dels usuaris

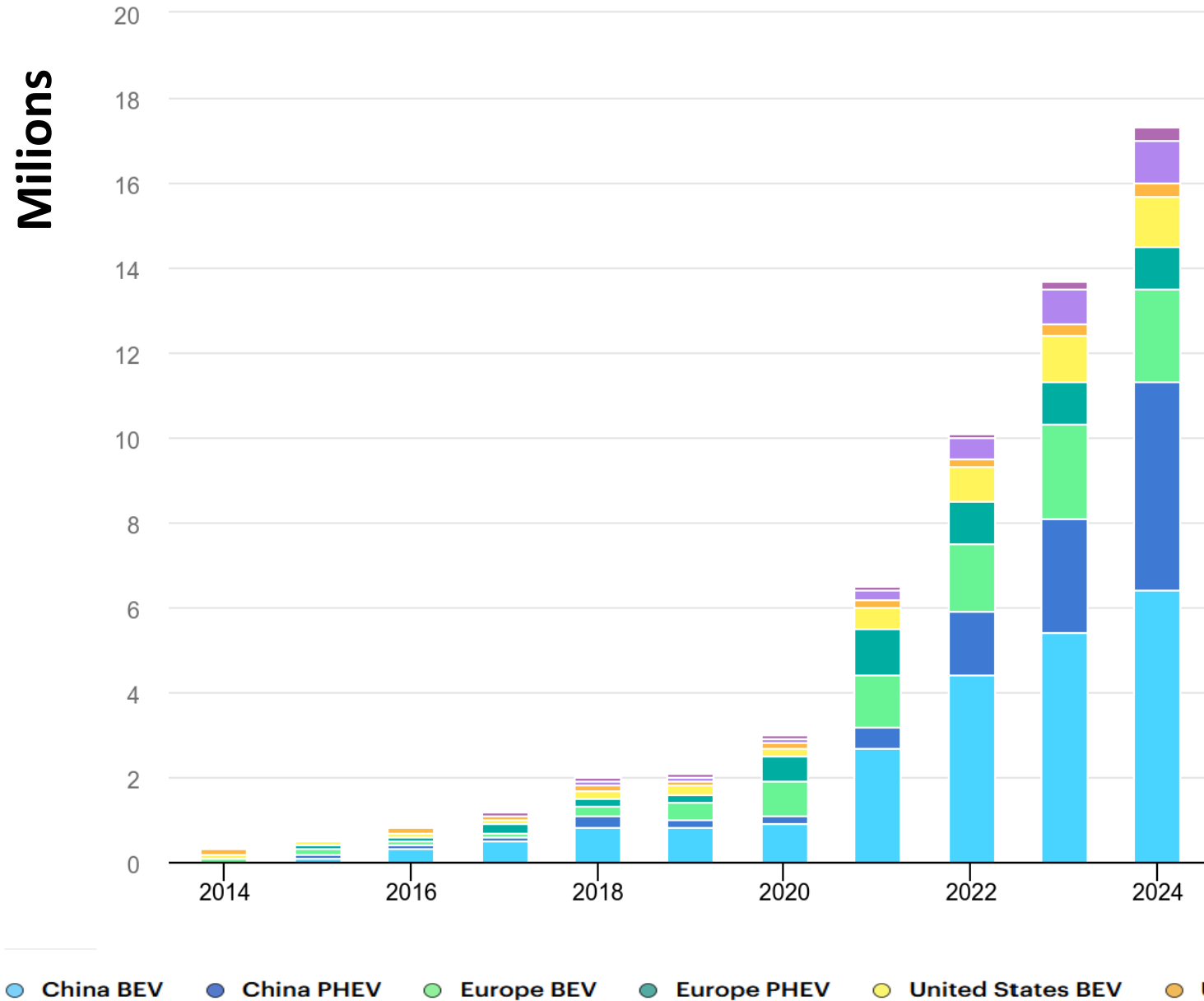
# Emmagatzematge d'energia elèctrica: evolució

- Energia renovable: continuïtat i estabilitat
- Vehicles elèctrics

X 60 en 20 anys!

