



Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Descarbonitzem amb energia

viure sense emissions de $\text{CO}_{2(\text{eq})}$

Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya
Girona, novembre de 2024

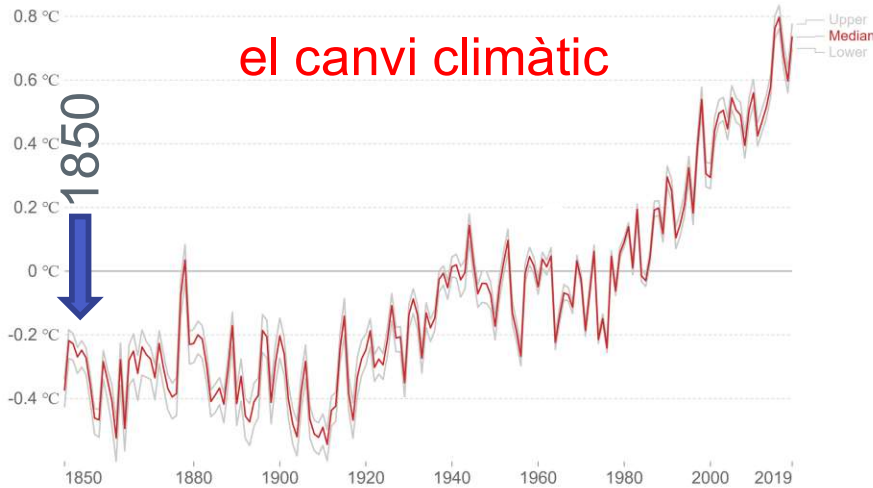
RENOVEM·NOS 

Pere Roura Grabulosa
Catedràtic Emèrit de Física. UdG

Introducció: de “canvi climàtic” a “emergència”?

Average temperature anomaly, Global

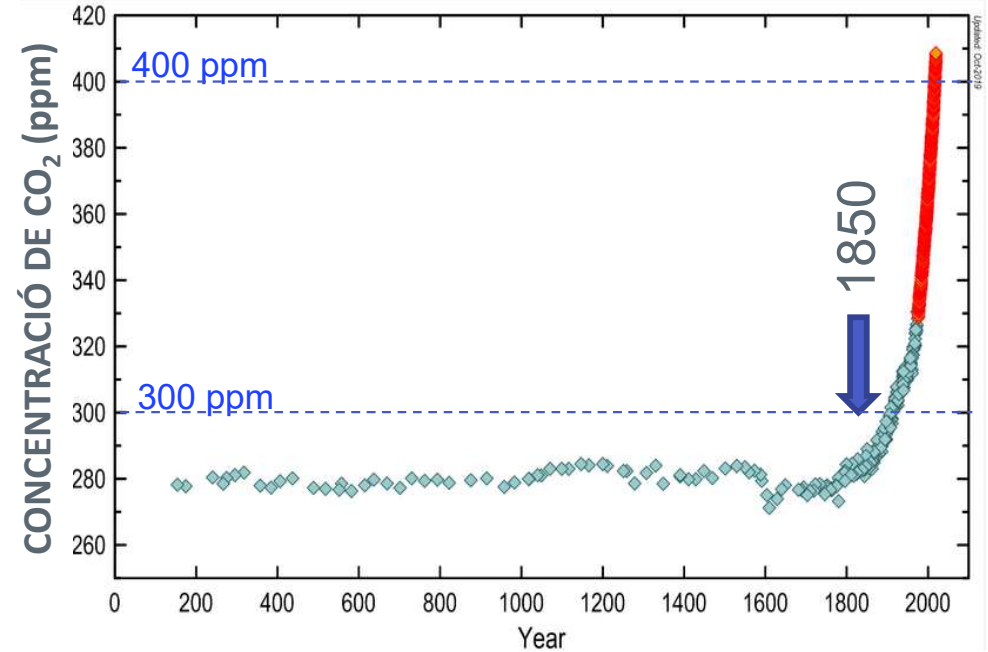
Global average land-sea temperature anomaly relative to the 1961-1990 average temperature.



Source: Hadley Centre (HadCRUT4)

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

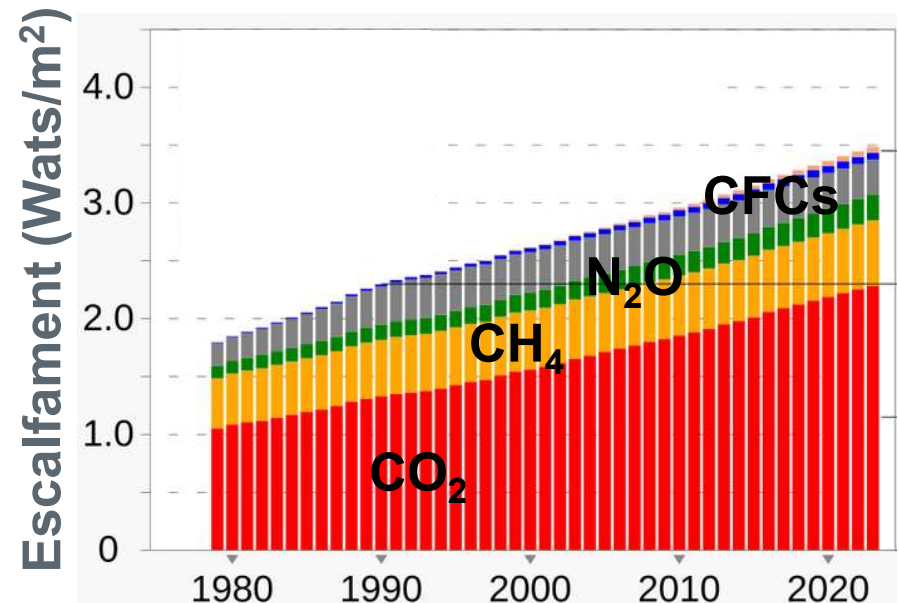
Note: The red line represents the median average temperature change, and grey lines represent the upper and lower 95% confidence intervals.



Els gasos d'efecte hivernacle (2021)

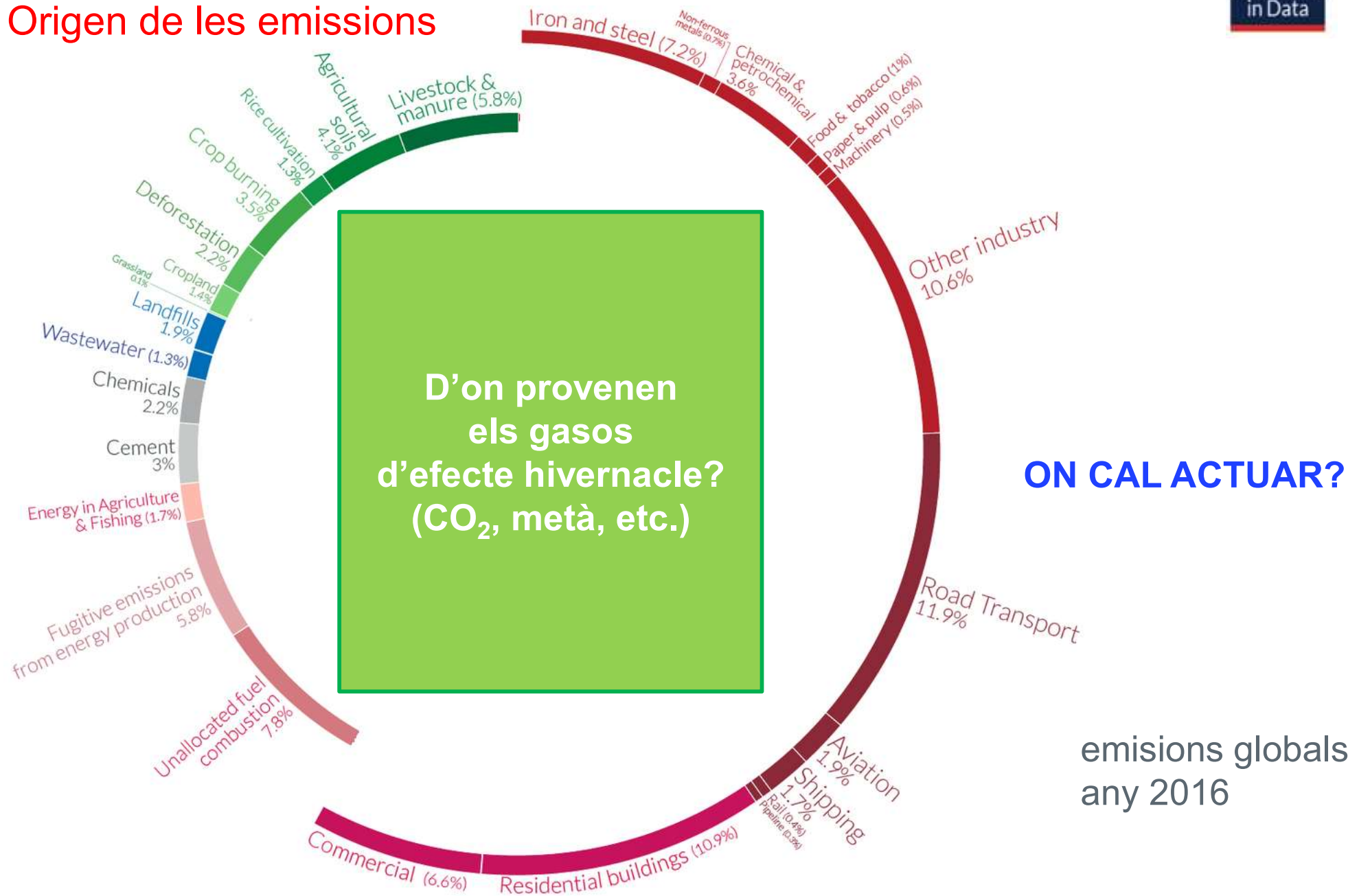
| | concentració | forçament radiatiu (a 100 anys) IPCC (5è) |
|------------------|--------------|--|
| CO ₂ | 1 | 1 |
| CH ₄ | 0,0045 | 28 |
| N ₂ O | 0,00081 | 265 |

CFCs... + aerosols



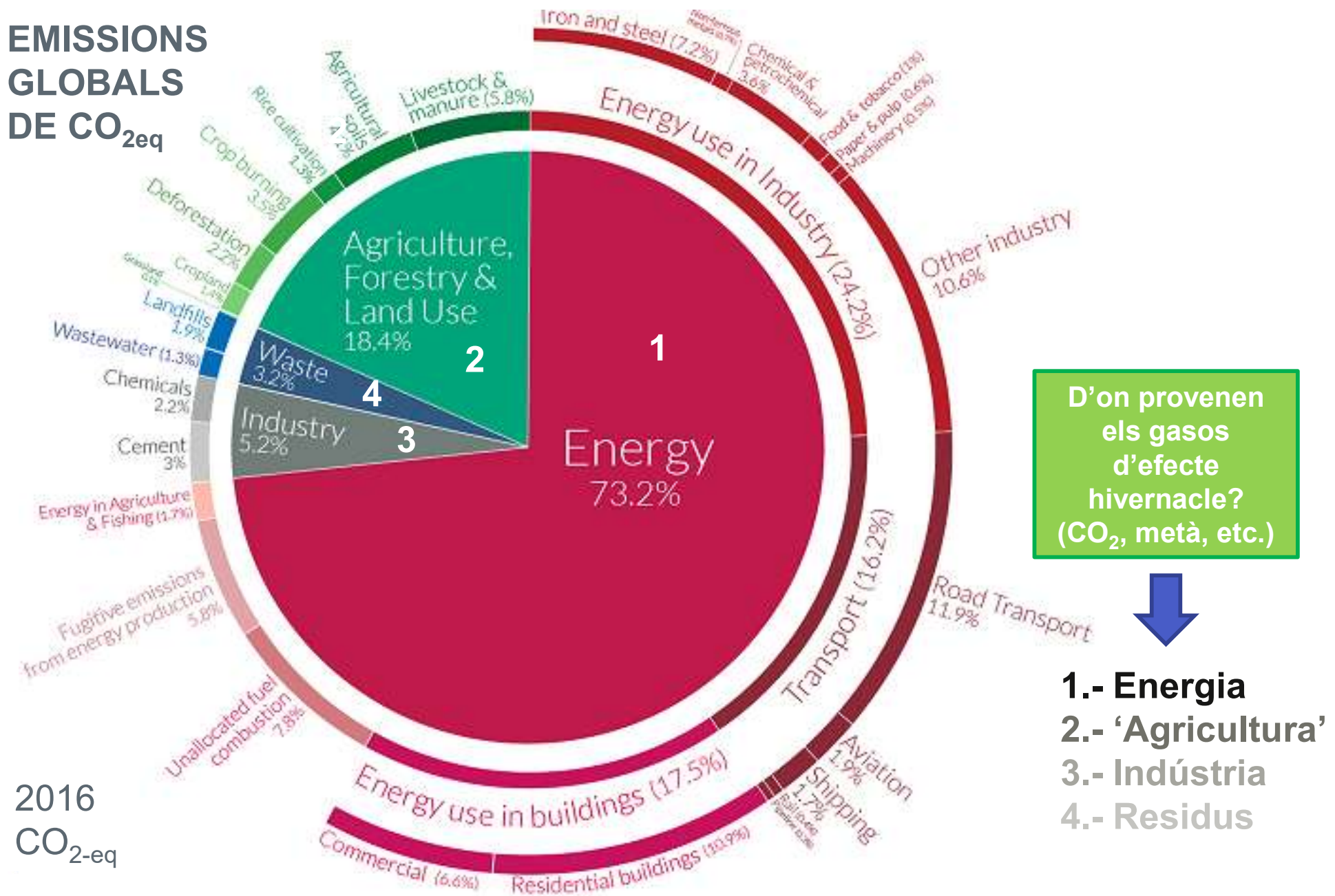
De “Canvi Climàtic” a “Emergència”

Origen de les emissions



Introducció: de “canvi climàtic” a “emergència”?

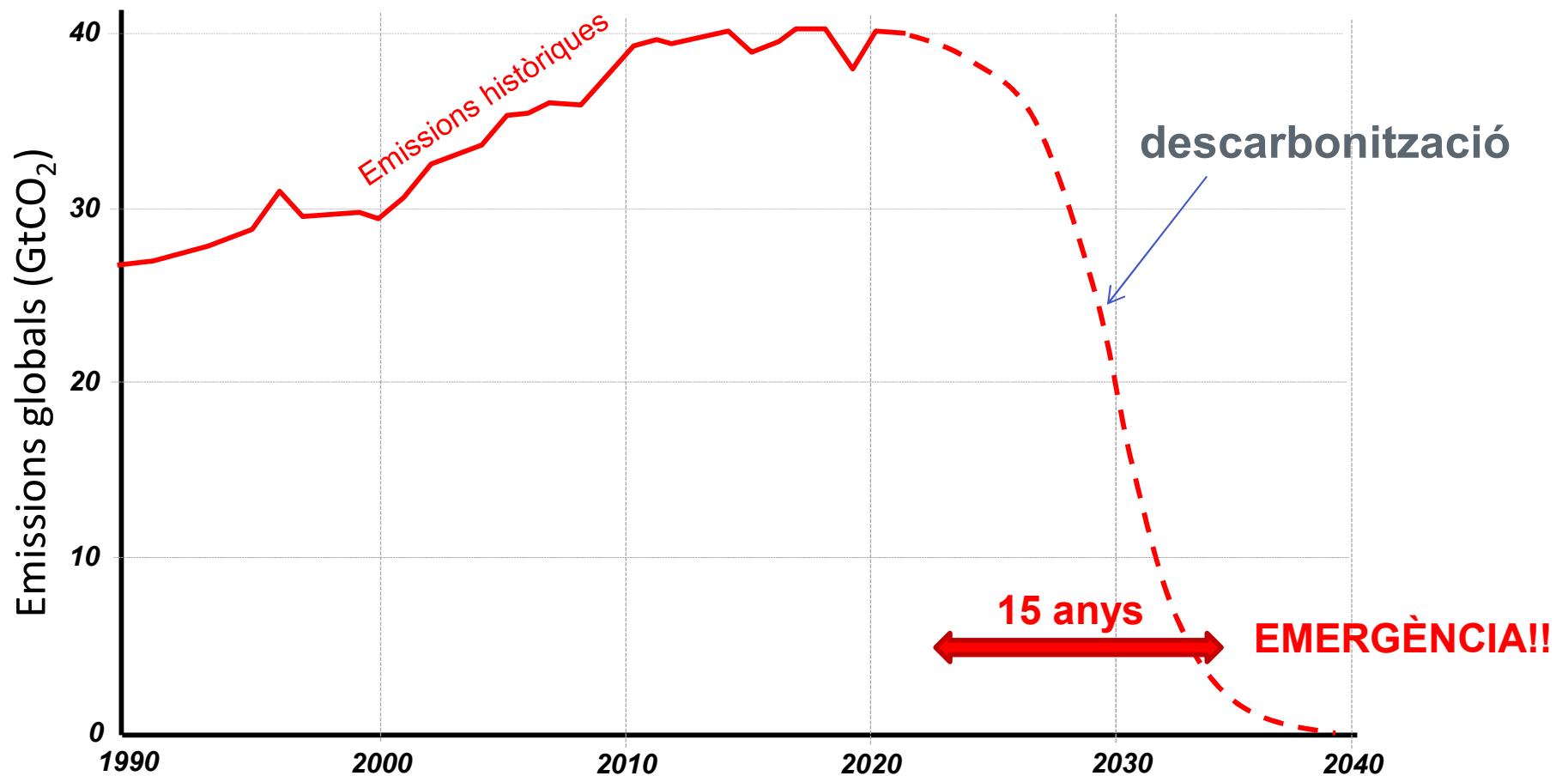
EMISSIONS GLOBALS DE CO₂eq



De “Canvi Climàtic” a “Emergència”

Quant temps ens queda?

