

Repensar el progreso: sostenibilidad,
justicia y circularidad en tiempos de
límites.

Más allá del crecimiento



**Transición ecosocial: una mirada sistémica ante el
colapso energético.**

Dra. Marga Mediavilla

Colabora:

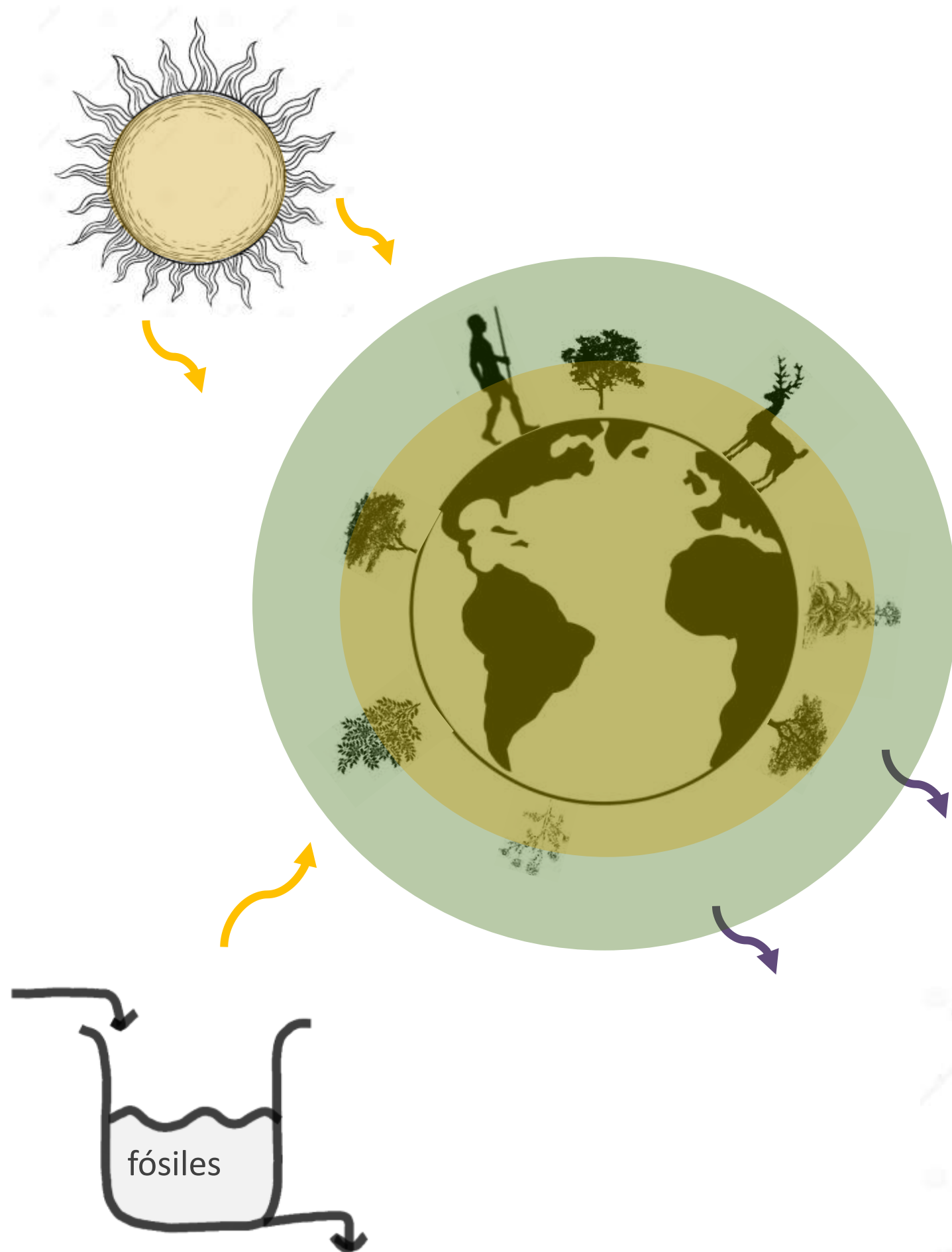


50^a Escola
de Camins



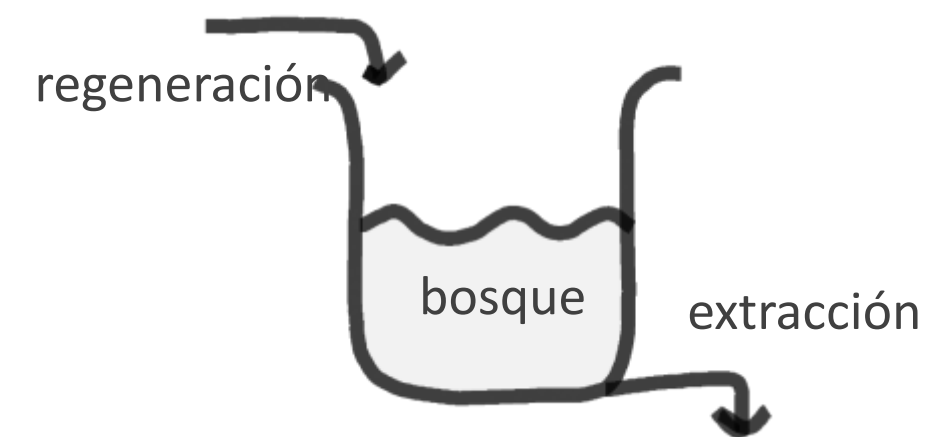
REVO

Conferencia organizada con el apoyo de
la distinción **Jaume Vicens Vives 2024**.
Proyecto "Formación en Ingeniería
para un Futuro Sostenible"