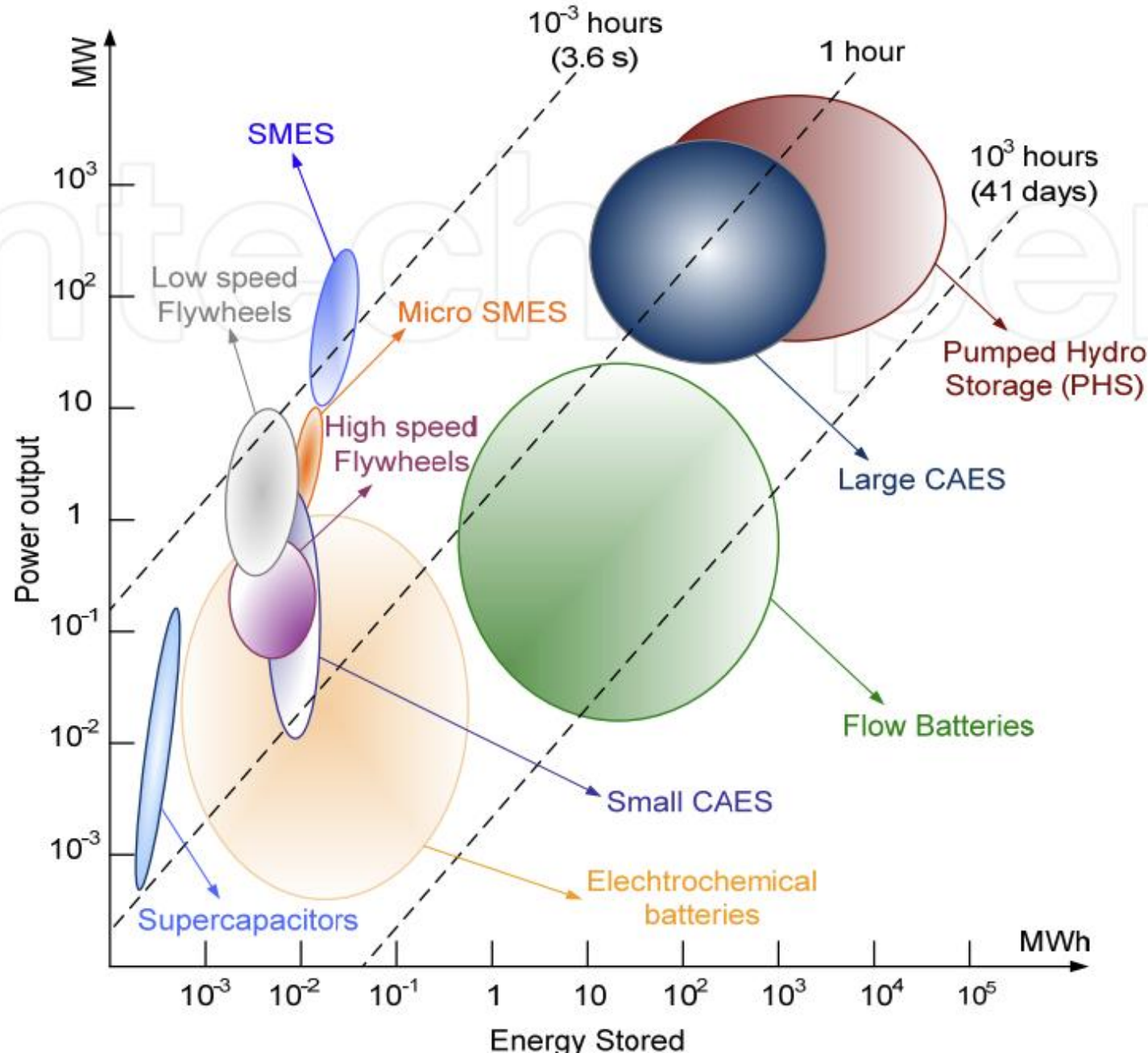


# L'era del vehicle elèctric



- Uns 17 milions de vehicles elèctrics/any
- Xina domina el mercat mundial (~ 65 %)
- Alguns països ja tenen > 30 % de vehicles elèctrics
- Tots els segments (patinets, bicicletes, motos, cotxes, autobusos, avions) en creixement
- Motor combustió: aviat serà el passat!

# Emmagatzematge d'energia elèctrica

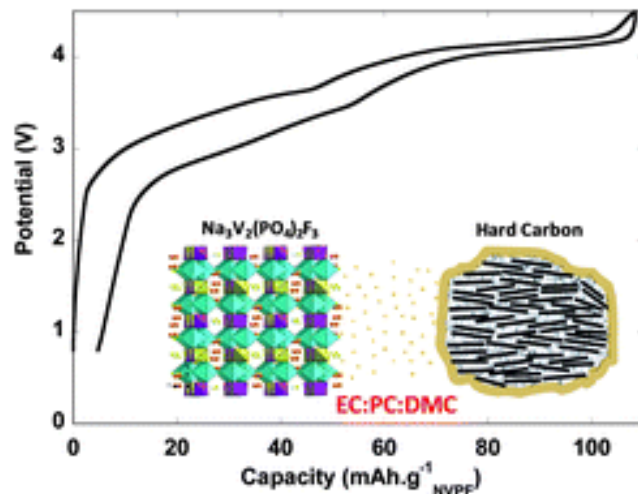
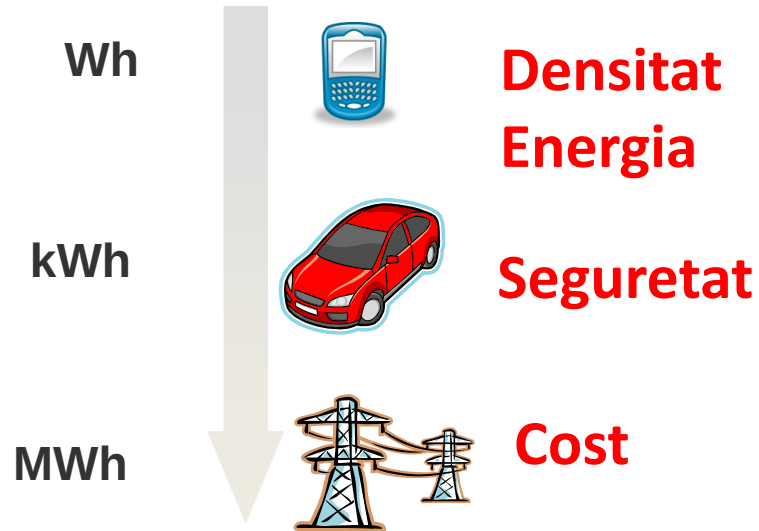


## Múltiples vies

- Energia mecànica
- Energia electroquímica
- Energia elèctrica
- Energia química (combustibles)
- Energia electromagnètica

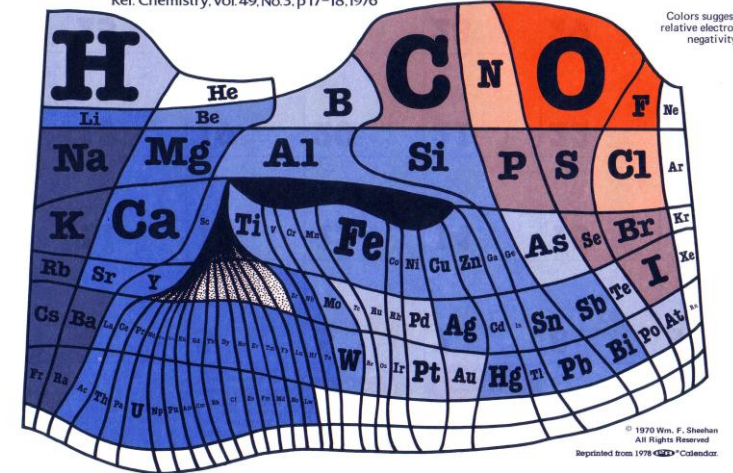
# Emmagatzematge d'energia elèctrica: bateries

Forta Demanda



## The Elements According to Relative Abundance

A Periodic Chart by Prof. Wm. F. Sheehan, University of Santa Clara, CA 95053  
Ref. Chemistry, Vol. 49, No. 3, p 17-18, 1976