Pressupost de carboni (2023): 380 Gt



Index

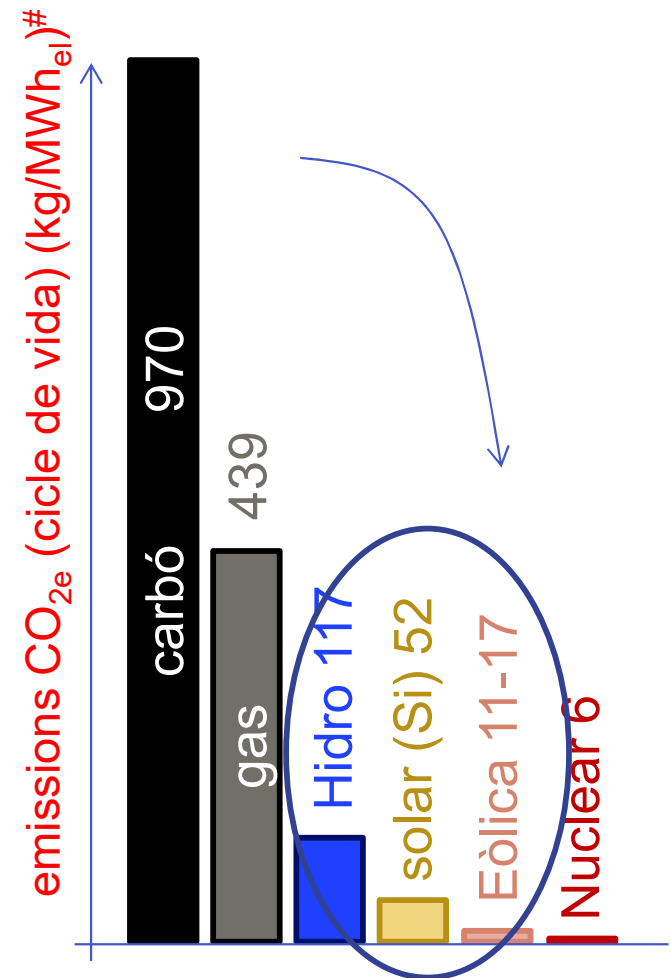
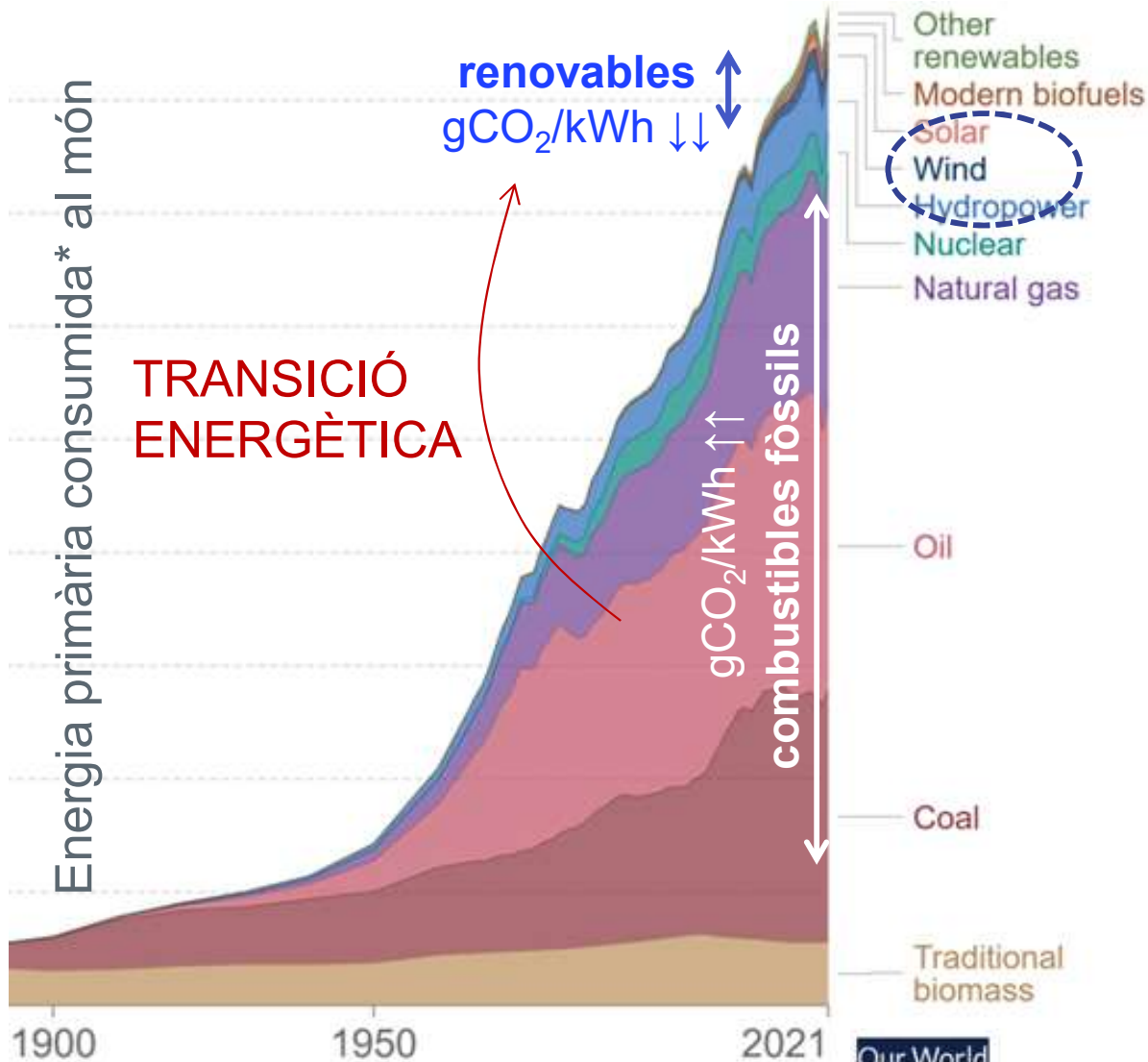
- 1.- Energia
 producció
 consum
- 2.- Processos industrials
- 3.- Agricultura
- 4.- Gestió de residus
- 5.- Polítiques climàtiques

La transició energètica

producció

La transició energètica

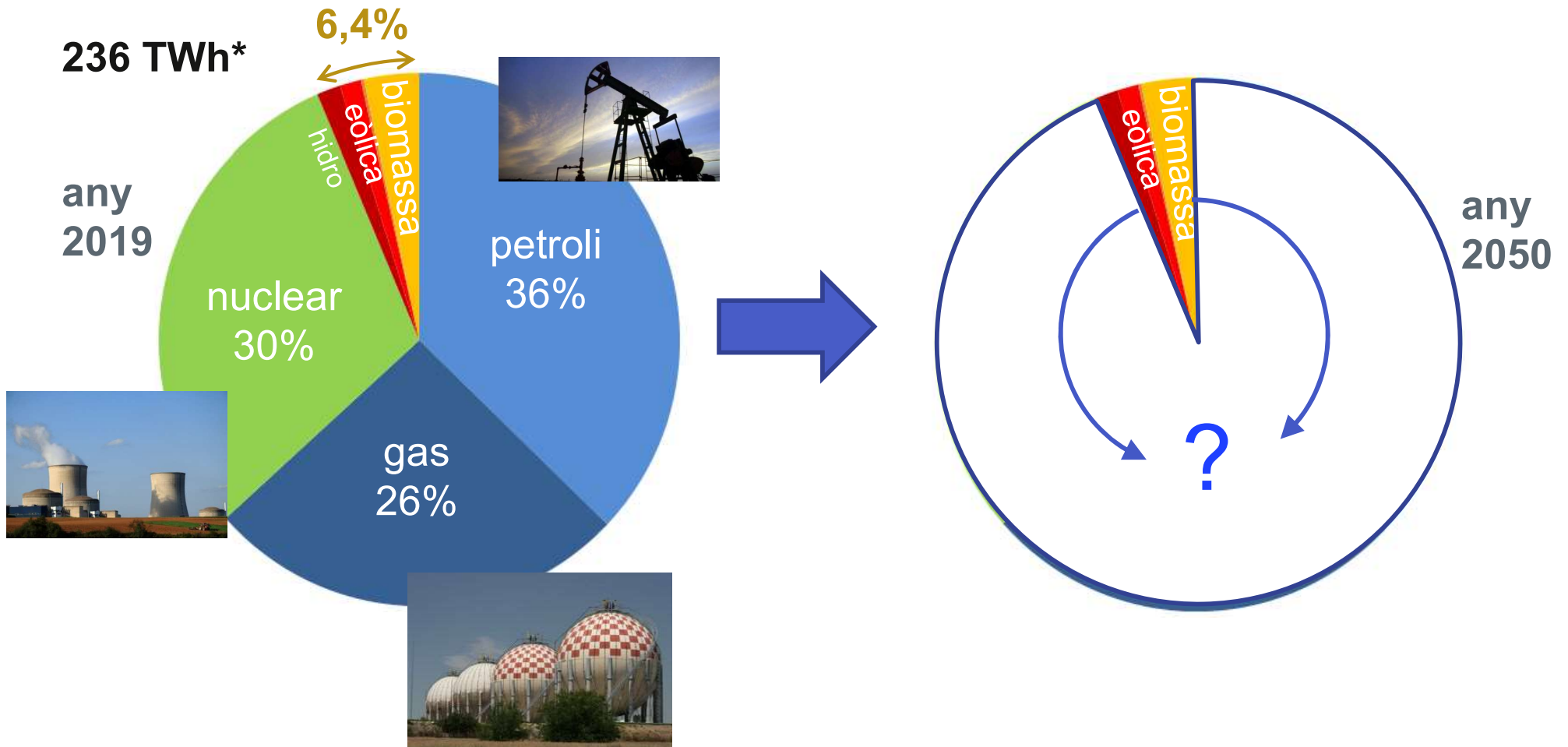
AL MÓN



*fontes no fòssils corregides pel mètode de "substitució"

La transició energètica

A CATALUNYA

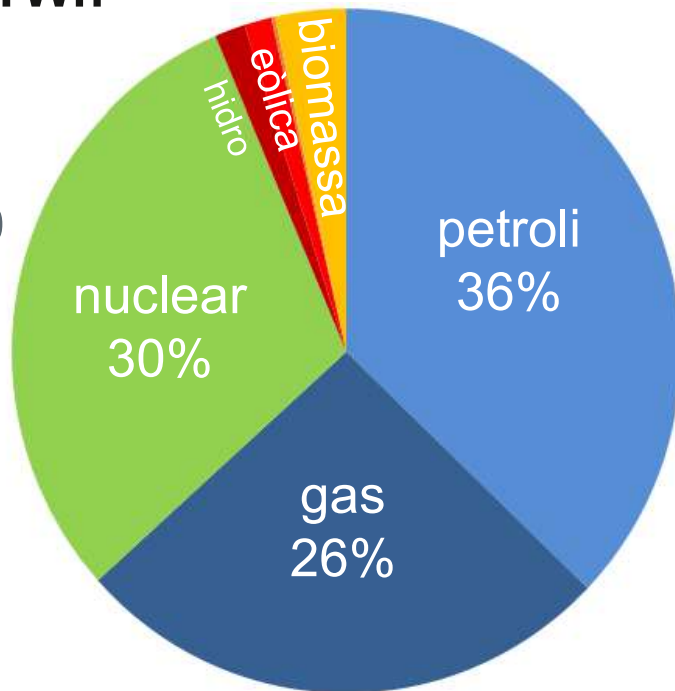


La transició energètica

A CATALUNYA

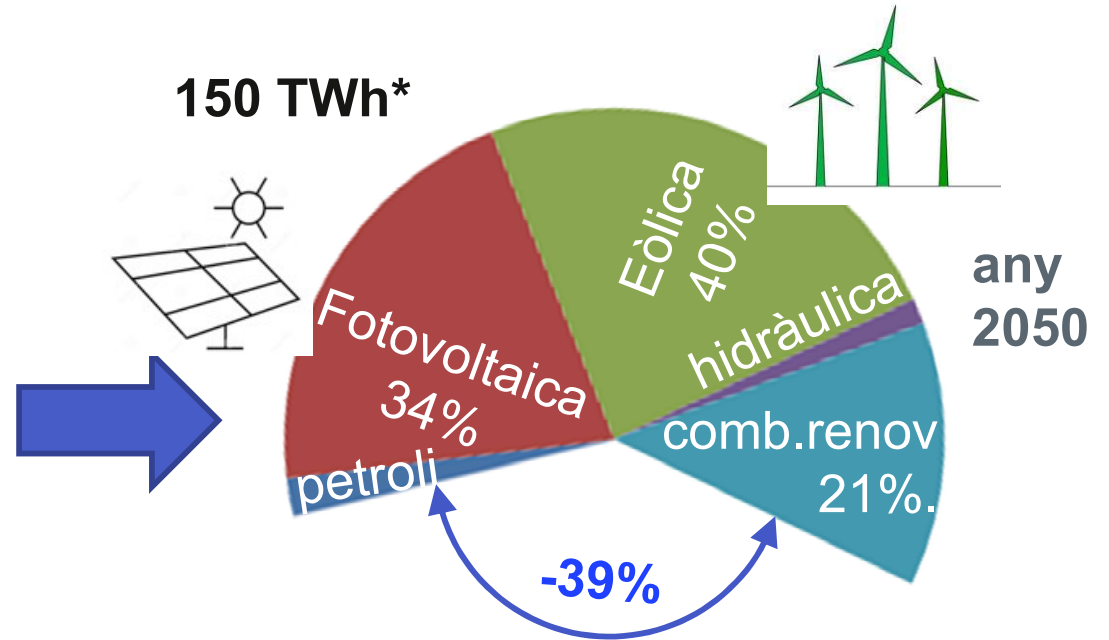
236 TWh

any
2019



150 TWh*

any
2050



$\Delta(\text{PIB}) = +1,5\%$ anual

Emissions de CO2 (energia)*

34.000 kt

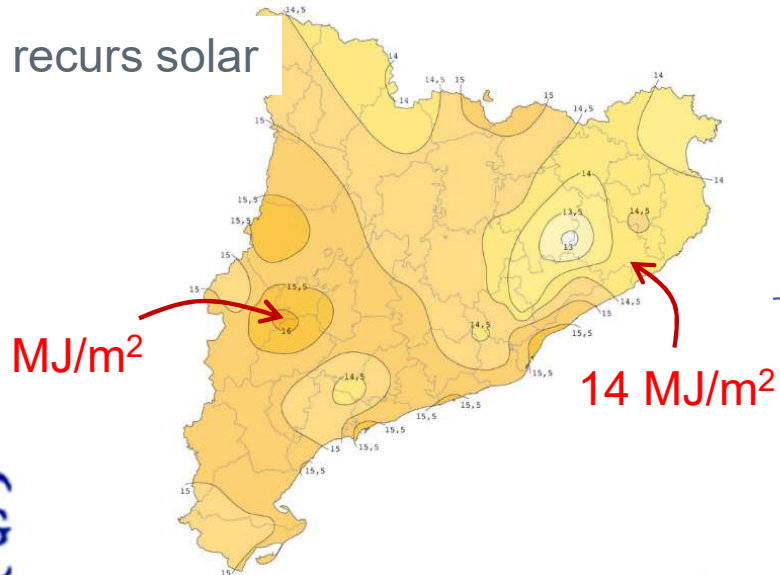
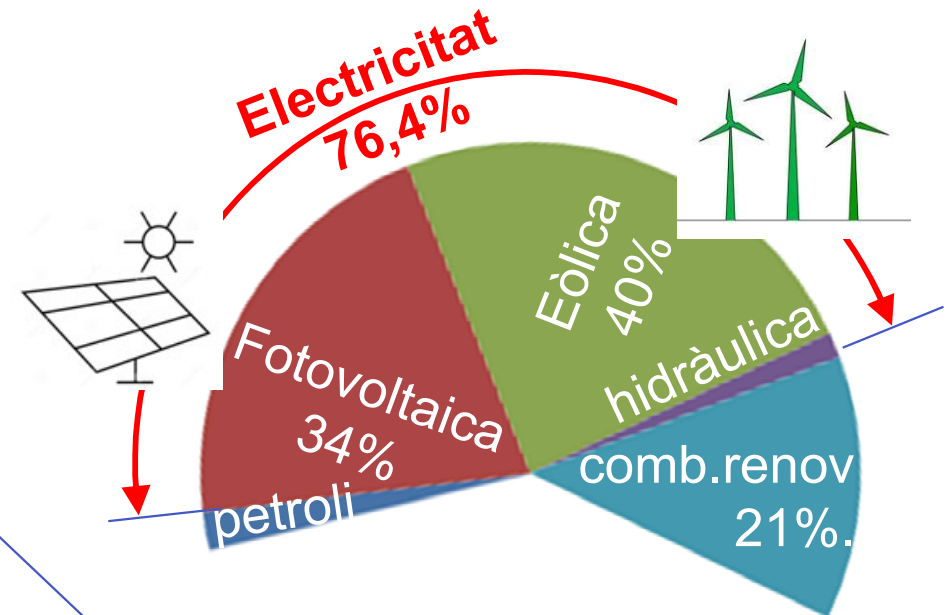
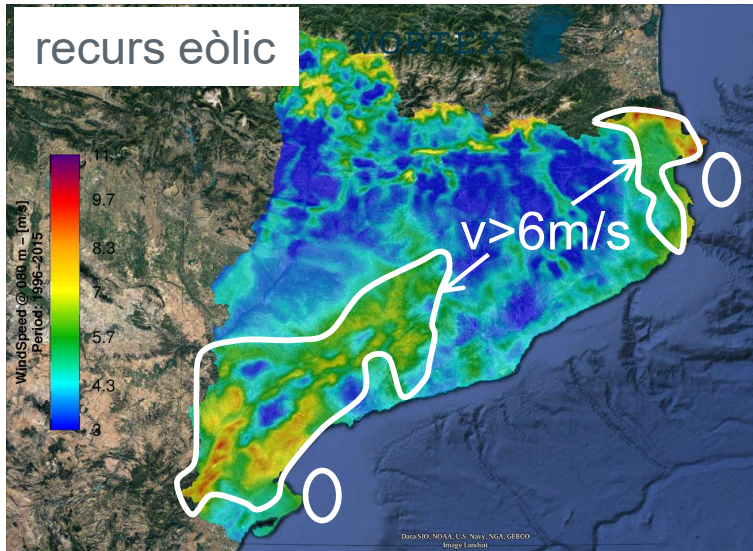