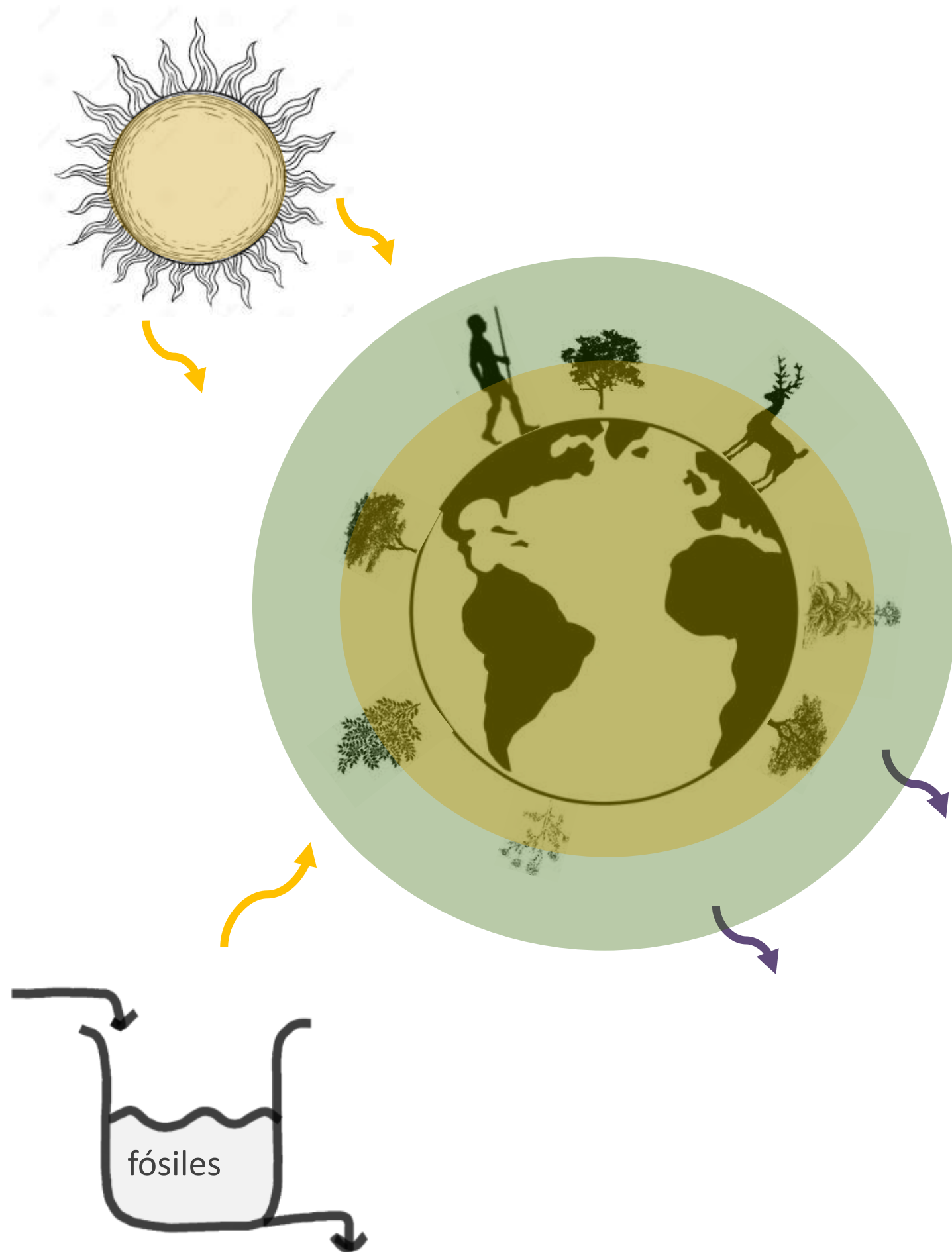


Sociedad sostenible:

- Energía 100% del sol (no agotable)
- Reciclado $\cong 99\%$
- Equilibrio flujos biosfera: sumideros y recursos (ritmos)
- TRE viable