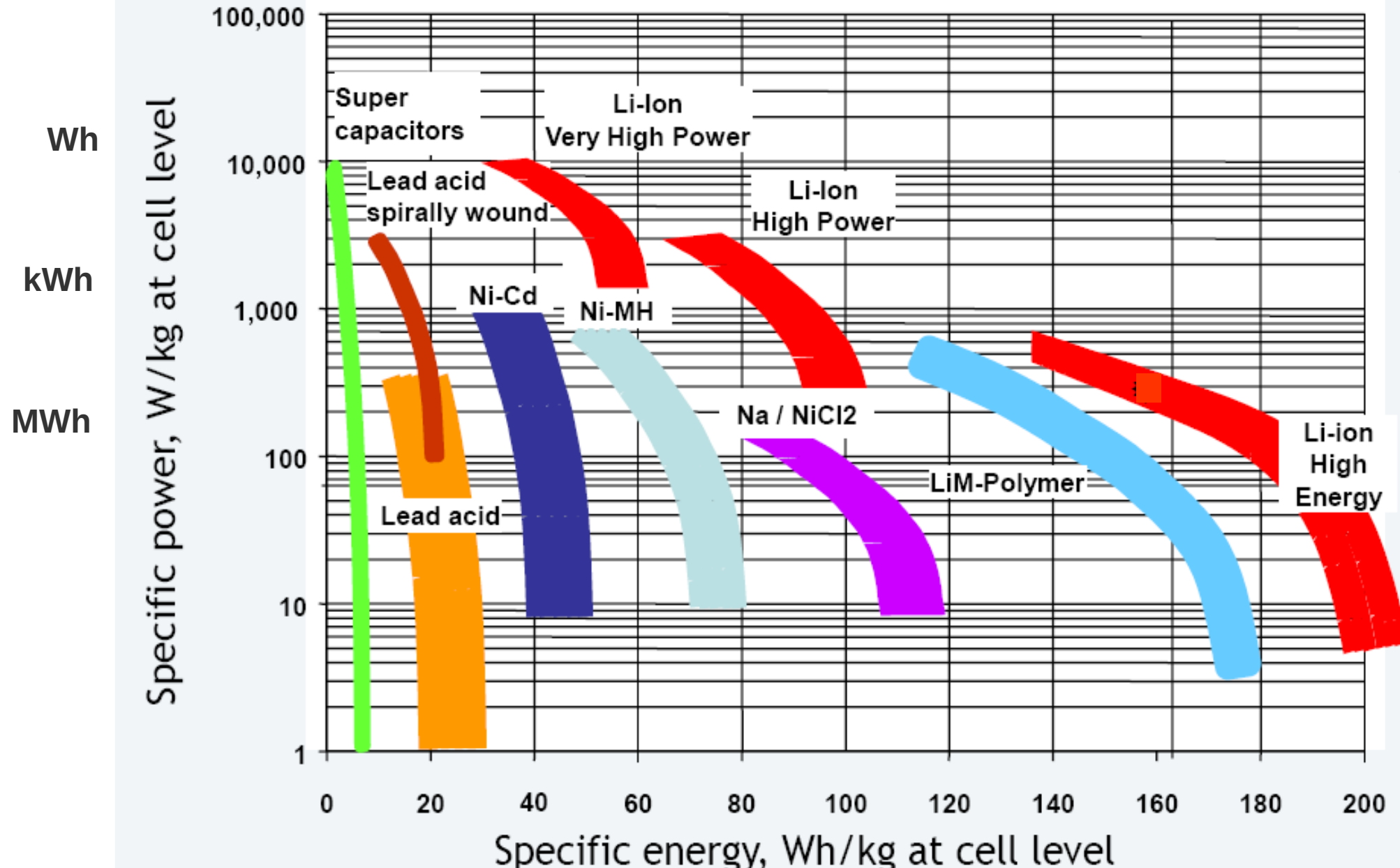
- fonts “ilimitades” (23600 ppm escorça terrestre / 10800 ppm aigua mar comparat amb 20 ppm/ 0.18 ppm pel liti)
- baix cost (0.11 \$/Kg per Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> comparat amb 3.45 \$/kg per Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
- química intercalació similar a Li
- tecnologies basades en sodi molt prometedores (x3 Li, no inflamable)

Patent ICMAB

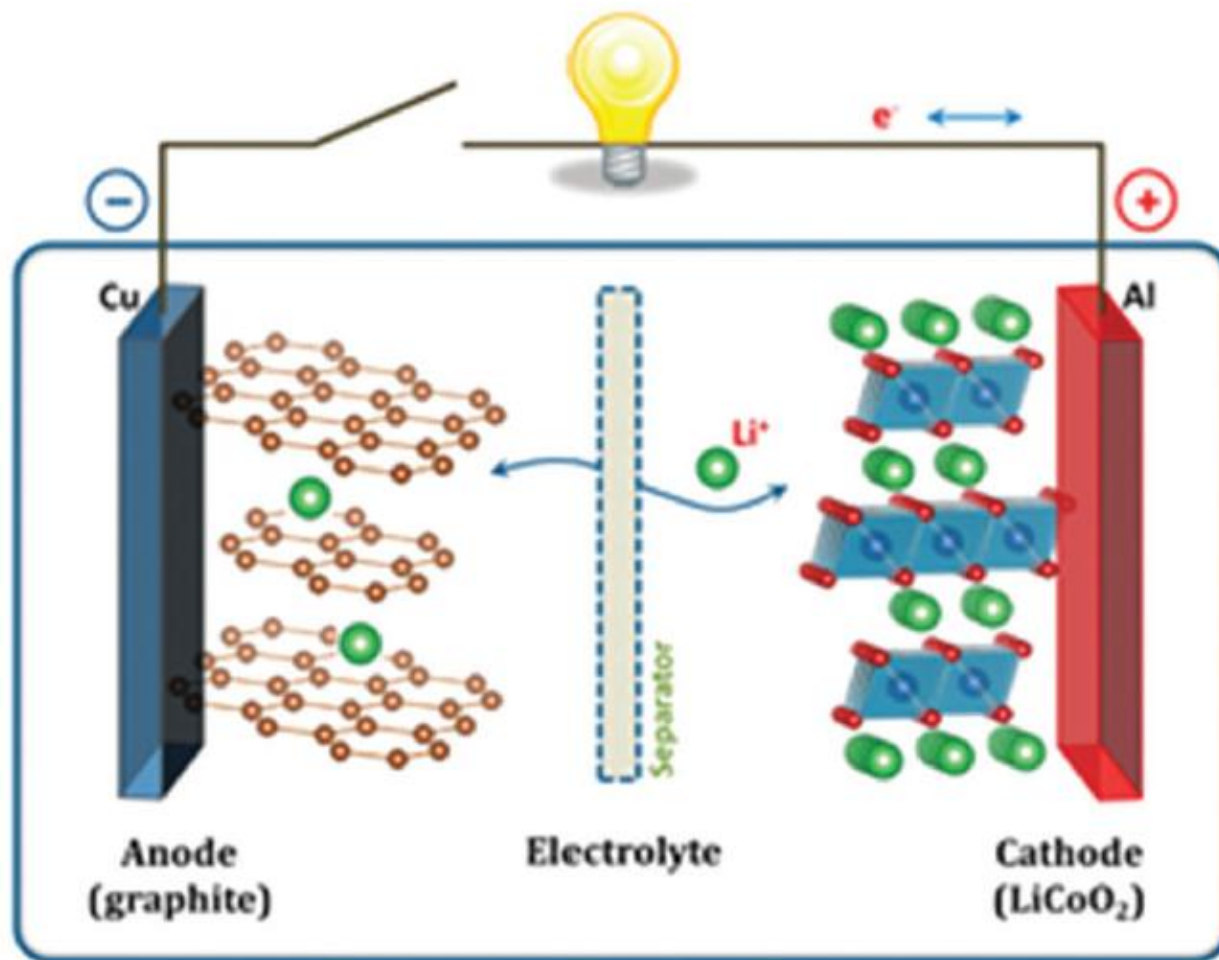
A. Ponrouch et al., Nature Materials (2016)