200 kt

(en territori català)

La transició energètica

A CATALUNYA any 2050



Recurs suficient
2,5% de la superfície
de Catalunya

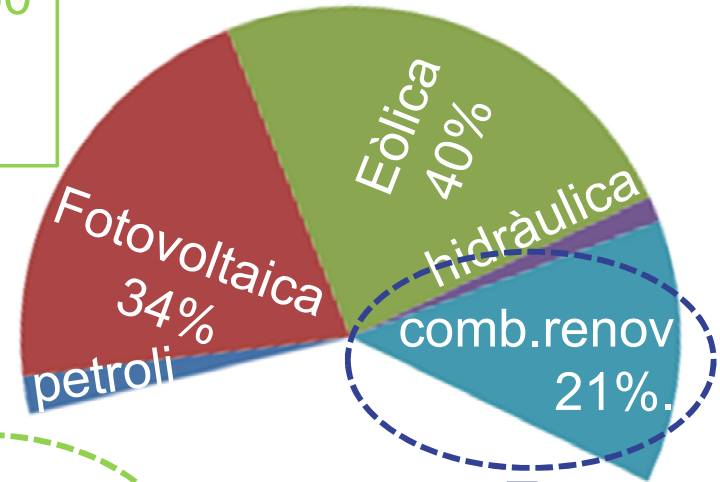
La transició energètica

A CATALUNYA any 2050

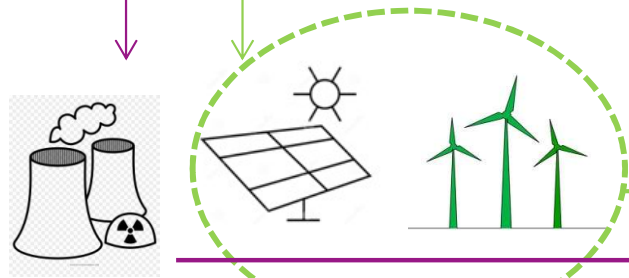
RECURS PROPI

PROENCAT 50
4,6 kt_{H2}
suficient

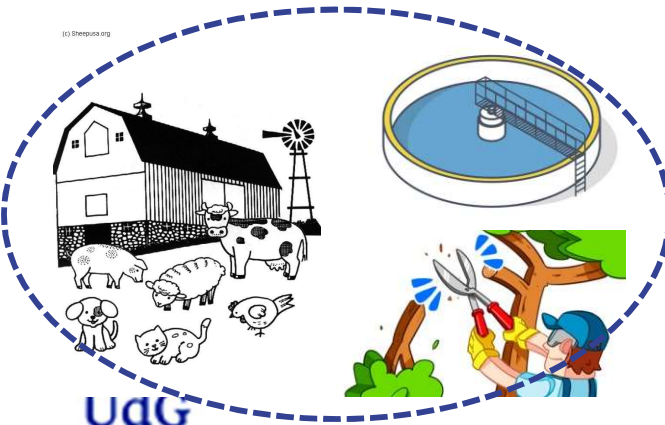
Col. Eng. Catalunya
3 Mt_{H2}



PROENCAT 50
Suficient
Col.Eng.Cat.
Suficient?



- H₂ verd
- H₂ rosa



- biogas
- bioquerosè
- biomassa

La transició energètica

consum

La transició energètica (consum)

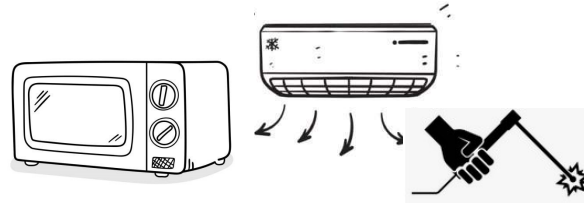
QUÈ
NECESSITEM?

FORMA D'ENERGIA

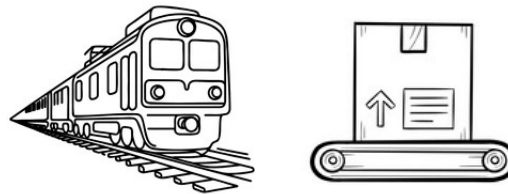
ELECTRICITAT

COMBUSTIBLES

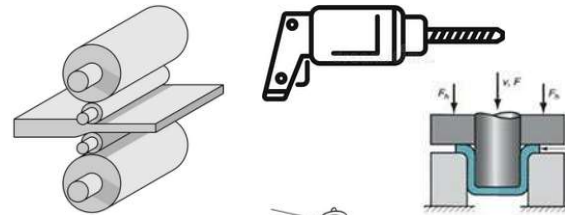
Calor



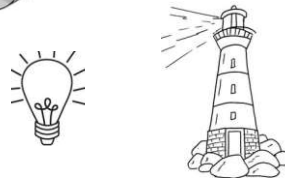
Moviment



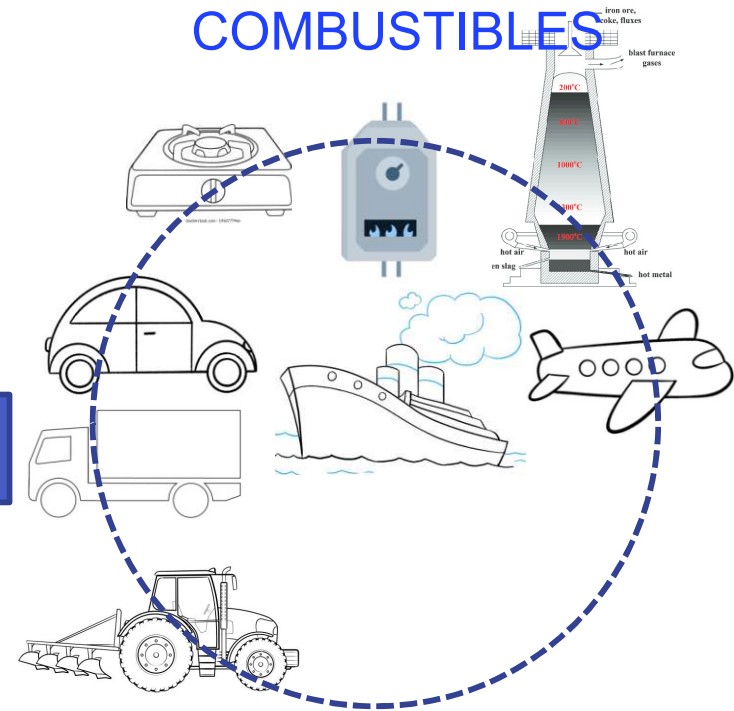
Treball mecànic



Illum



Informació i control



La transició energètica (consum)

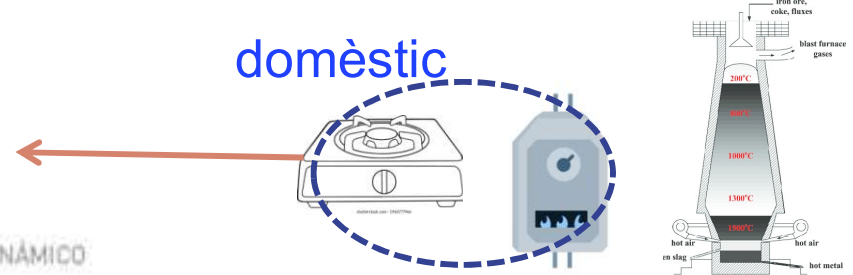
QUÈ
NECESSITEM?

Calor

ELECTRICITAT

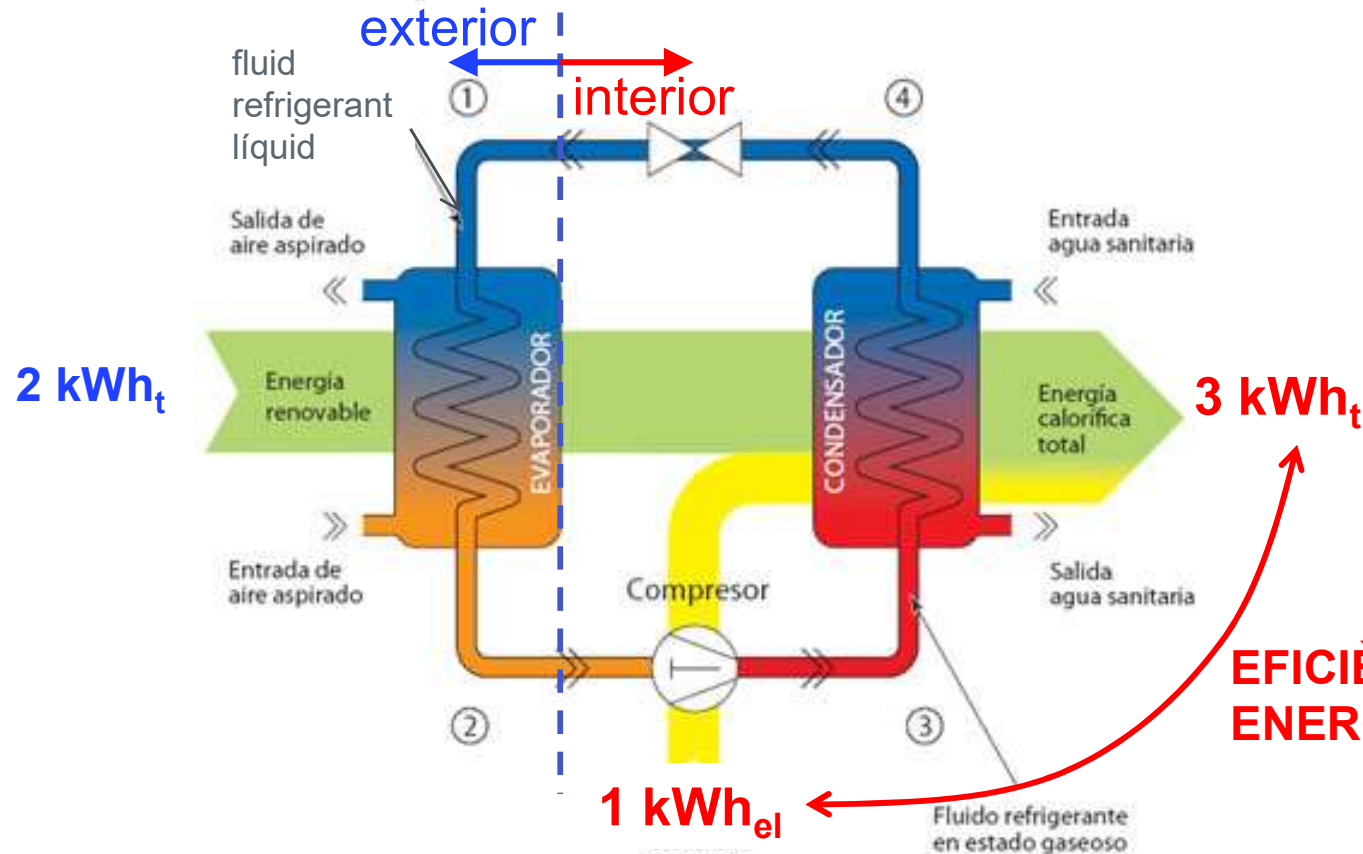
COMBUSTIBLES

domèstic



MIRACLE!: BOMBA DE CALOR

CICLO TERMODINÀMICO



“Rendiment” (COP)

$$= \frac{\text{calor obtinguda}}{\text{energia gastada}}$$

$$\approx \frac{3}{1}$$

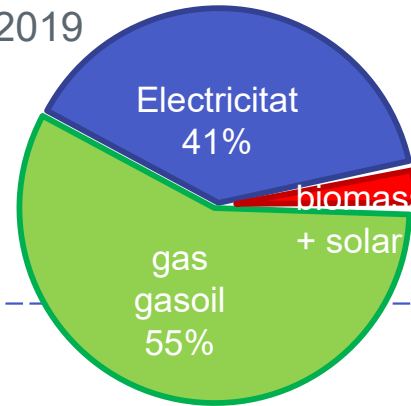
**EFICIÈNCIA
ENERGÈTICA**

La transició energètica (consum)

QUÈ
NECESSITEM?

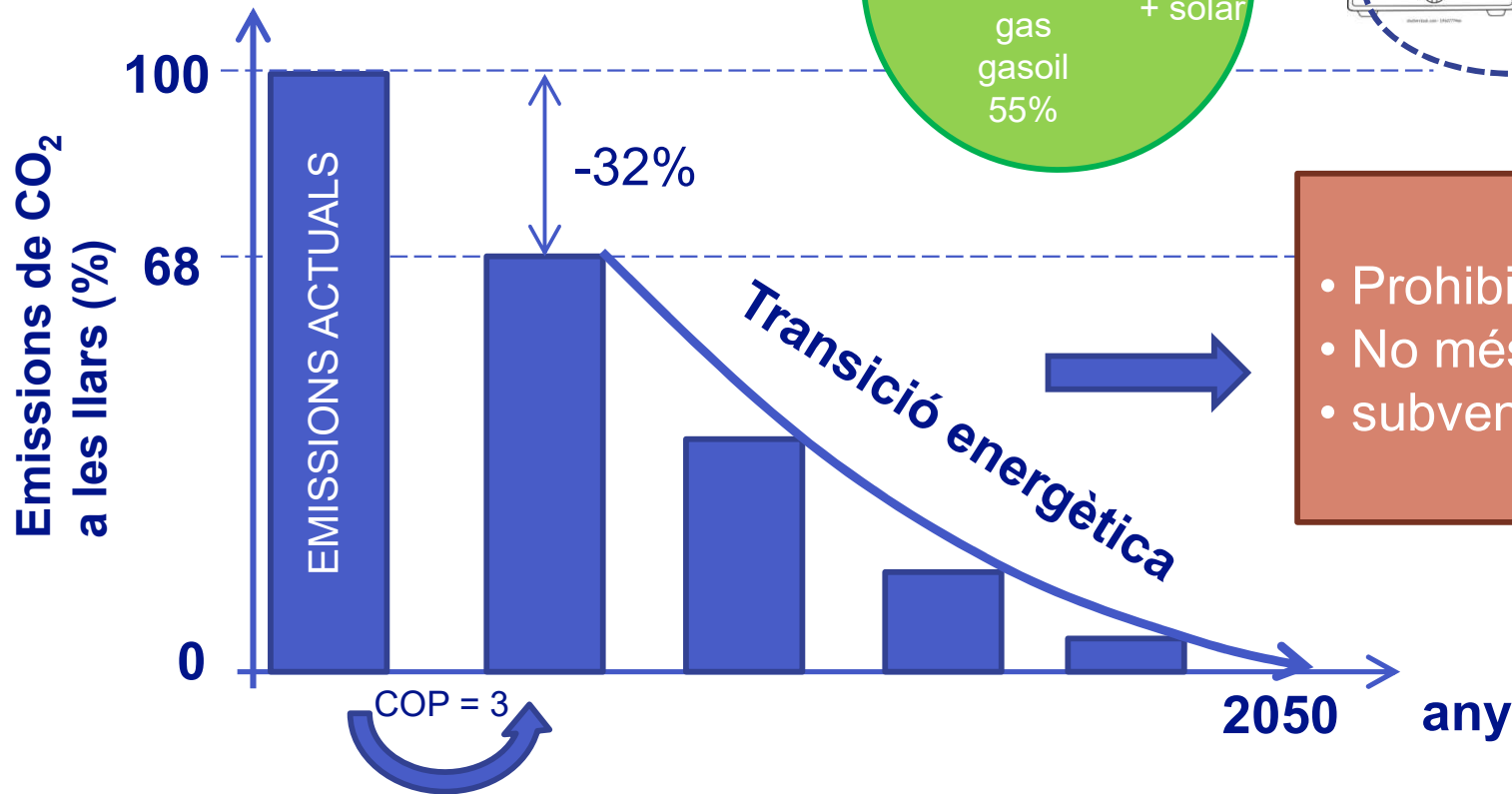
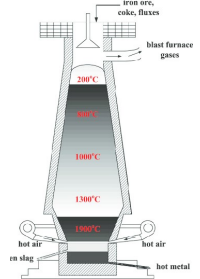
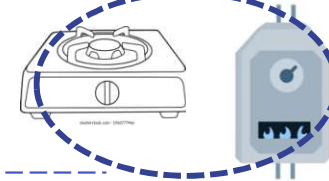
Calor