$$TRE = \frac{E \text{ extraída}}{E \text{ invertida}}$$

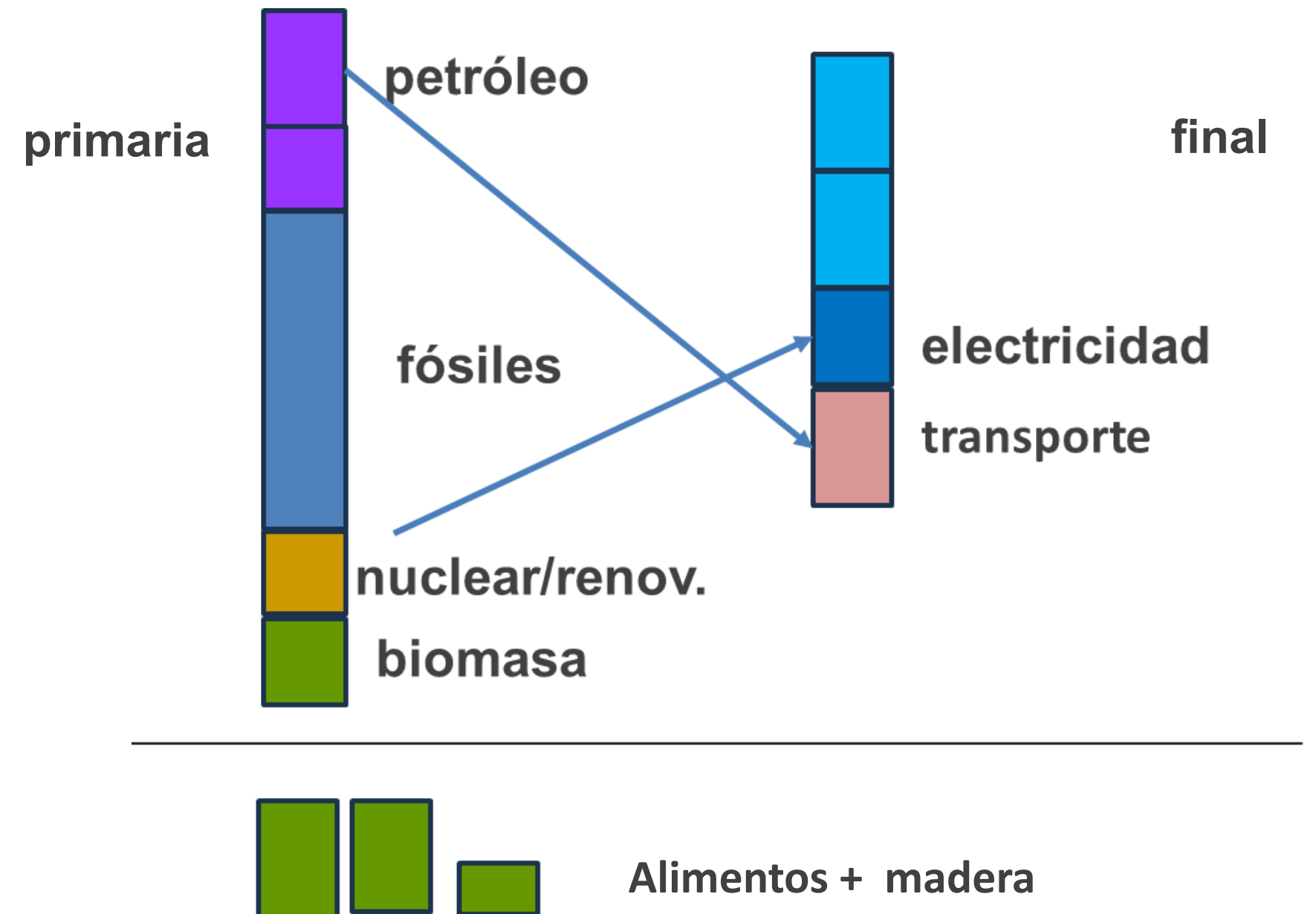


Consumo actual

- Energía Primaria: 600 EJ
 - 160 EJ petróleo
 - 30 EJ nuclear
 - 56 EJ biomasa
 - 15 EJ hidráulica
 - 13 EJ solar/eólica

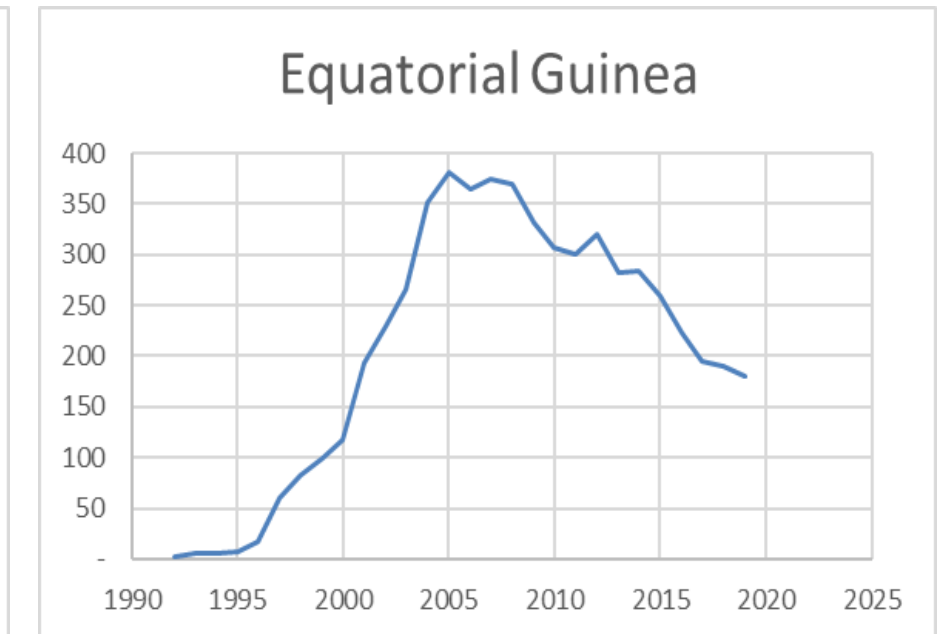
- Energía Final: 400 EJ
 - 100 EJ transporte
 - 80 EJ electricidad

Consumo alimentos +
Madera 250 EJ



¿Hemos llegado al pico del petróleo?