A. Dorothea Chaskalovic, Dept. Math. P. Chaskalovic, University of Costa Rica, C.A. 06002

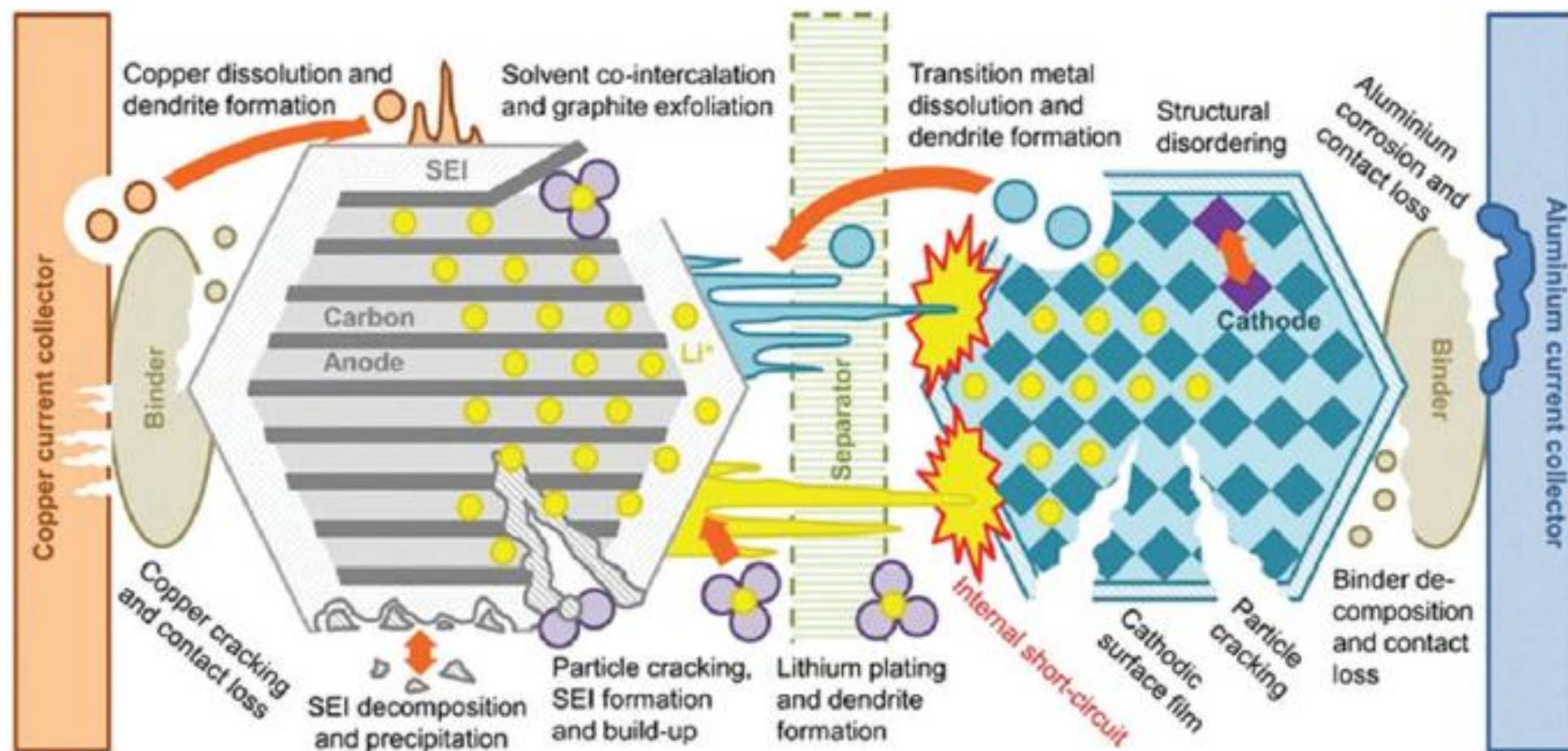


# Bateries electroquímiques: Liti i altres ions



Millora mecanismes de degradació i envelliment: controlar la nanoestructura  
Potenciar alternatives amb més temps de vida i més densitat d'energia.  
Seguretat augmentada

# Bateries electroquímiques: Liti i altres ions



Millora mecanismes de degradació i envelliment: controlar la nanoestructura  
Potenciar alternatives amb més temps de vida i més densitat d'energia.  
Seguretat augmentada

# Electrificació transport pesant: busos, camions, vaixells



## Gran potencial busos, camions, camionetes

~ 25-30 % GEH transport, contaminació ciutats

~ 420.000 busos elèctrics a Xina ! (95 % món)

~ 500 – 1000 km autonomia / > 1 Mkm vida

Càrregues de 30 – 45 minuts (temps descans)  
o aturades nocturnes (baix cost)



Nature Energy (2019)

## Objectius vaixells elèctrics

- Grans contaminants oceans, sorollosos
- Elèctrics o turboelèctrics: combustibles solars fuels ( $H_2$ ) o bateries
- Motors, generadors i cables superconductors: gran densitat de potència (x5), soroll reduït, menys pollució

# Electrificació transport pesant: busos, camions, vaixells



> 500 kWh / 1 MW

## Gran potencial busos, camions, camionetes

~ 25-30 % GEH transport, contaminació ciutats

~ 420.000 busos elèctrics a Xina ! (95 % món)

~ 500 – 1000 km autonomia / > 1 Mkm vida

Càrregues de 30 – 45 minuts (temps descans)  
o aturades nocturnes (baix cost)



11.000 MTm/any transport marítim  
60.000 vaixells de càrrega

Nature Energy (2019)