Llars CAT
2019



COMBUSTIBLES

domèstic



- Prohibir noves calderes
- No més xarxes de gas
- subvenció bombes calor

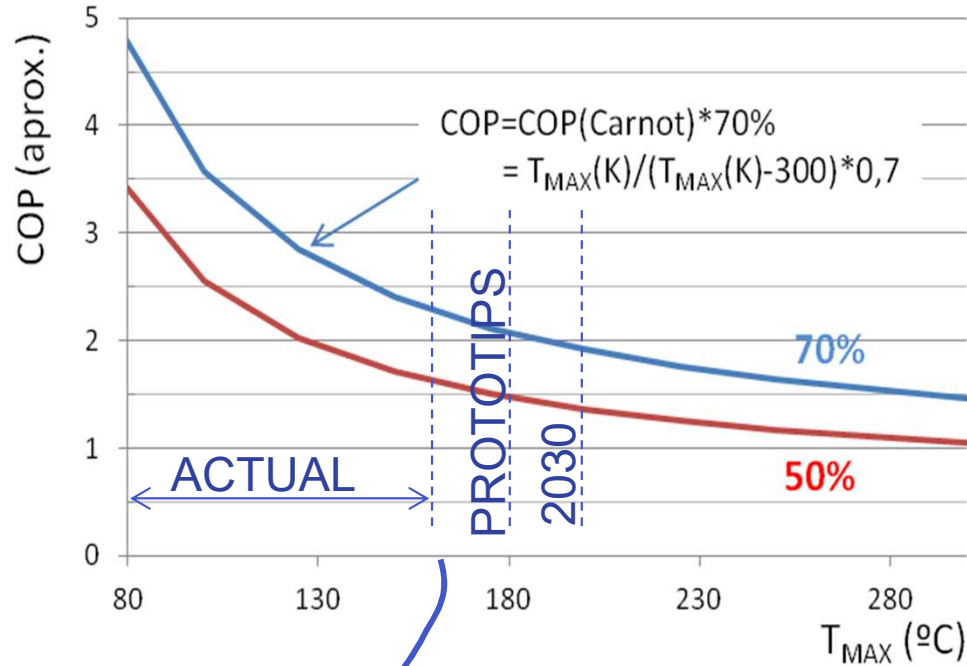
**BOMBA
DE CALOR**
(calefacció i ACS)

Estalvi 32% emissions; **38% energia**



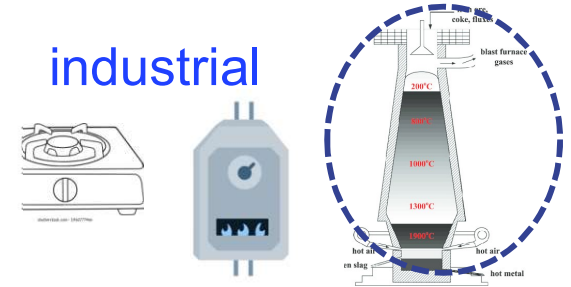
La transició energètica (consum)

**QUÈ
NECESSITEM
Calor**



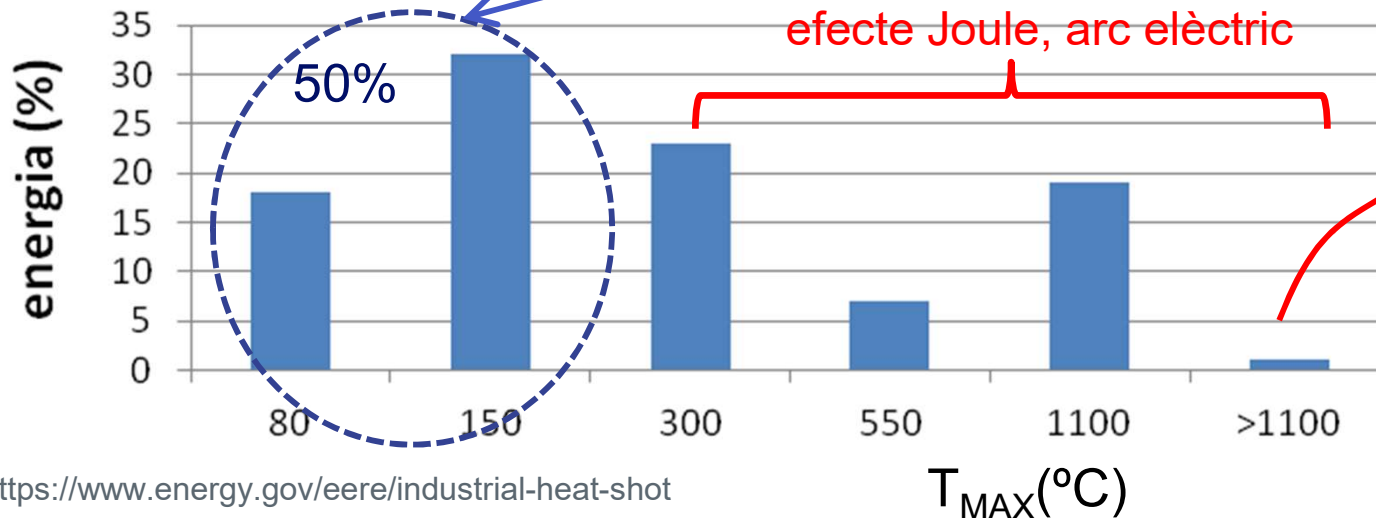
COMBUSTIBLES

industrial



#<https://www.ehpa.org>

Consum de calor industrial (EEUU)*



Roca Group pone en marcha el primer horno túnel eléctrico del mundo para la producción de cerámica sanitaria

28/11/2023

*<https://www.energy.gov/eere/industrial-heat-shot>

La transició energètica (consum)

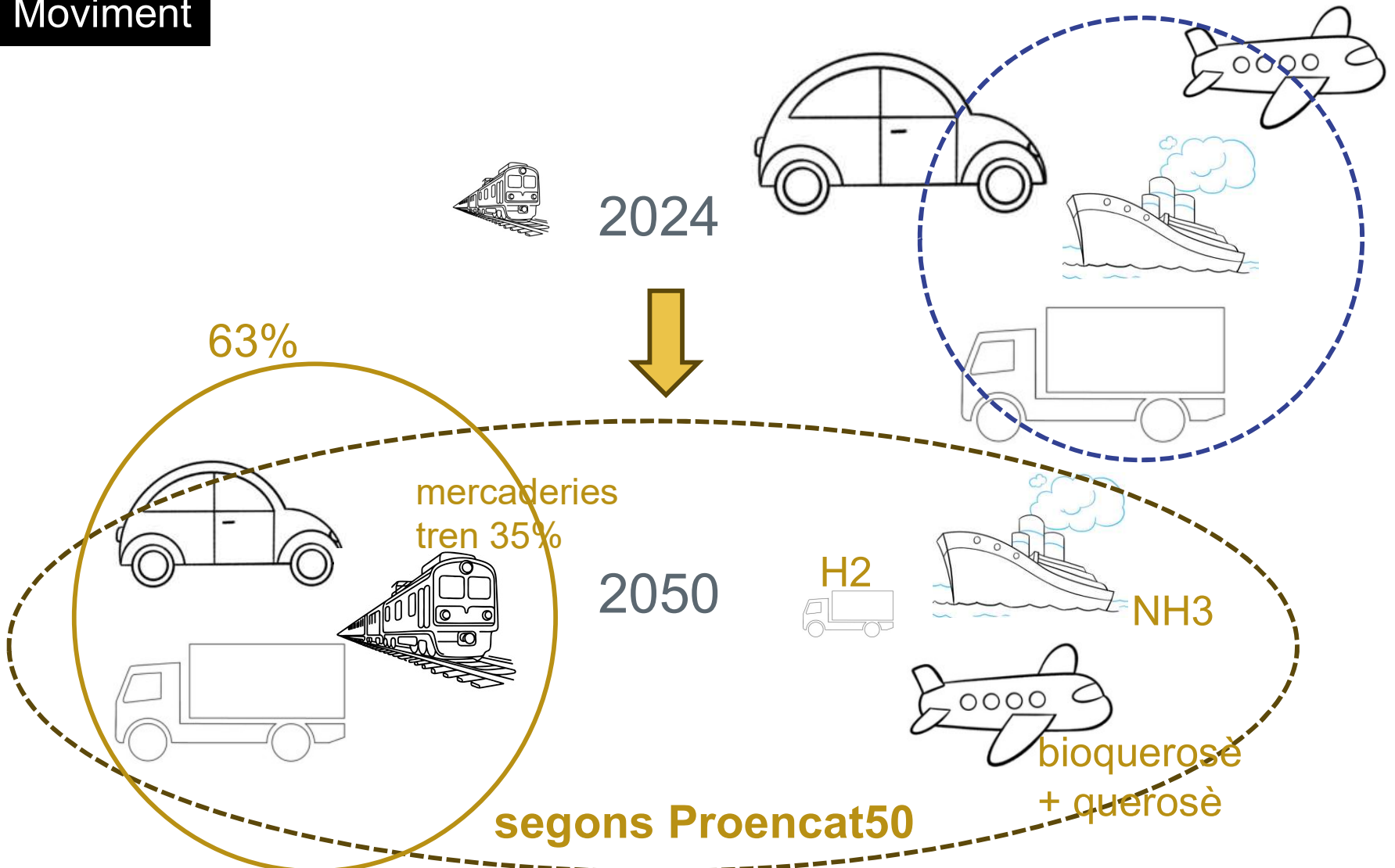
QUÈ
NECESSITEM?

Moviment

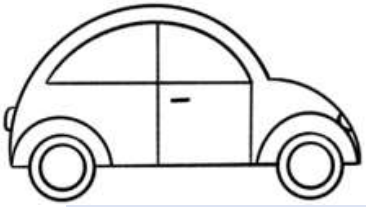
FORMA D'ENERGIA

ELECTRICITAT

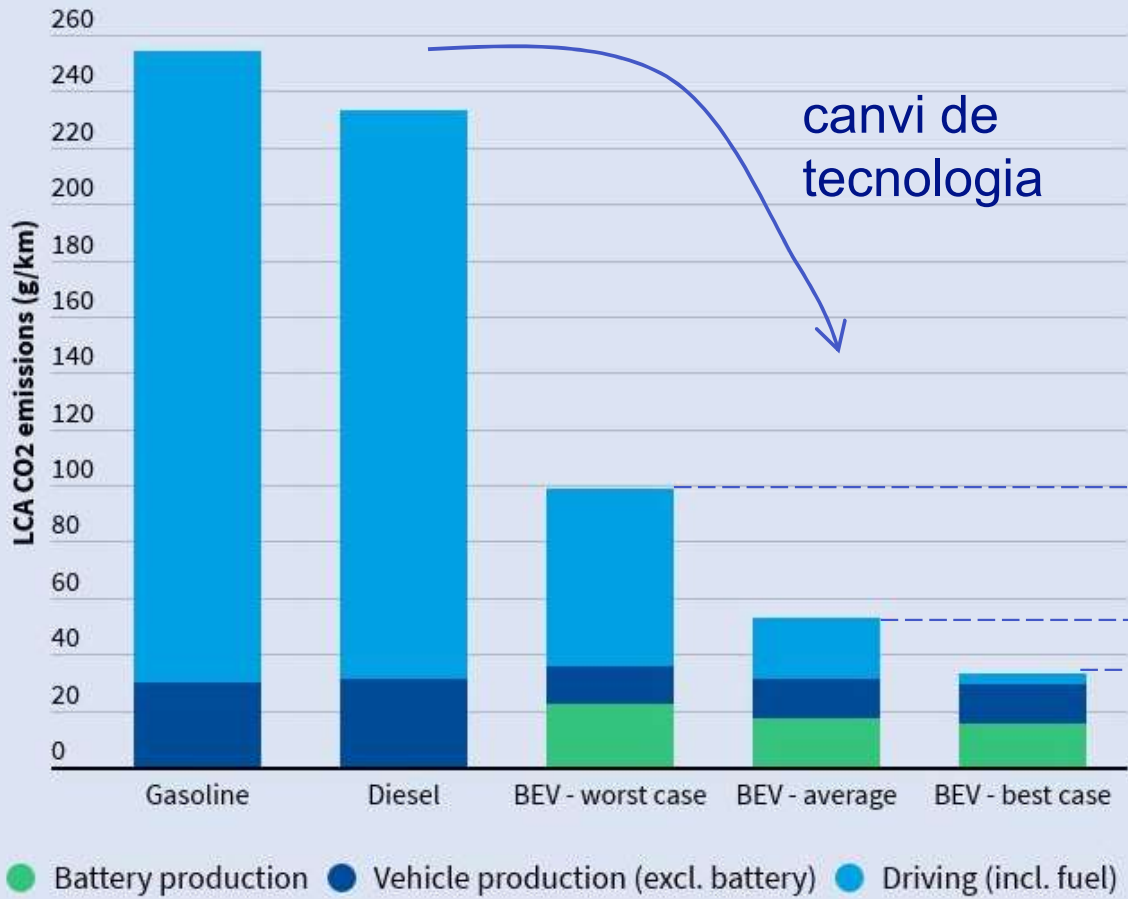
COMBUSTIBLES



La transició energètica (consum)



Electric vehicles' climate impact in the EU in 2030: best, worst and average cases



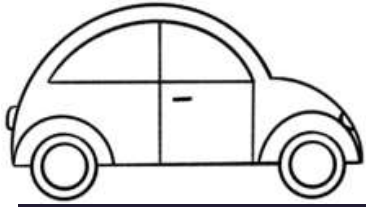
canvi de tecnologia

El cotxe elèctric és tan ecològic?

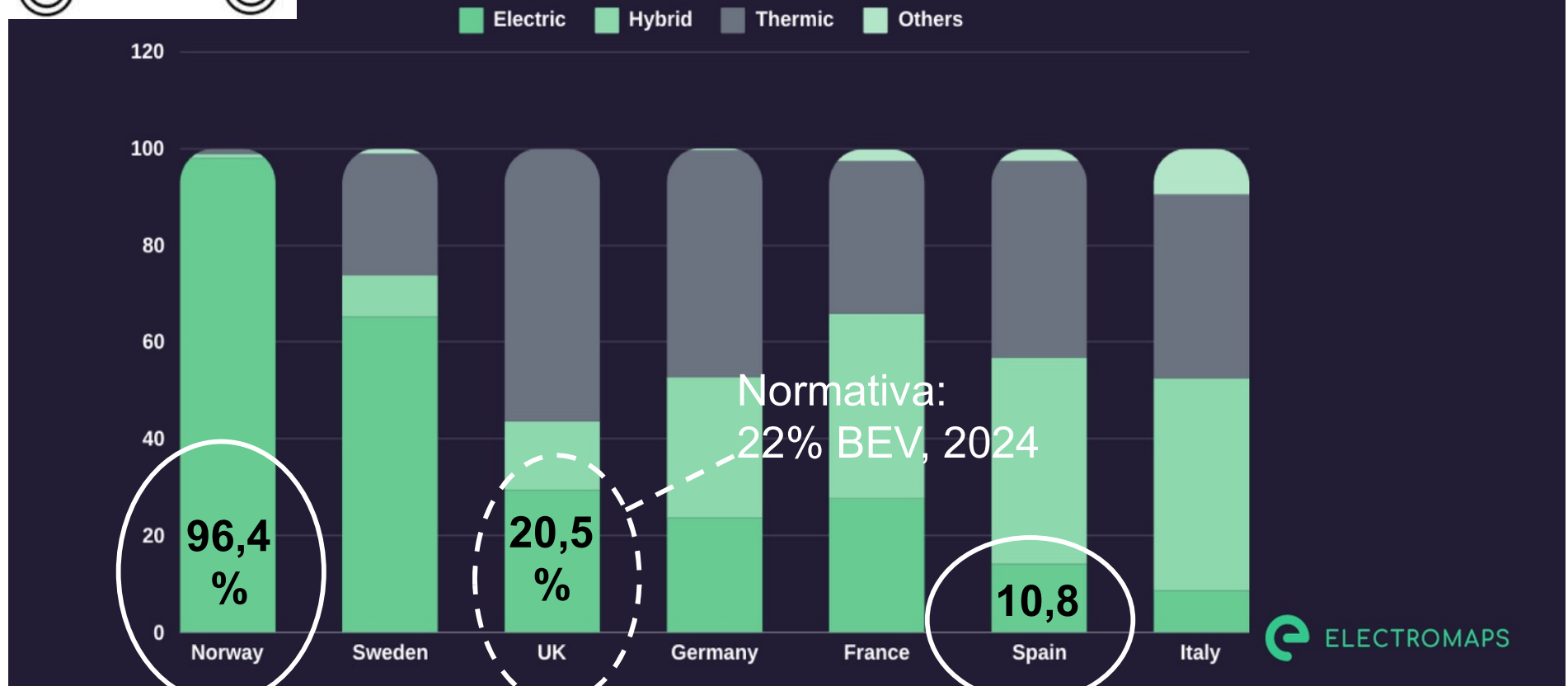
transició energètica



La transició energètica (consum)