Oil: Production*								Growth rate per annum		Share
Thousand barrels daily		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021	2011-21	2021
Canada		4464	4813	5244	5372	5130	5429	5.8%	4.4%	6.0%
USA		2461	2227	2072	1921	1912	1928	0.8%	-4.1%	2.1%
USA		12354	13140	15310	17114	16458	16585	0.8%	7.7%	18.5%
Total North America		19278	20189	22625	24407	23500	23942	1.9%	5.3%	26.5%
Brazil		255	295	301	317	301	323	2.8%	5.8%	5.7%
Russia		2607	2731	2691	2890	3030	2987	-1.4%	3.2%	3.3%
Colombia		380	305	360	355	381	375	0.3%	5.1%	3.8%
Venezuela		545	531	517	511	470	473	-1.8%	5.8%	5.8%
Libya		141	130	136	144	131	128	-0.8%	1.1%	1.1%
United Arab Emirates		80	85	87	85	78	77	-0.5%	5.6%	5.1%
Algeria		2566	2220	1631	1022	640	654	2.1%	-13.4%	0.7%
Other S. & Cent. America		135	133	128	122	188	225	20.9%	4.5%	0.2%
Total S. & Cent. America		7589	7295	6649	6297	5925	5909	-0.3%	-2.3%	6.6%
Germany		142	138	116	103	72	65	-10.2%	-11.7%	0.1%
Italy		78	88	87	80	112	100	-10.0%	-0.9%	0.1%
France		1880	1871	1851	1783	2005	2025	1.1%	-0.1%	2.3%
Spain		79	78	75	75	72	70	-3.8%	-0.4%	0.1%
United Kingdom		1015	1045	1042	1115	1044	874	-16.8%	-3.4%	1.1%
Other Europe		253	305	308	302	250	285	-1.3%	-1.8%	2.2%
Total Europe		3623	3579	3538	3449	3597	3420	-4.9%	-1.3%	3.8%
Bermuda		858	785	795	775	714	722	-3.2%	-5.9%	0.8%
Kazakhstan		1555	1838	1904	1918	1808	1819	0.3%	0.7%	2.0%
Russian Federation		11342	11274	11502	11879	10667	10844	2.6%	0.4%	12.2%
Turkmenistan		270	289	259	254	218	252	15.3%	0.8%	9.3%
USSR		14171	14371	14622	14733	13506	13829	2.4%	0.2%	15.4%
Belgium		87	81	84	87	81	80	-0.2%	4.8%	0.1%
France		38	37	38	38	35	38	1.0%	1.0%	3.4
Total CIS		14198	14371	14622	14733	13506	13829	2.4%	0.2%	15.4%
Iran		4378	4854	4805	3398	3084	3620	17.4%	5.0%	4.0%
Iraq		4423	4538	4832	4779	4114	4102	-0.3%	4.0%	4.8%
Kuwait		3150	3009	3050	2978	2695	2741	1.7%	-0.6%	3.0%
Oman		1004	971	978	971	951	971	2.2%	0.0%	1.1%
Qatar		1780	1786	1793	1727	1714	1748	1.8%	-0.4%	1.9%
Saudi Arabia		12408	11892	12281	11832	11038	10854	-0.8%	-0.1%	12.2%