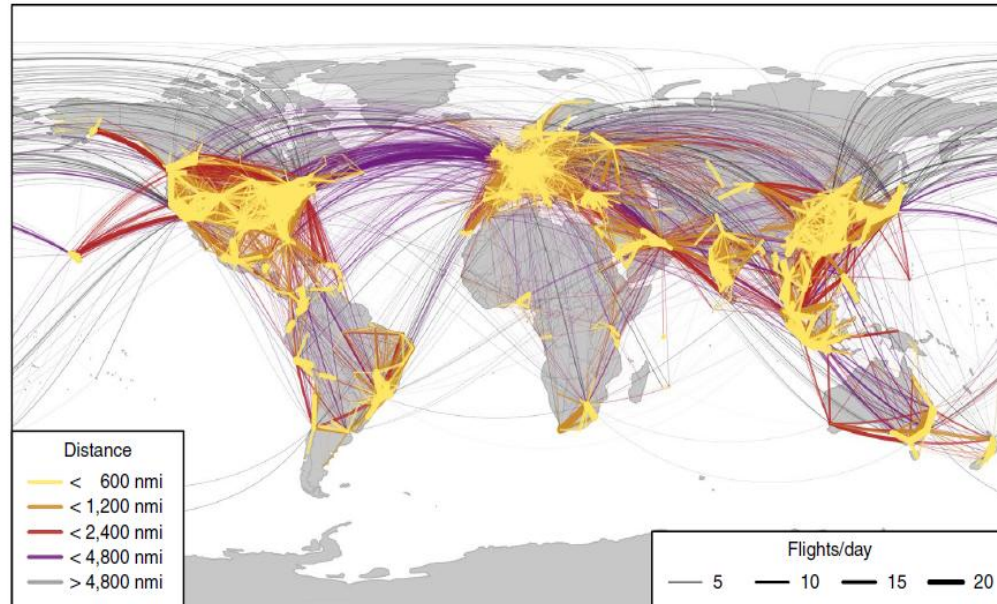
## Objectius vaixells elèctrics

- Grans contaminants oceans, sorollosos
- Elèctrics o turboelèctrics: combustibles solars fuels ( $H_2$ ) o bateries
- Motors, generadors i cables superconductors: gran densitat de potència (x5), soroll reduït, menys pollució



# Aviació elèctrica híbrida -turbo elèctrica

## Components superconductors



**42 milions vols/any; 205.000 vols/dia**



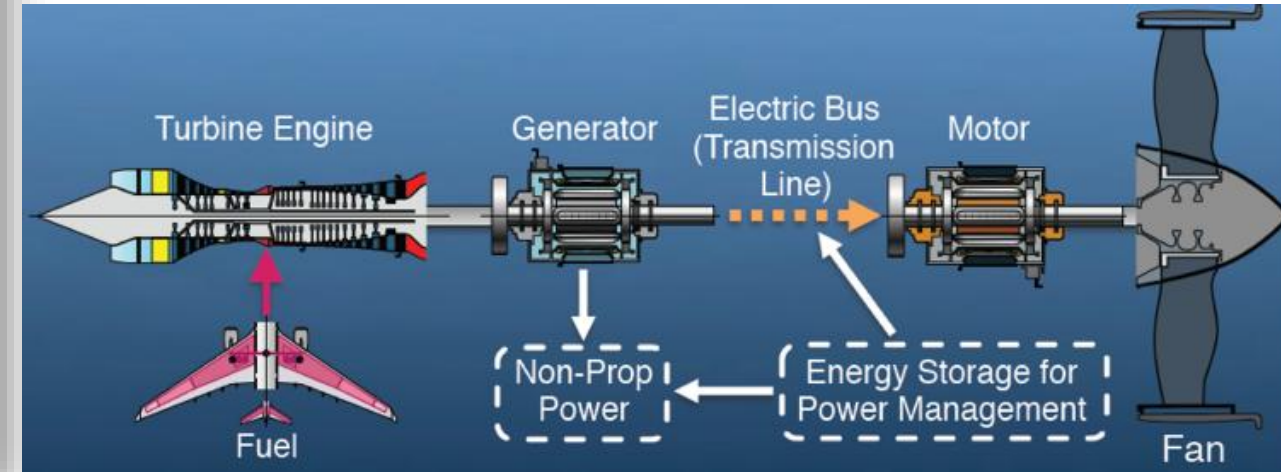
# Aviació elèctrica híbrida -turbo elèctrica

## Components superconductors

<https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html>



## ASCEND (Advanced Superconducting & Cryogenic Experimental powertrain Demonstrator)



### Objectius tècnics

- Minimitzar pes dels components
- Densitat de potència dels motors / generadors HTS : 25-50 kW/kg (x 5 vs Cu)
- Turbogenerador amb hidrogen o combustibles solars i aviació amb bateries

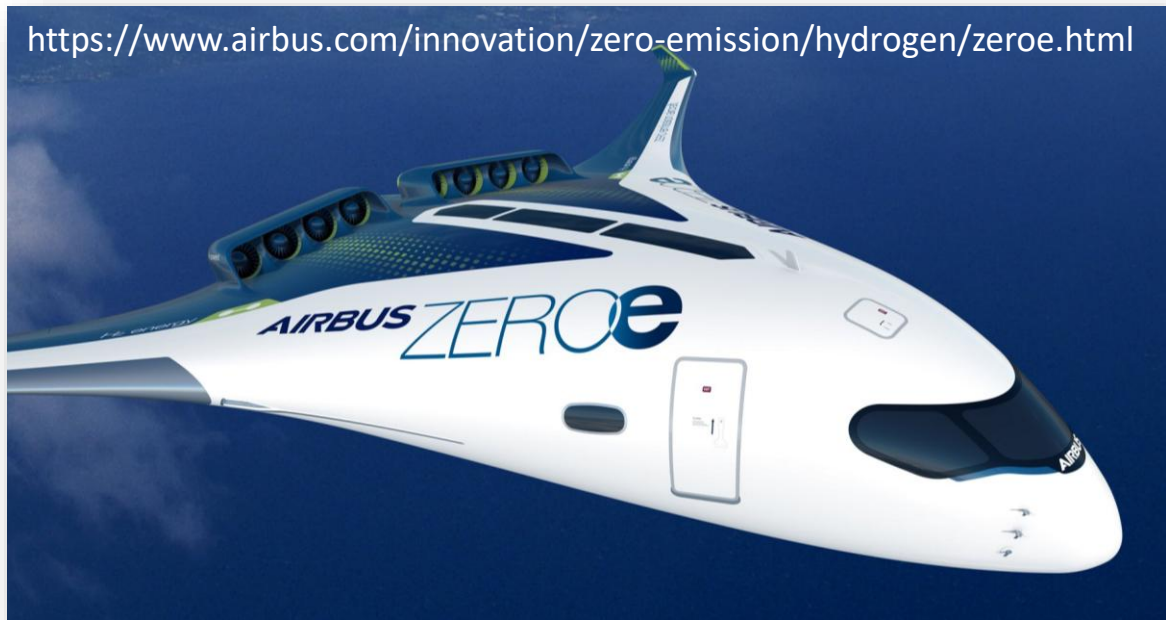
### Beneficis principals de l'aviació elèctrica