Sales in Europe - Q3 2024

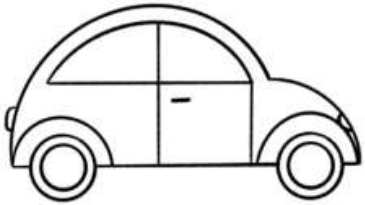


↑
incentius
punts de recàrrega
↑

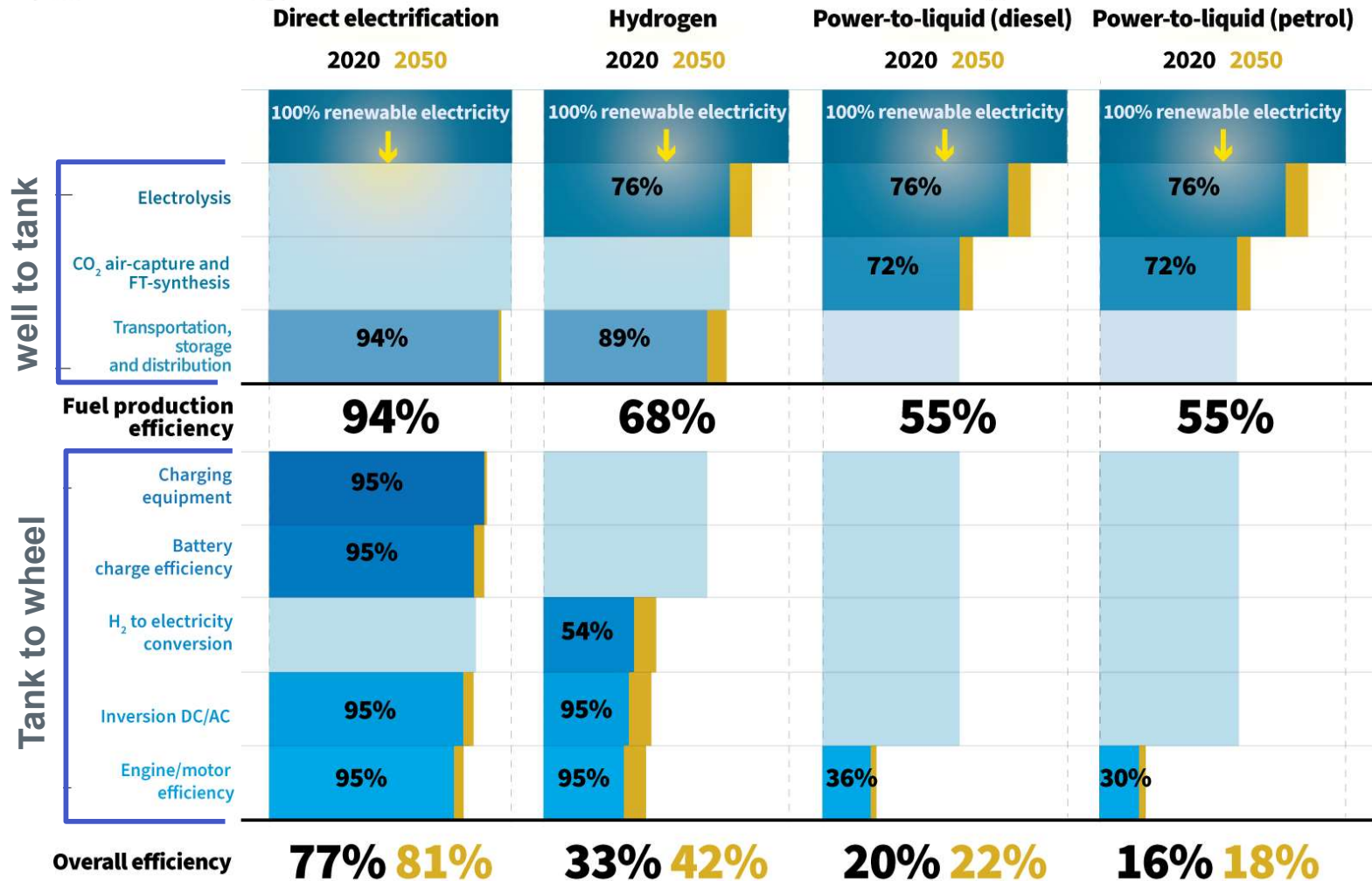
Alternatives tecnològiques descartades:

biocombustibles, H₂ verd, combustibles sintètics

La transició energètica (consum)

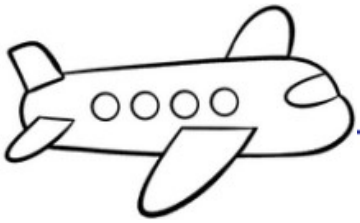


electrification most efficient by far



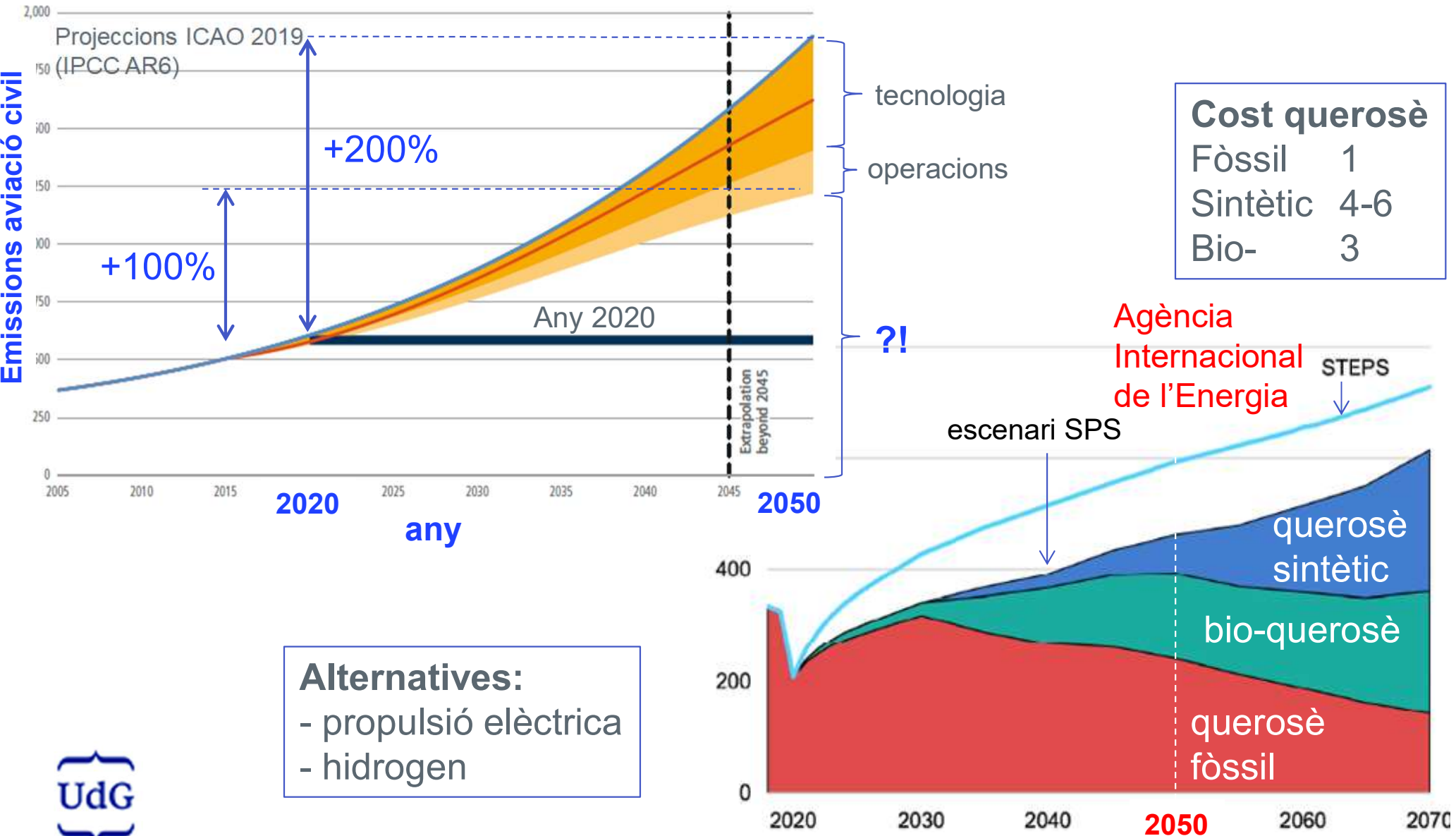
COMBUSTIBLES SINTÈTICS PEL COTXE,
(H₂, e-gasolina, e-diesel)
CAP FUTUR

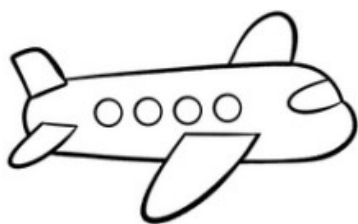
Notes: To be understood as approximate mean values taking into account different production methods. Hydrogen includes onboard fuel compression. Excluding mechanical losses.



La transició energètica (consum)

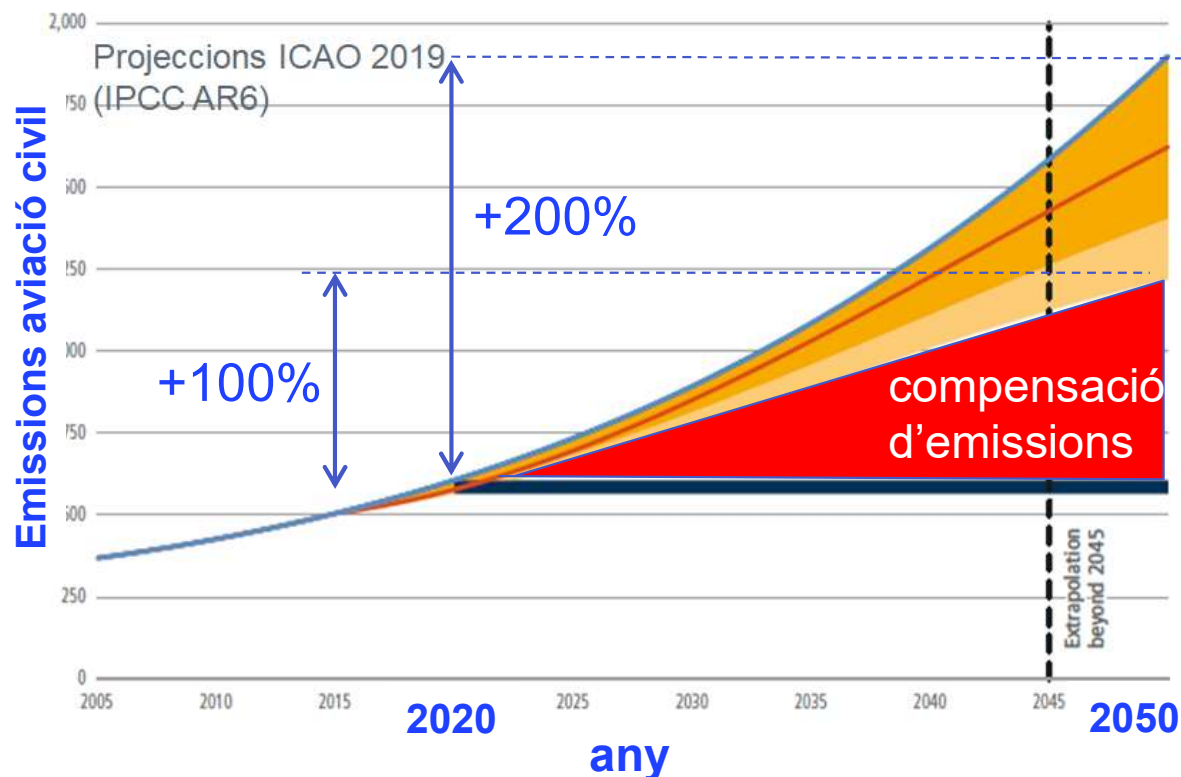
DESCARBONITZAR L'AVIACIÓ





La transició energètica (consum)

DESCARBONITZAR L'AVIACIÓ



Reducció?

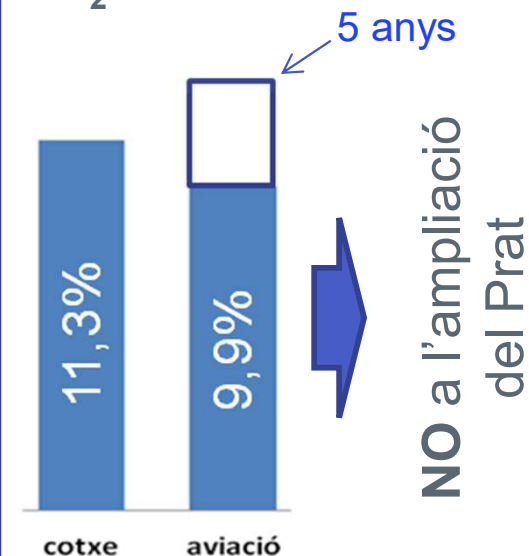
ACTUAR SOBRE LA DEMANDA

- prohibir descomptes a viatgers freqüents
- detallar emissions en la publicitat
- taxes al querosè, etc.
- fomentar 'AVE'

'SOLUCIÓ' del sector:
Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSAIA)



CO₂ CATALUNYA 2019



Processos industriais

Processos industrials

PROCESSOS DE DESCARBONITZACIÓ DIFÍCIL:

- **Ciment** (i ceràmica)
- Siderúrgia
- **Petroquímica i refineria**

| | | |
|--------|-------|---------------------------------|
| 3%* | 5,2%* | } emissions de CO _{2e} |
| 7%# | ? | |
| 2,2%* | 5%* | |
| al món | a CAT | *procés #procés+energia |

Processos industrials

CIMENT

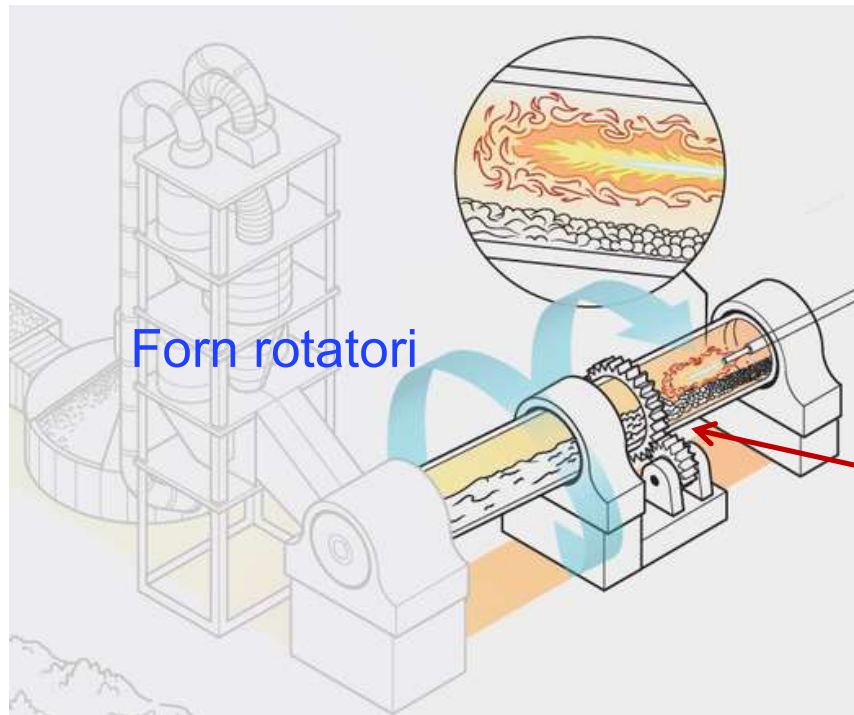
Emissions CO₂ ciment CAT (2017)*

procés

2119 kt ← ~ 7% CO₂ CAT

combustió

1123 kt



Electrificació
molt difícil



biogàs

gas

Descomposició minerals:
 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$



formulacions menys
pedra calcària

IMPOSSIBLE
ZERO EMISSIONS

Processos industrials

CIMENT

FULL DE RUTA CAP A LA NEUTRALITAT CLIMÀTICA DEL CIMENT A CATALUNYA

ciment/formigó ↓

-5% Formigó*
-46 kg CO₂ /t ciment:

- Reducció de ciment en el formigó (-40)
- Transport intern neutre (-5)
- * Concreta en anglès

-20% Ciment
-159 kg CO₂ /t ciment:

- Addicions. Reducció de clínquer en el ciment (-114)
- Millora eficiència i origen renovable de l'electricitat (-36)
- Millora transport intern neutre (-9)

-9% Construcció + (re) Carbonatació
-72 kg CO₂/t ciment:

- Millora eficiència energètica construccions
- Absorció CO₂ per construccions (-72)

comptabilitat d'emissions ?!



menys carbonats

-66% Clinquer
-539 kg CO₂/t ciment:

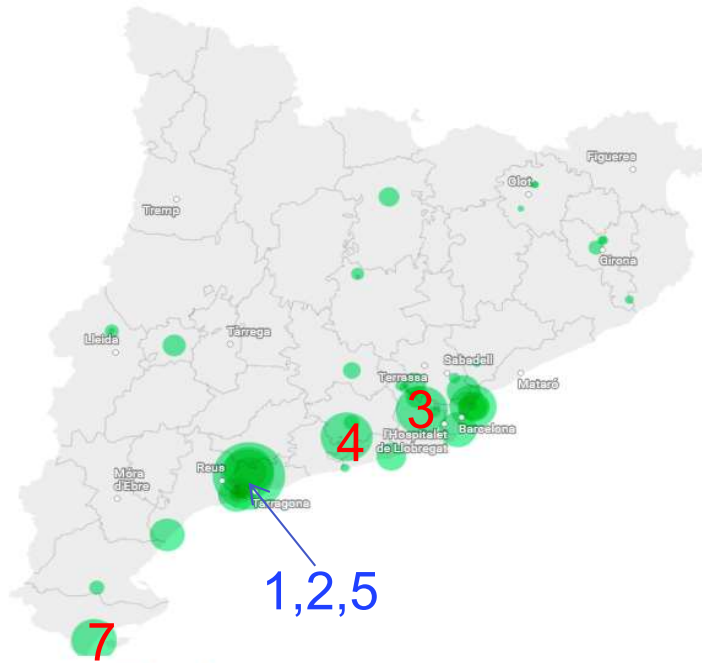
- Matèries primeres descarbonatades (-25)
- Combustibles biomassa (-120)
- Millora eficiència energètica (-84)
- Clínquers baixos en carboni (-18)
- Ús d'hidrogen i electrificació (-20)
- Captura, emmagatzematge i usos del CO₂ (CAUC) (-272)

33% captura de CO₂ compensació (offsets)

Processos industrials

PROCESSOS DE DESCARBONITZACIÓ DIFÍCIL:

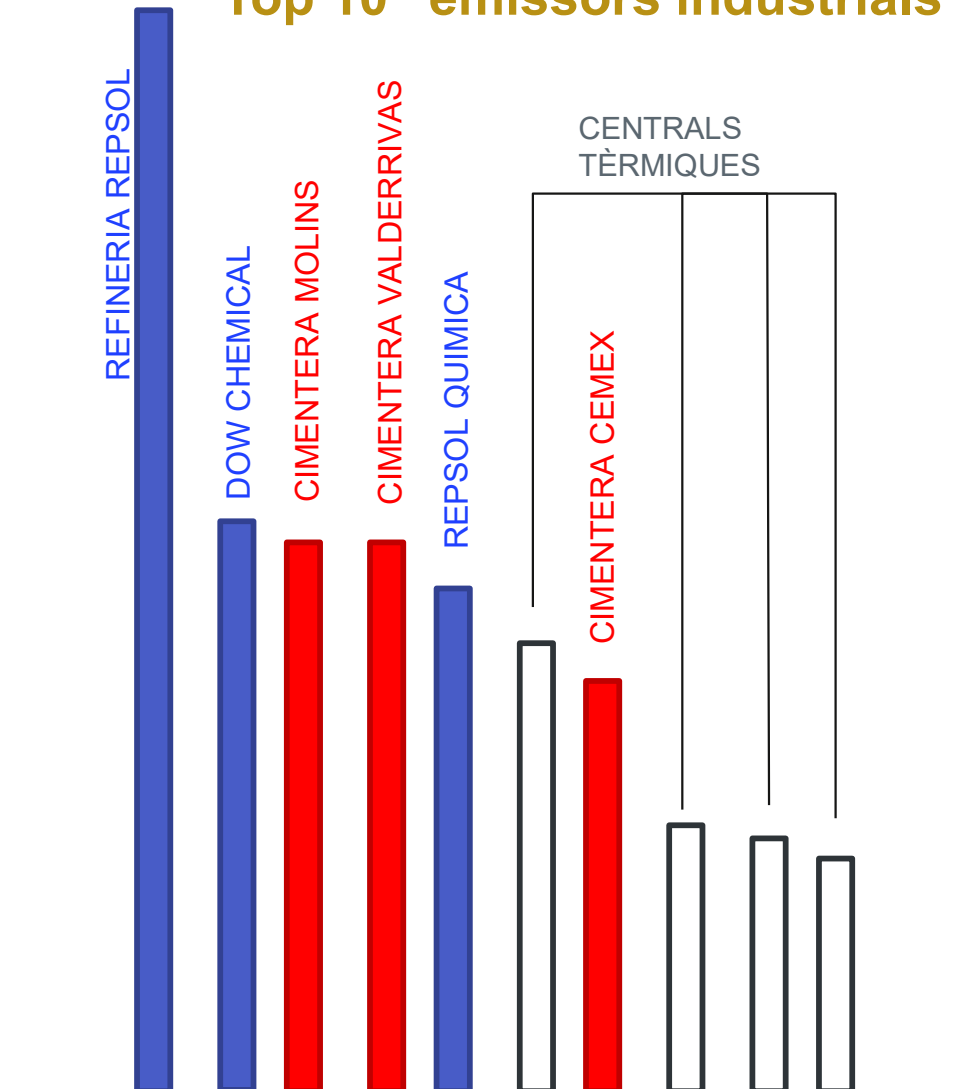
- **Ciment** (i ceràmica)
- Siderúrgia
- **Petroquímica i refinaria**



Dades cartogràfiques: ICGC · Creat amb Datawrapper



“Top 10” emissors industrials



Agència Europea pel Medi Ambient (Diari Ara, (13/07/2024))

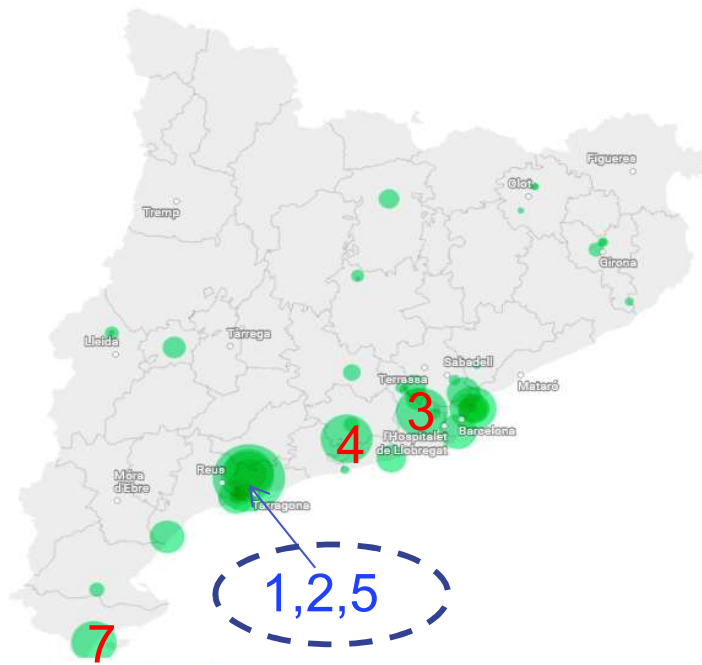
Processos industrials

PROCESSOS DE DESCARBONITZACIÓ DIFÍCIL:

- Ciment (i ceràmica)
- Siderúrgia
- **Petroquímica i refineria**

Què preveu la Proencat 50:

- Eliminació combustibles fòssils
- Reducció carburants
(transport pesant i aviació)
- Contracció de la refineria (-80%)
- Contracció petroquímica (-33%)
- H₂ negre → H₂ verd
- Carboni biogènic (residus)



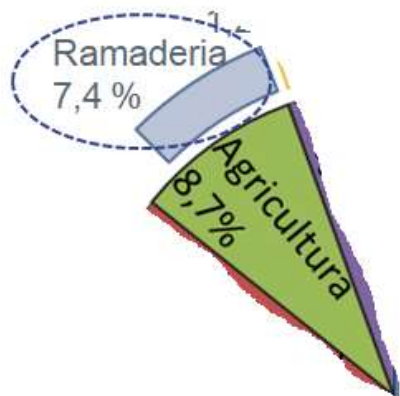
Dades cartogràfiques: ICGC · Creat amb Datawrapper

Què voldria el sector?*

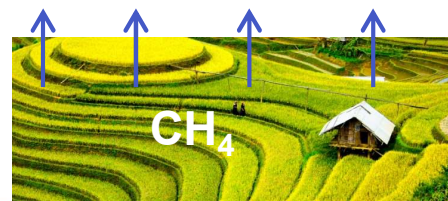
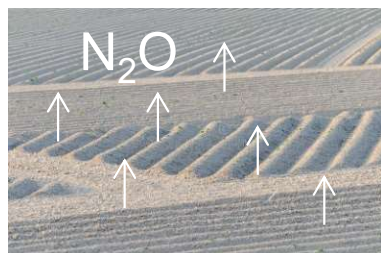
- residus + petroli + gas natural
 - captació
 - emmagatzematge geològic
 - reutilització
- } del CO₂

‘Agricultura’ (alimentació)

'Agricultura' (alimentació)



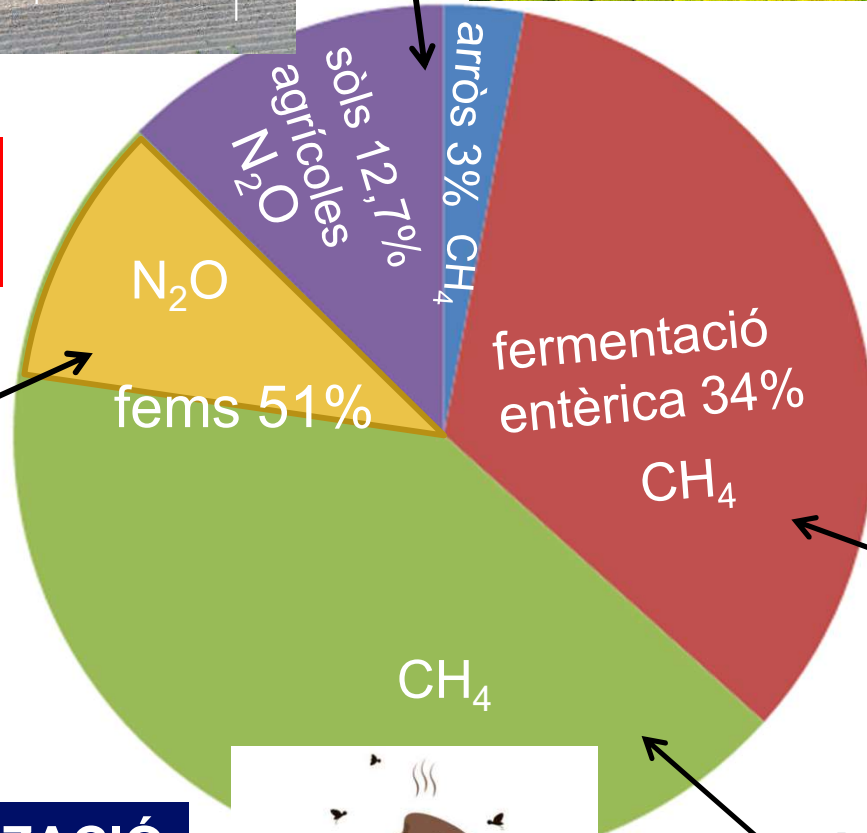
inevitable



Inventari d'emissions de GEH de CAT (2021)

3880 kt_{CO2e}

inevitable



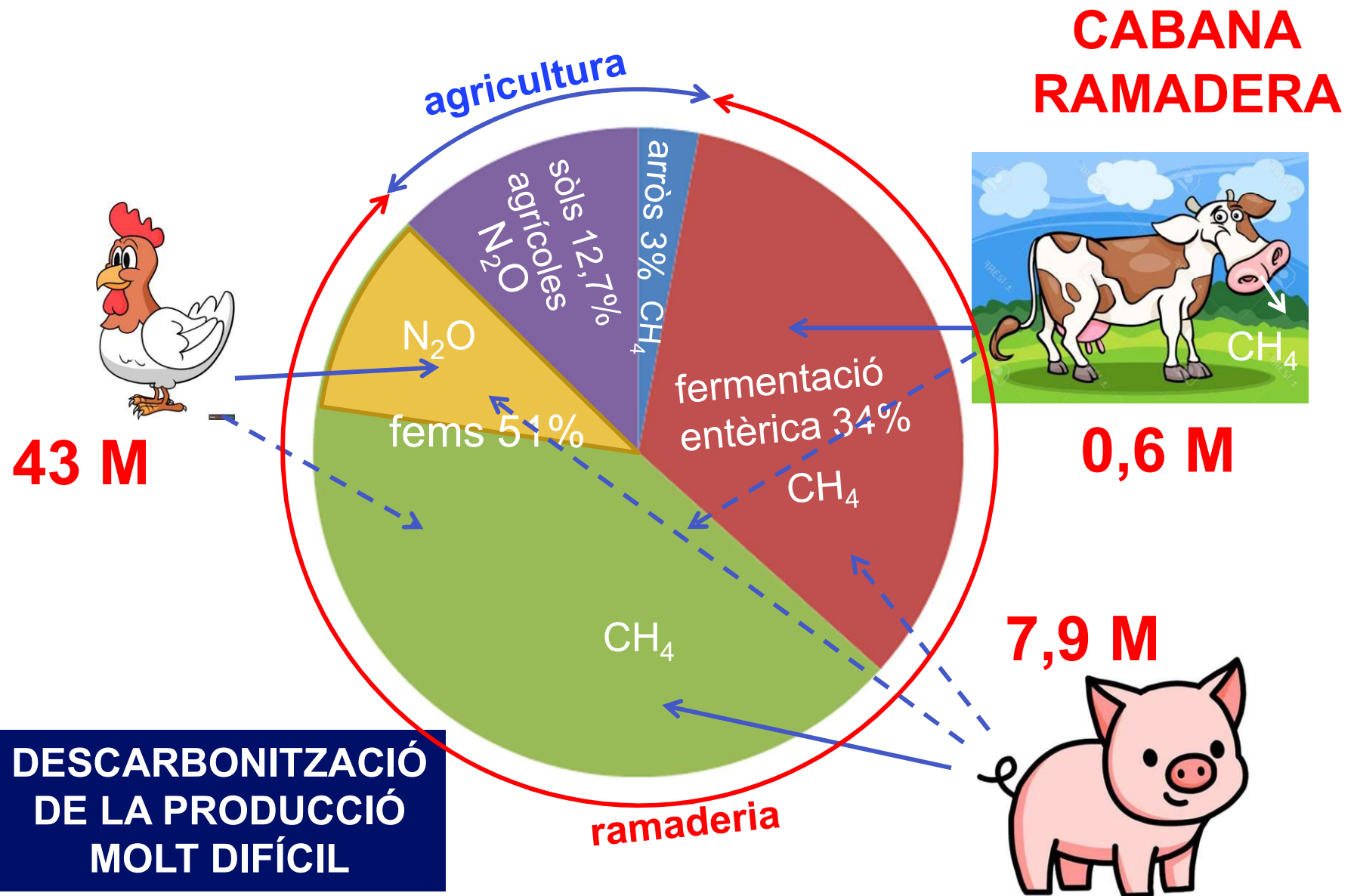
NO es pot capturar

SÍ es pot capturar

DESCARBONITZACIÓ DE LA PRODUCCIÓ MOLT DIFÍCIL



'Agricultura' (alimentació)

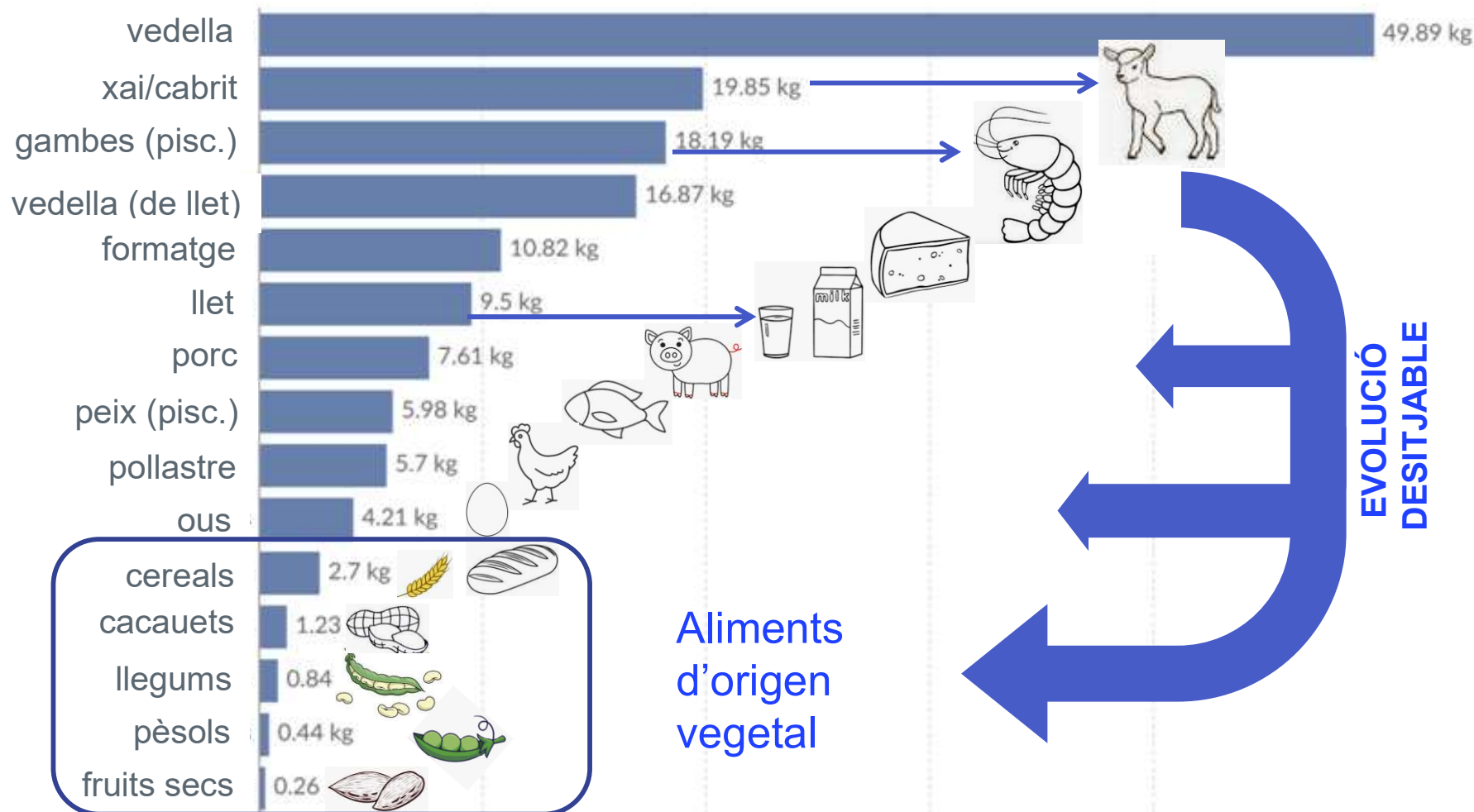


'Agricultura' (alimentació)