UAE		28	29	34	34	35	36	13.2%	12.2%	0.1%
United Arab Emirates		4038	3810	3812	3699	3693	3668	-0.7%	1.1%	4.1%
Yemen		48	75	84	88	88	81	-3.2%	11.2%	0.1%
Other Middle East		214	208	207	214	188	181	1.1%	-0.6%	0.2%
Total Middle East		31670	31233	31559	30026	27609	28158	2.0%	0.1%	31.3%
Algeria		1571	1548	1511	1481	1338	1353	1.3%	-1.8%	1.8%
Angola		1878	1873	1818	1825	1518	1584	-10.8%	-8.5%	-3.8%
Chad		117	98	118	127	126	118	-7.7%	0.2%	0.1%
Republic of Congo		232	270	330	336	307	274	-10.7%	-0.9%	0.3%
Egypt		881	880	874	863	830	868	-3.8%	-3.6%	0.7%
Equatorial Guinea		223	198	198	185	185	180	-1.7%	1.4%	0.2%
Ethiopia		201	218	183	213	201	181	-12.2%	2.8%	0.2%
Ghana		410	390	1180	1239	420	1280	188.4%	8.4%	1.8%
Guinea		1888	1888	2005	2121	1828	1638	-13.2%	4.1%	2.8%
South Sudan		31	31	31	31	31	31	-7.3%	-	-0.2%
Sudan		38	38	38	38	38	38	-	14.3%	0.1%
Togo		34	36	34	31	37	38	21.2%	-4.8%	0.1%
Other Africa		270	317	315	348	331	293	-11.5%	3.9%	0.2%
Total Africa		7661	8123	8269	8362	6928	7286	5.2%	-1.5%	8.1%
Burkina Faso		383	323	343	459	503	538	9.3%	-1.0%	9.3%
Burundi		121	113	112	111	115	102	-9.2%	-4.8%	0.1%
China		3999	3846	3802	3848	3901	3994	2.4%	-0.2%	4.4%
Cote d'Ivoire		874	885	885	856	773	786	-8.3%	-2.5%	0.8%
Dominican Republic		873	827	808	781	742	882	8.5%	-3.1%	8.8%
Malaysia		720	718	713	672	616	573	-7.0%	-1.4%	0.6%
Myanmar		888	886	873	873	827	768	-6.5%	-0.7%	0.6%
Niger		317	384	383	238	207	182	-17.2%	-4.8%	0.2%
Other Asia Pacific		381	273	234	236	208	199	-4.2%	-4.1%	0.2%
Total Asia Pacific		8033	7765	7610	7642	7420	7335	-1.3%	-1.2%	8.2%
Total World		82053	82546	84074	84916	88484	88877	1.6%	0.7%	100.0%
of which OECD		24011	24811	27230	29058	28198	28405	0.7%	3.3%	31.6%
Non-OECD		68041	67735	67838	65860	60296	61471	1.9%	-0.5%	68.4%
OPEC		37467	37206	36995	34957	30839	31745	2.9%	-0.8%	35.3%
Non-OPEC		54588	55340	57879	59999	57855	58131	0.8%	1.6%	64.7%
European Union #		471	465	448	415	393	366	-7.0%	-4.8%	0.4%
Source: includes data from EGE Iran Service.										
* Includes crude oil, share oil, of sands.										