- Augment de l'eficiència (+ 25 %)
- Electricitat i combustibles renovables ( $H_2$ )
- Menys manteniment
- Soroll reduït i llargària enlairament menor (localització més fàcil dels aeroports)
- Emissions reduïdes de  $CO_2$  i  $NO_x$



# Aviació elèctrica híbrida -turbo elèctrica

## Components superconductors



### Objectius tècnics

- Minimitzar pes dels components
- Densitat de potència dels motors / generadors HTS : 25-50 kW/kg (x 5 vs Cu)
- Turbogenerador amb hidrogen o combustibles solars i aviació amb bateries



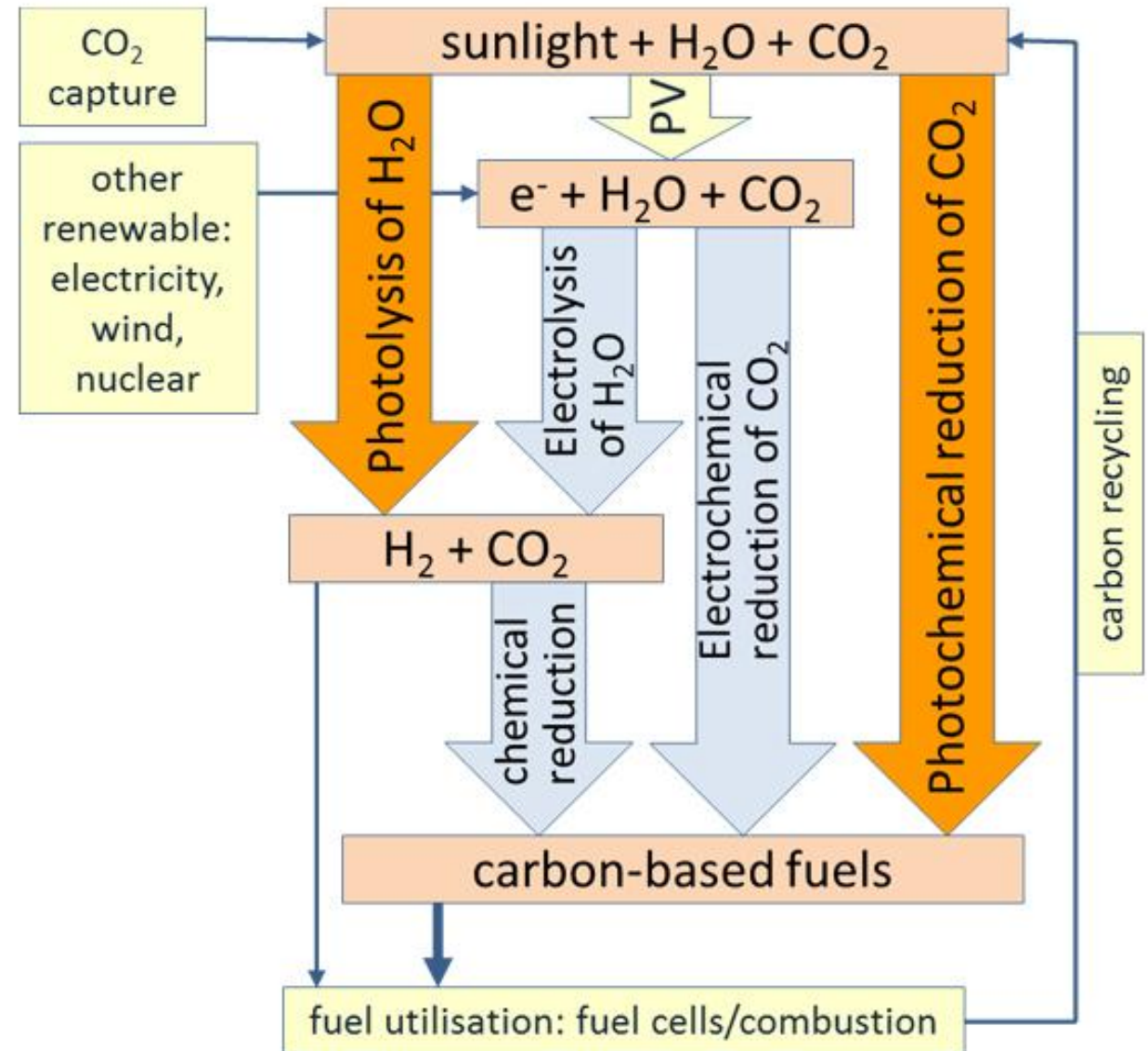
### Beneficis principals de l'aviació elèctrica

- Augment de l'eficiència (+ 25 %)
- Electricitat i combustibles renovables ( $H_2$ )
- Menys manteniment
- Soroll reduït i llargària enlairament menor (localització més fàcil dels aeroports)
- Emissions reduïdes de  $CO_2$  i  $NO_x$