DESCARBONITZACIÓ DES DEL CONSUM

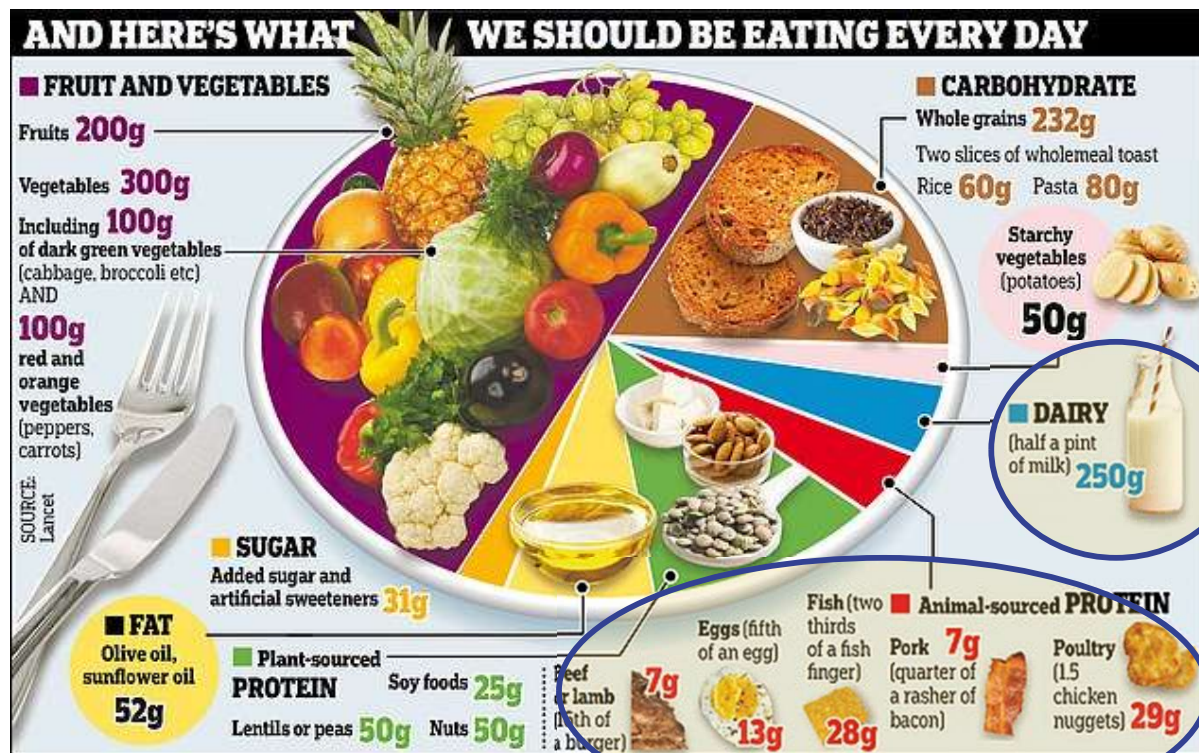
Emissions de gasos d'efecte hivernacle per 100 g de proteïna

kgCO₂e



'Agricultura' (alimentació)

“dieta planetària sostenible” (comissió EAT-Lancet)

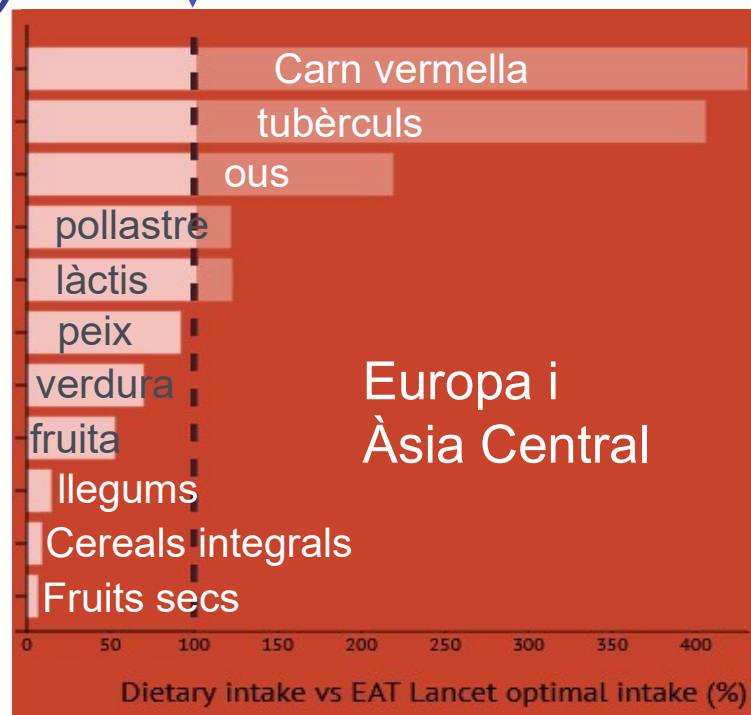


carn+peix+ous = 84 g per dia

N'estem molt lluny!!



dieta universal
100%



'Agricultura' (alimentació)

I L'AGRICULTURA ECOLÒGICA?



EU

**Emissions de CO₂ a Espanya
per l'agricultura i la ramaderia**

PRÀCTICA AGRÍCOLA ACTUAL

Espanya (29 Gt)

AGRICULTURA 100% ECOLÒGICA

Espanya
(17 Gt)

'Agricultura' (alimentació)

I L'AGRICULTURA ECOLÒGICA?



EU

Emissions de CO₂ a Espanya
per l'agricultura i la ramaderia

PRÀCTICA AGRÍCOLA ACTUAL

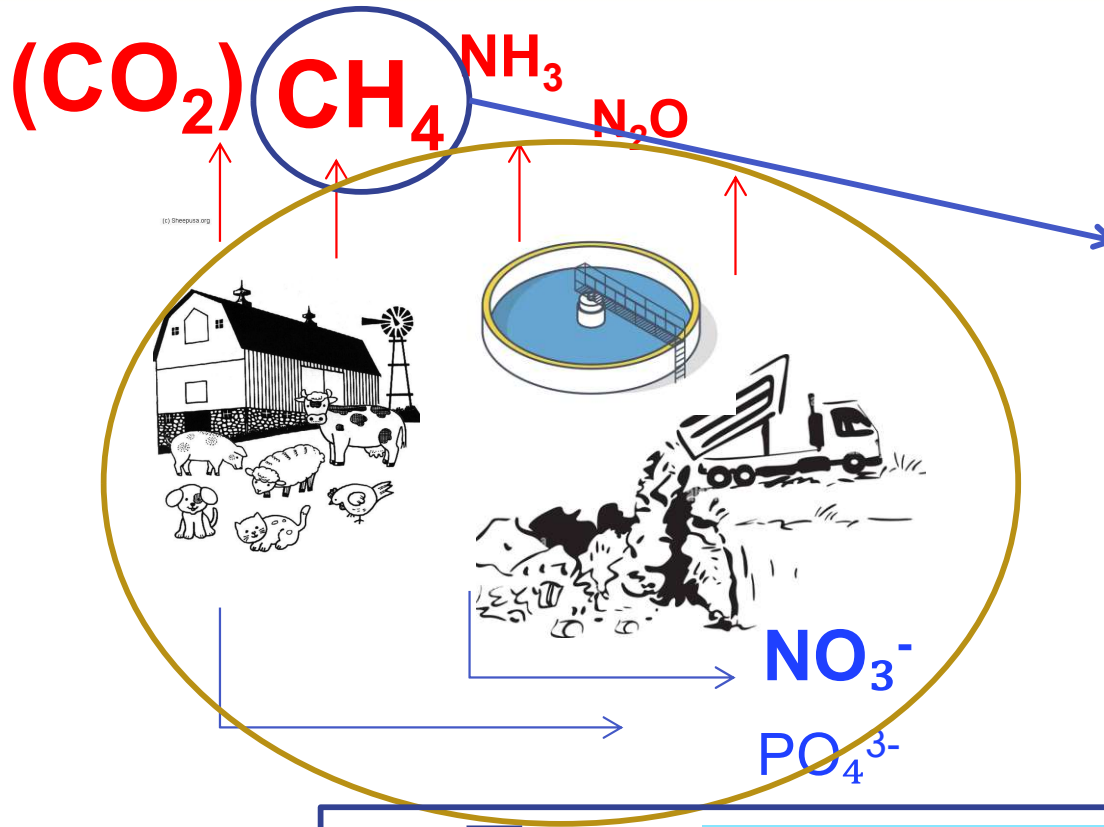


SI TOTA L'AGRICULTURA FOS ECOLÒGICA



Tractament de residus

Tractament de residus



ESCENARI ACTUAL

$133 \text{ kt}_{\text{CH}_4} = 3720 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{e}}$
(9% emissions GEH)

ESCENARI DESTIJABLE

- ➔ Adob orgànic
- ➔ biometà



2,0 TWh

(0% emissions GEH)

Tractament de residus

ESTRATÈGIA CATALANA DEL BIOGÀS 2024-2030

Horitzó 2030:

- Biogàs: 2 TWh/any
- Potència: 246 MW*
- Residus orgànics: 8.421.400 t/any
(32% dejeccions ramaderes)
- Digestat brut: 7.767.580 t/any
(95% material entrada)

Inversió: 2.280 M€
Llocs de treball:
directes 460
indirectes 1100

*En 6 anys caldria construir 50 plantes
com la del projecte de Serinyà

Polítiques climàtiques

Polítiques climàtiques

1.- Preu al carboni

- impostos als carburants↑
- subsidis als combustibles fòssils ↓
- **impost al carboni**
- **mercats de carboni**
- peatges autopistes
- ...

2.- Subsidis

- mecanismes financers
- subsidis a les renovables
- subvencions eficiència energètica
- ajudes transport públic
- ...

3.- Regulació

- codis edificació
- prohibició calderes de gas
- prohibició cotxes de combustió interna
- planificació desplegament renovables
- ...

4.- Informació

- etiquetes eficiència energètica
- petjada de carboni dels productes
- ...



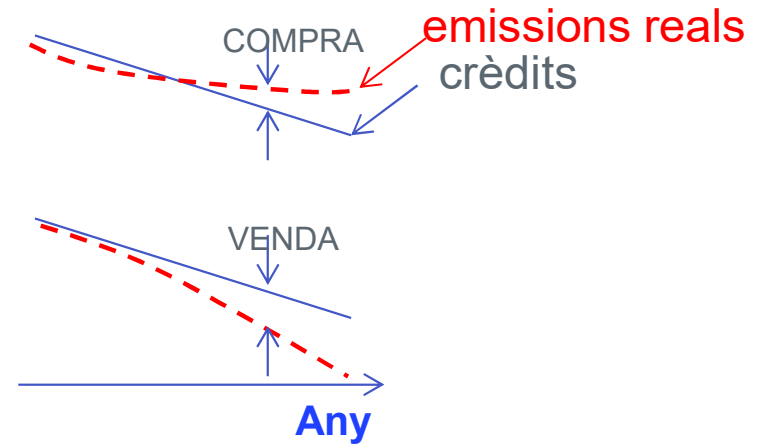
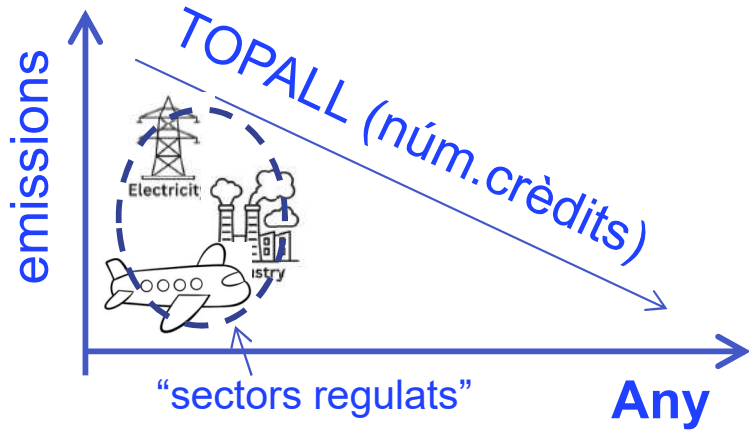
Bones intencions o accions efectives?

Science 385, 884 (2024)
Climate policies that achieved
major emission reductions

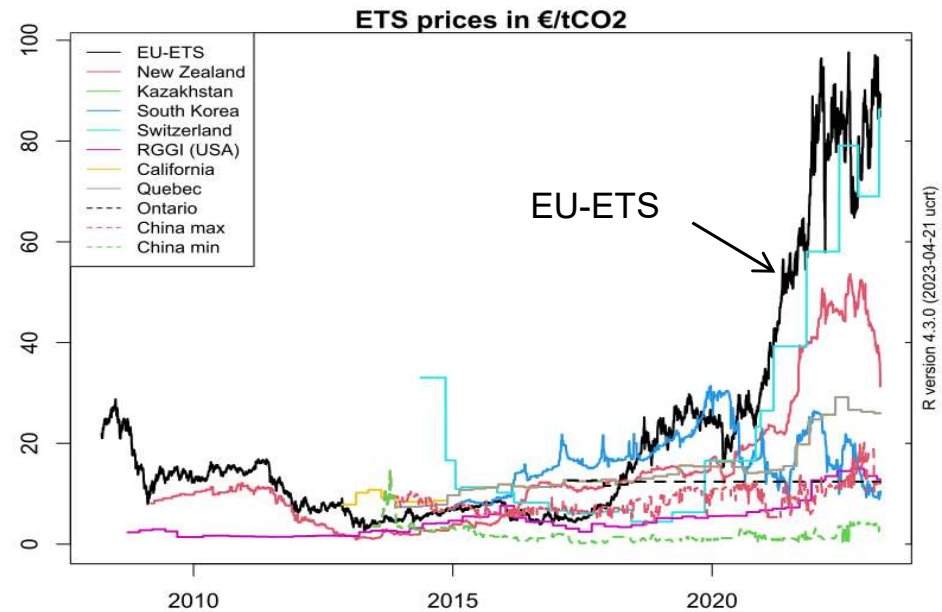
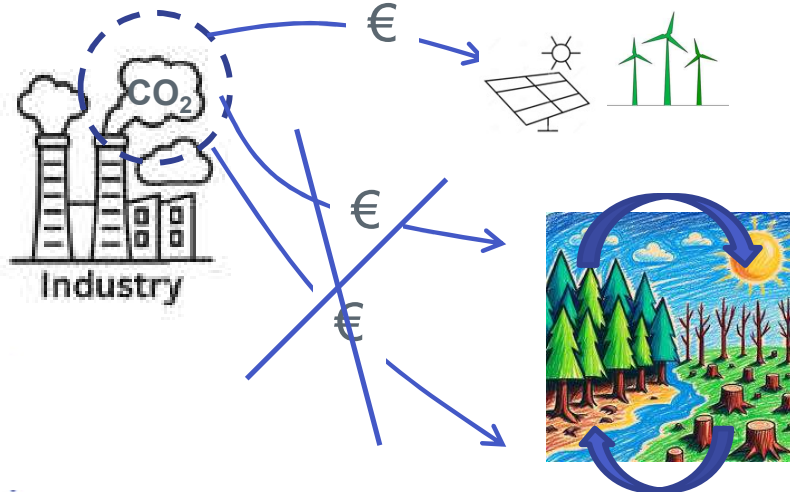
Polítiques climàtiques

Mercats de carboni (ETS)

“cap & trade”
(topall i mercat)

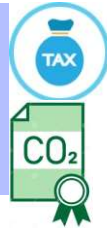


OFFSETS: taló d'Aquil·les dels ETS



Polítiques climàtiques

Impost al carboni
Mercats de carboni



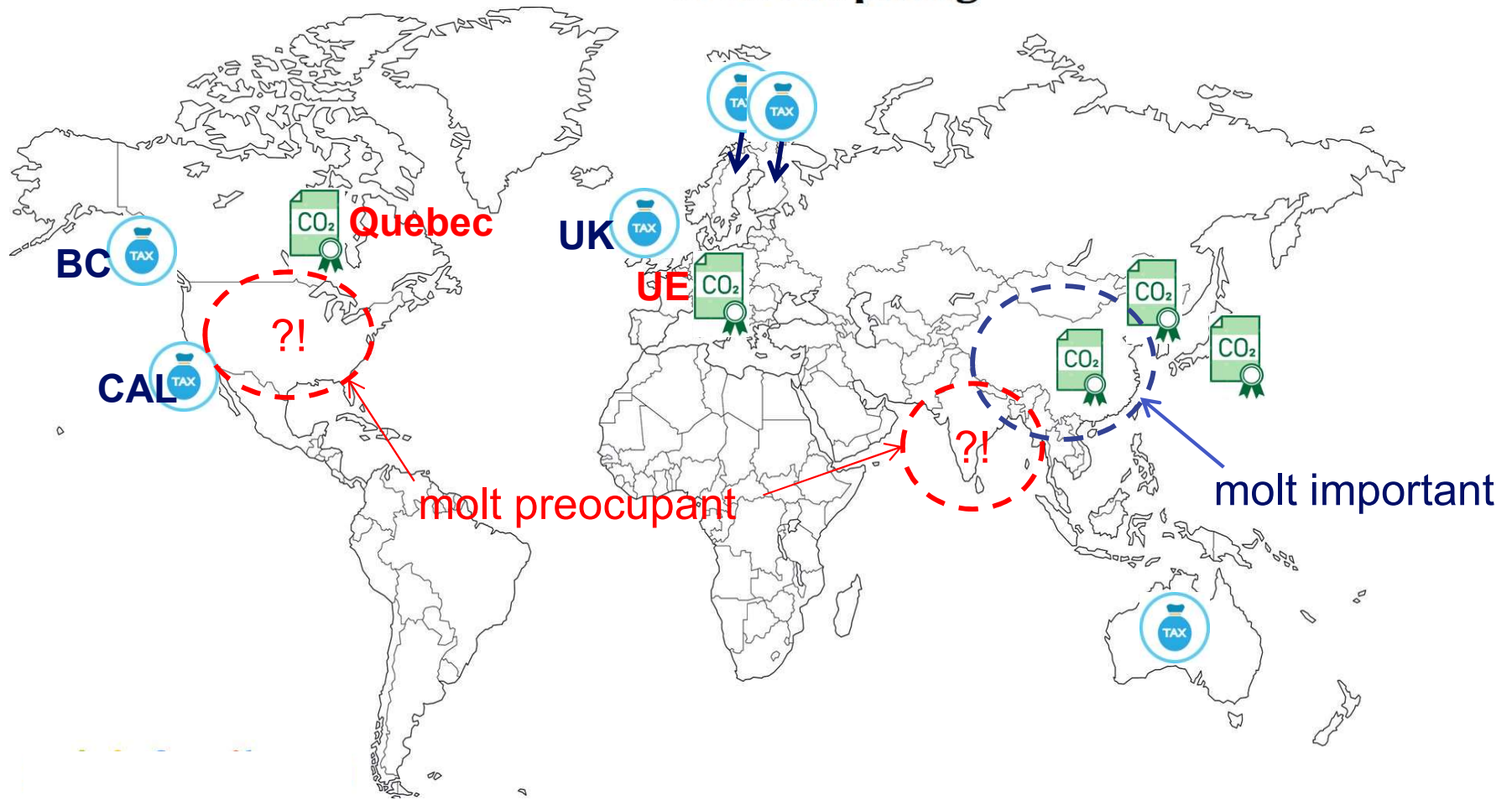
nature communications



Article

<https://doi.org/10.1038/s41467-024-48512-w>

Systematic review and meta-analysis of ex-post evaluations on the effectiveness of carbon pricing