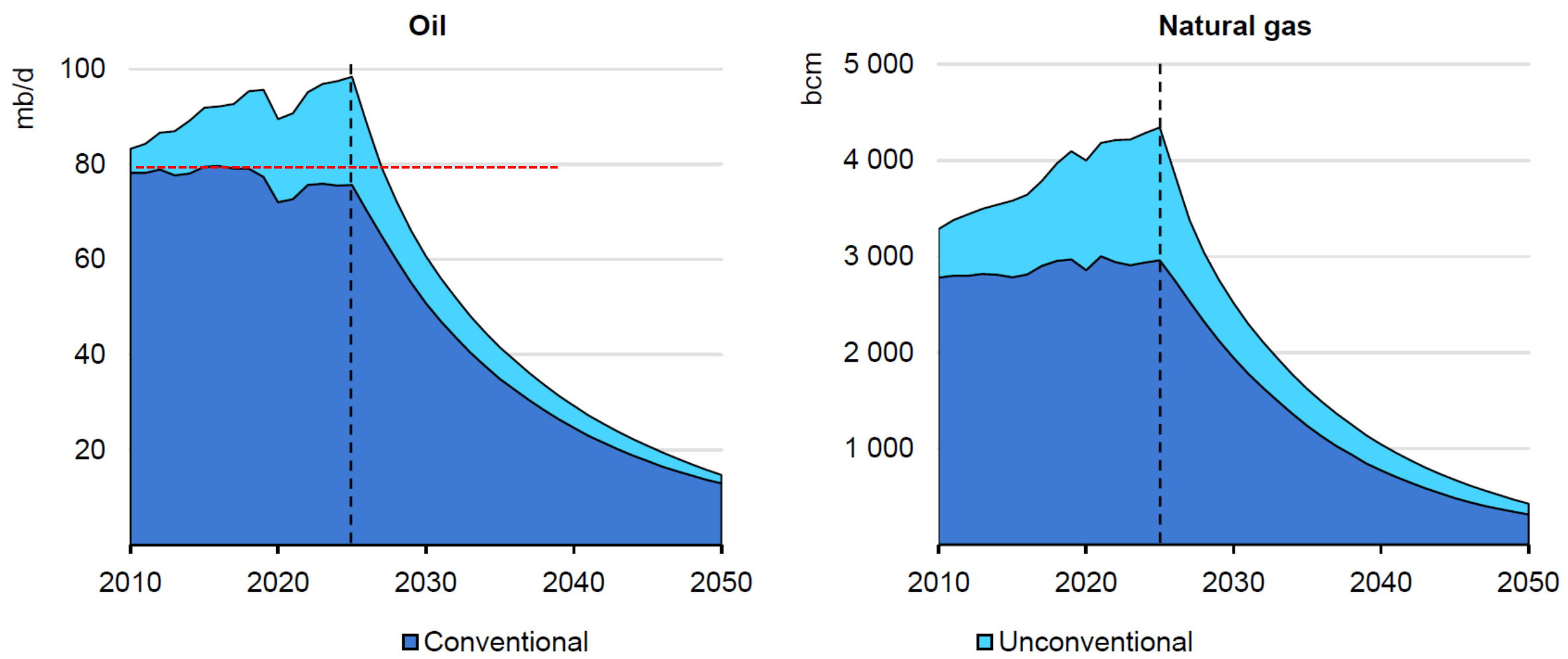


Producción de petróleo de 53 países/áreas:

- En franco declive: 30
- Crecimiento claro: 3
- Tendencia no muy clara/estancados: 20