# Energia química: combustibles solars ( $H_2$ verd) / emmagatzematge químic

## Actual: Electròlisi

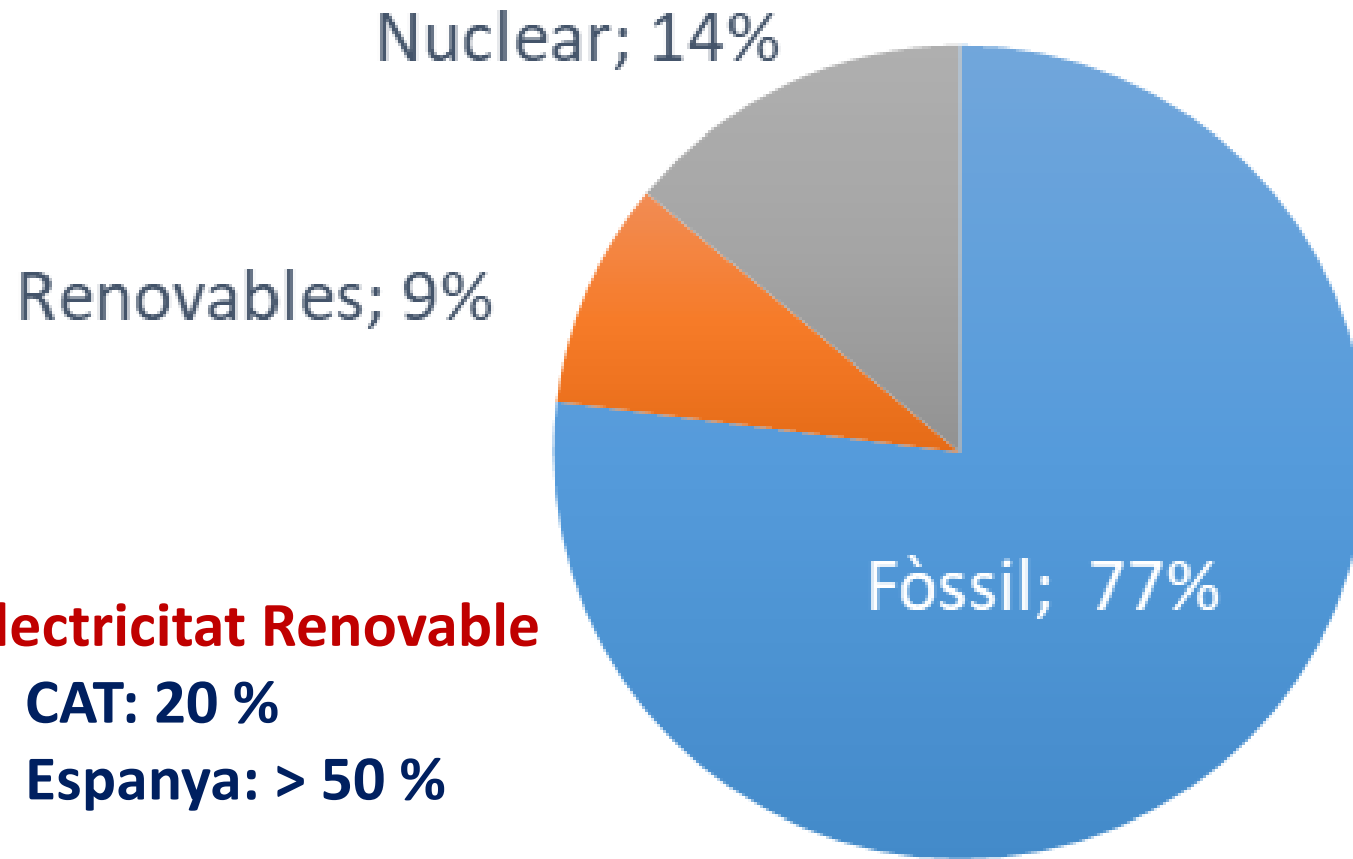
- Producció renovable  $H_2$  (eficiència 30 % amb electrolitzadors)
- Producció combustibles a partir  $CO_2$  (metanol, etilè): baixa eficiència
- Nanocatalitzadors són la clau per augmentar l'eficiència
- Complementarietat vector electricitat (70-80 %) i vector Hidrogen (30-20 %)
- Font de calor industrial (acer, ciment) combustible pel transport (aviació, vaixells)





# Energia a Catalunya: anem tard!

## Energia final



**Primària: 295.000 GWh/any**  
**(+44 % vs final)**

**Final: 168.000 GWh/any**

**Molt marge a la millora en l'eficiència!**

**Electricitat: 45.000 GWh/any (27 % final)**

**Nuclear 55%, Ren. 20%, Fòssil 25%**

**(~ 30 % energia final a 75 % el 2050)**

**Potenciar centrals d'emmagatzematge (bombament) i transport elèctric**

**PROENCAT 2050**

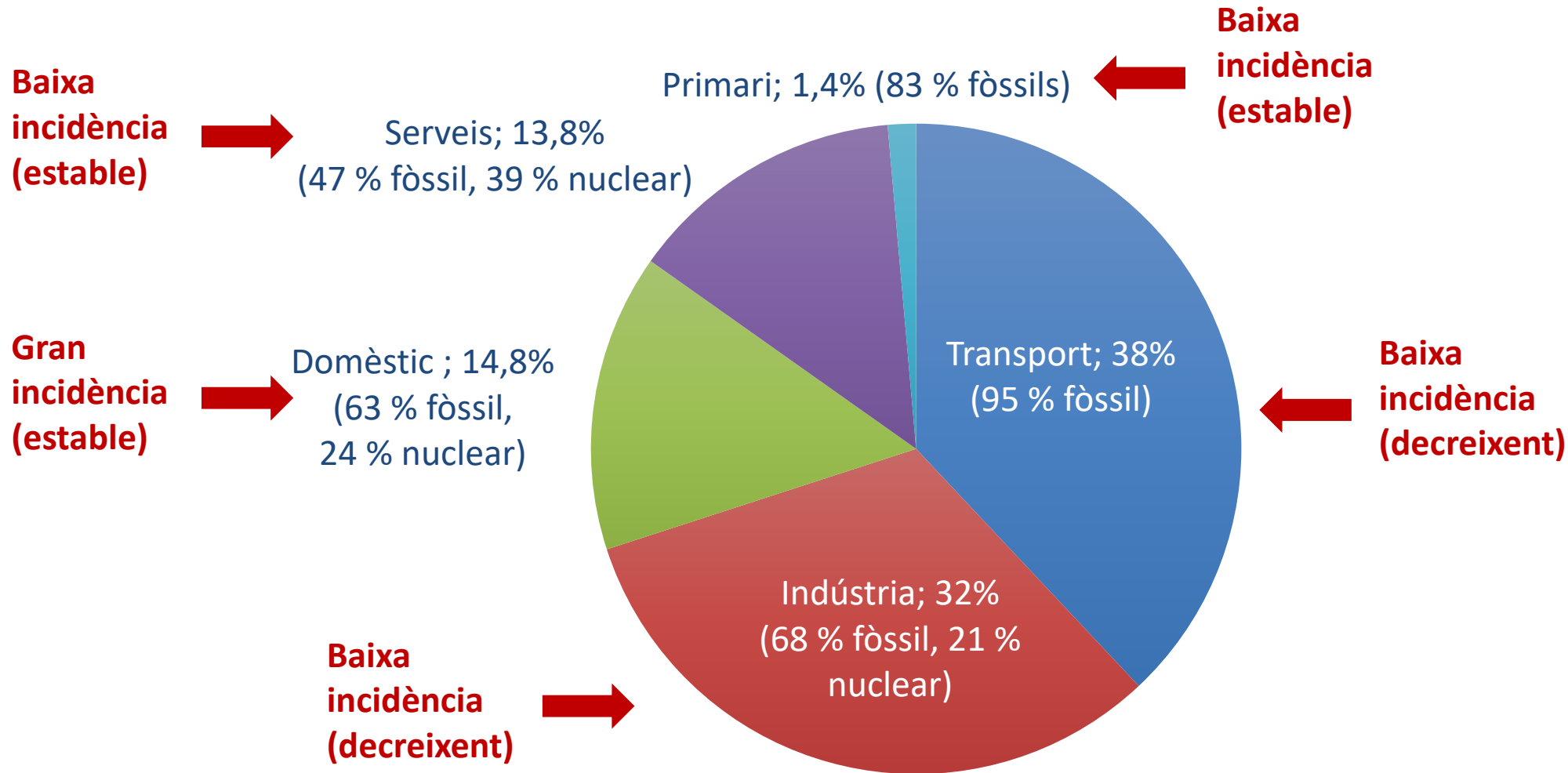
### Electricitat Renewable

- CAT: 20 %
- Espanya: > 50 %

- Gran retard en la implementació de les renovables (efecte NIMBY)
- Forta dependència de l'energia nuclear (55%)