Polítiques climàtiques

Impost al carboni Mercats de carboni



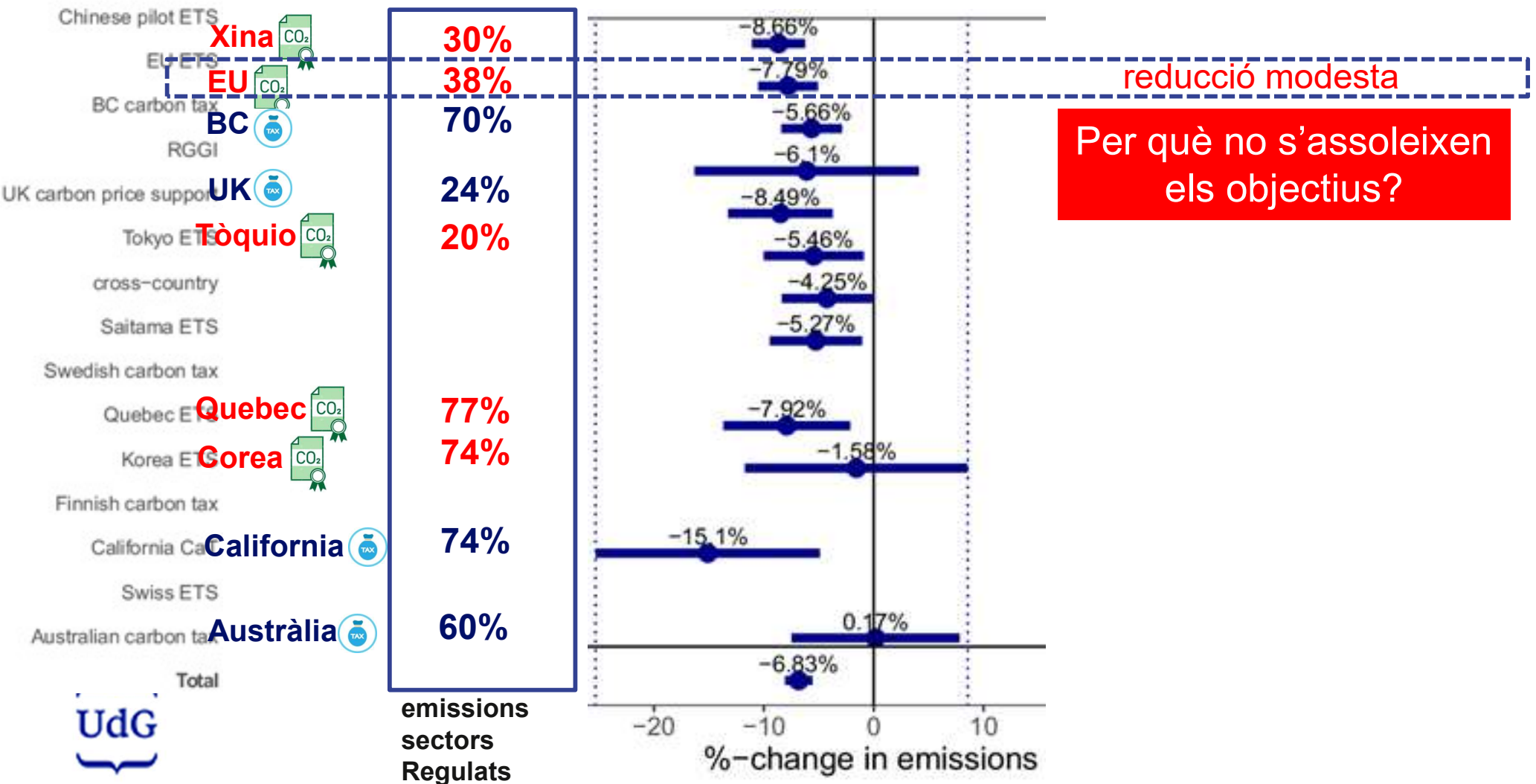
nature communications



Article

<https://doi.org/10.1038/s41467-024-48512-w>

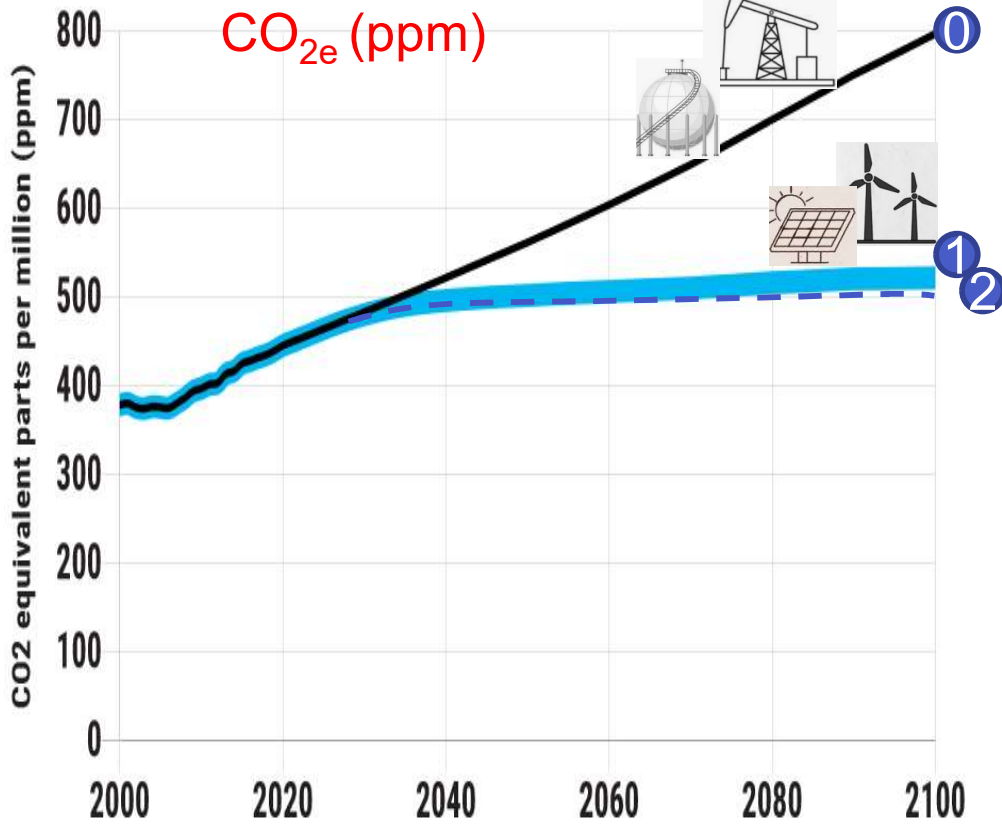
Systematic review and meta-analysis of ex-post evaluations on the effectiveness of carbon pricing



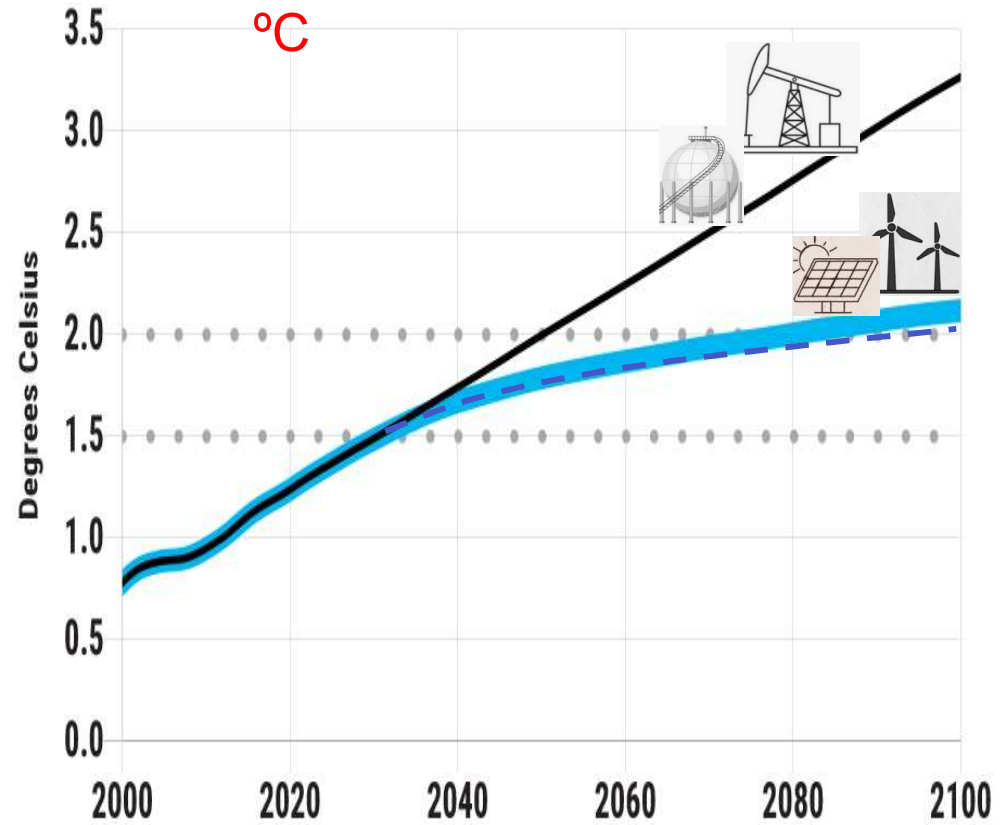
Resum

Resum

Concentració a l'atmosfera
CO_{2e} (ppm)

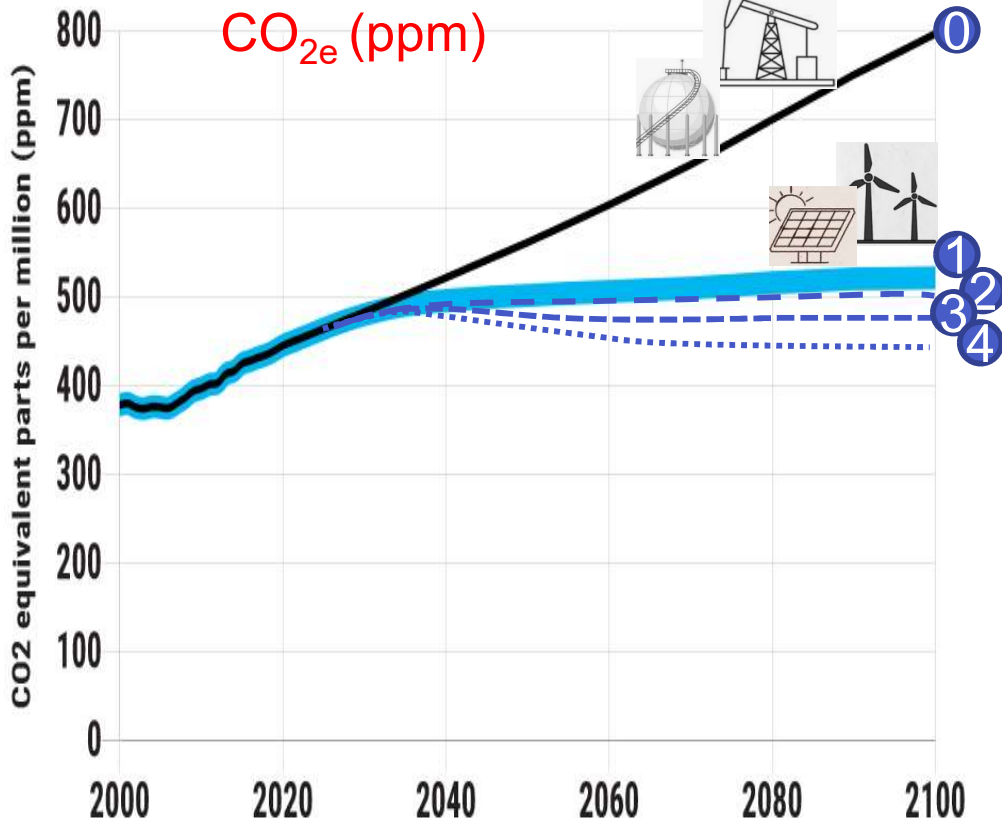


Escalfament global
°C

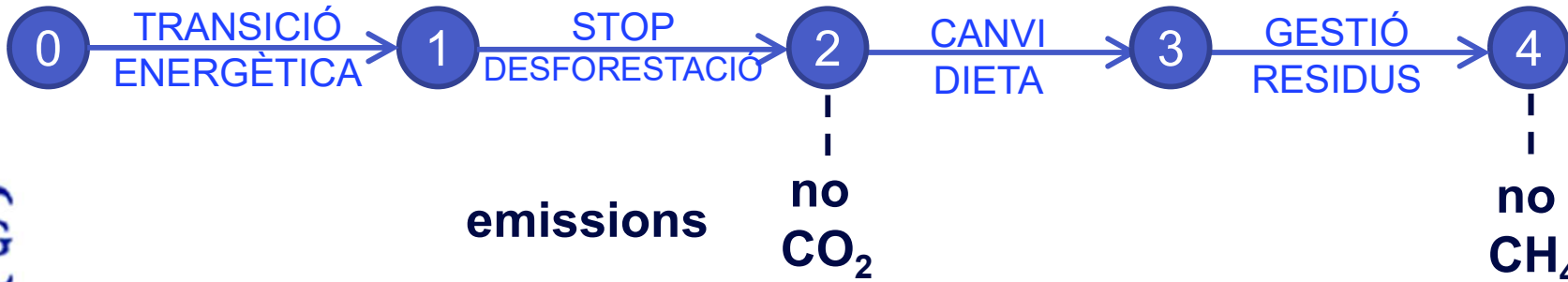
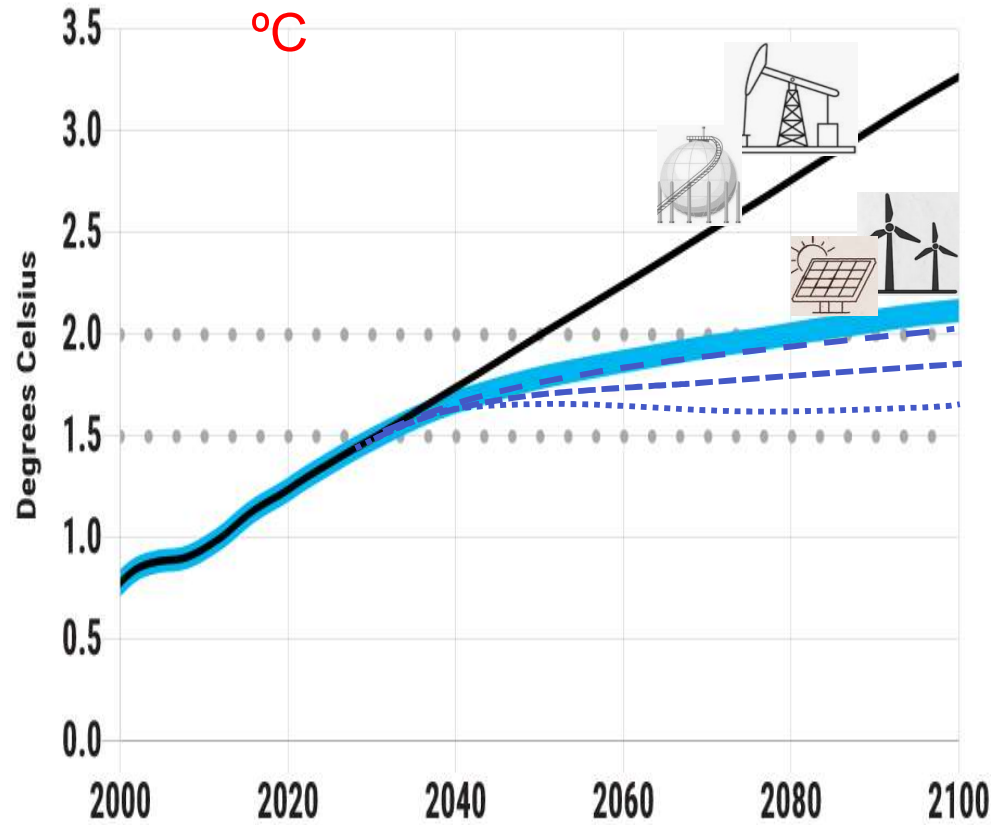


Resum

Concentració a l'atmosfera
CO_{2e} (ppm)



Escalfament global
°C



Moltes gràcies