# Distribució consum energia a Catalunya: impacte i evolució



**Consum decreixent  
(20 anys): -30 %**

**Desacoplament  
consum – PIB (20  
anys): -30 %**

**Distribució molt diferent en països no desenvolupats: evolució cap a un augment qualitat de vida**

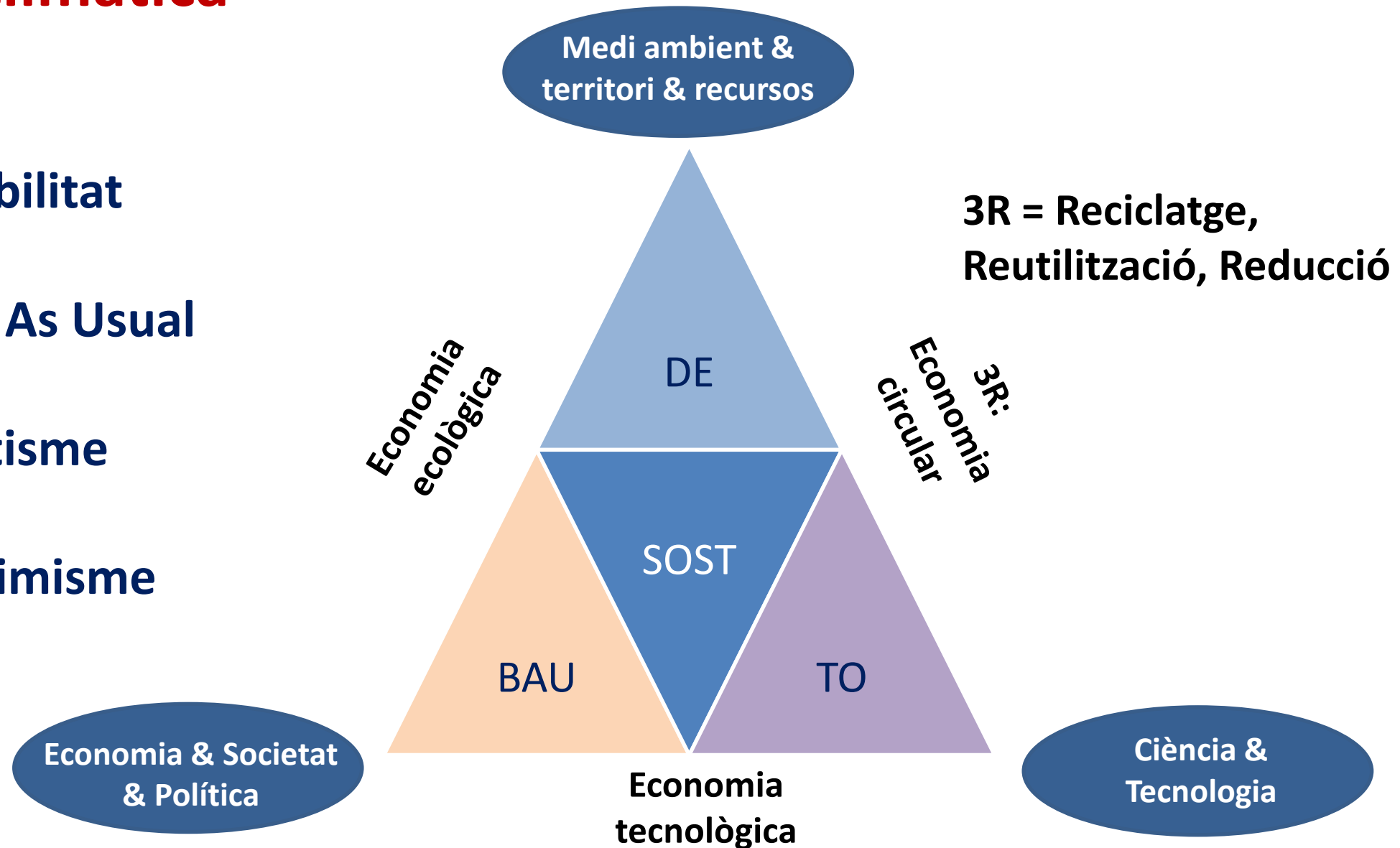
# Sostenibilitat: el punt d'equilibri del trilemma de la crisi climàtica

**SOST = Sostenibilitat**

**BAU = Business As Usual**

**DE = Decreixentisme**

**TO = Tecno-Optimisme**



# Conclusions

- Deute climàtic: herència d'un mode de vida no sostenible.
- Transició energètica: un repte colossal. Canvi de paradigma: quin calendari?
- Cal equilibrar el trilemma economia – medi ambient – ciència: buscar oportunitats
- Tenim bagatge científic **per** enfrontar el repte: cal accelerar la R&D. Urgent expandir la distribució de coneixement i els canvis socials. Cal combatre el ecopessimisme!
- L'augment de l'electrificació no és assumible amb les tecnologies actuals: Generació, distribució, transport, ús final, mobilitat. Augment eficiència.
- Nanomaterials: tecnologia disruptiva sostenible pel nou paradigma energètic. Renovables intermitents (fotovoltaica, eòlica) combinades amb generació elèctrica eficient, contínua (superconductors, fusió) i combustibles solars ( $H_2$ ).
- Superconductors: fusió compacte, xarxes intel·ligents, generadors eòlics, transport (avions i vaixells híbrids, càrrega ràpida vehicles elèctrics, MAGLEV)
- Inversions multimilionàries en infraestructures inferiors a la despesa en combustibles fòssils i el cost del  $CO_2$ . Creació nous llocs de treball: visió de futur!

OUR **PLANET**  
OUR **FUTURE**

FIGHTING CLIMATE CHANGE TOGETHER

**ICMAB**  
INSTITUT DE CIÈNCIA DE MATERIALS DE BARCELONA



[www.icmab.es](http://www.icmab.es)

**GRÀCIES PER  
LA VOSTRA  
ATENCIÓ !**

Agraïments: Investigadors  
ICMAB