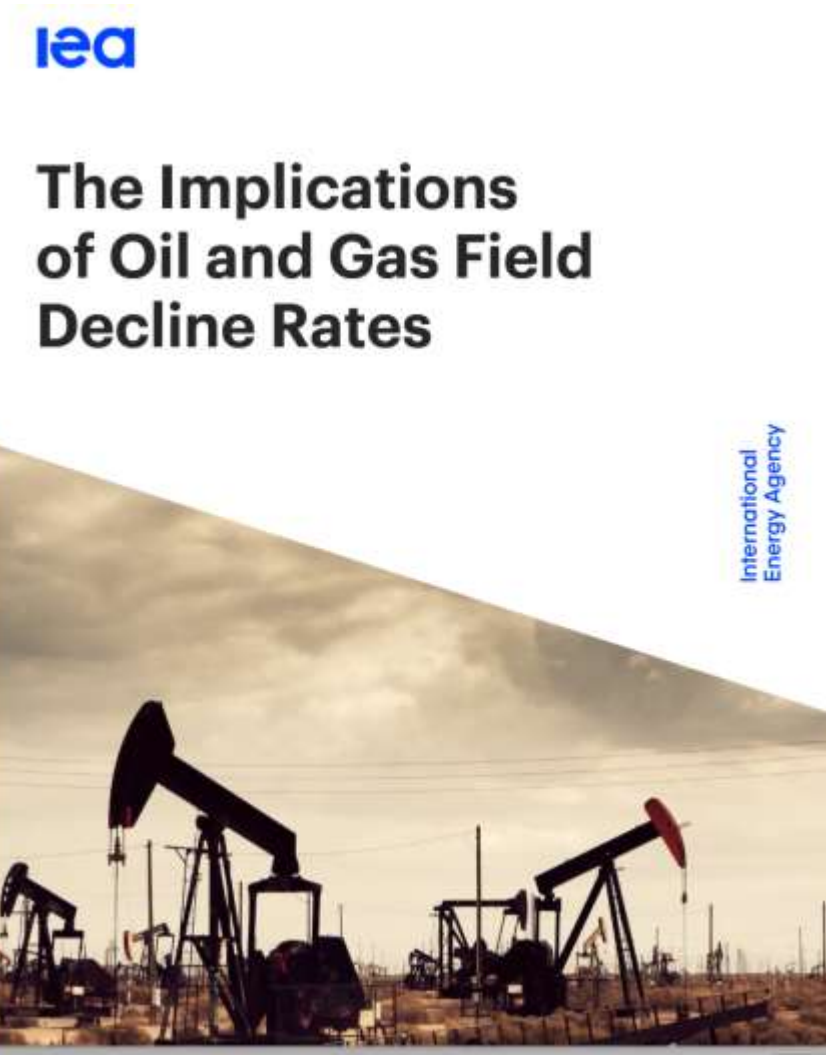
¿Hemos llegado al pico del petróleo?

Figure 37 Global oil and gas production with natural declines rates from 2025



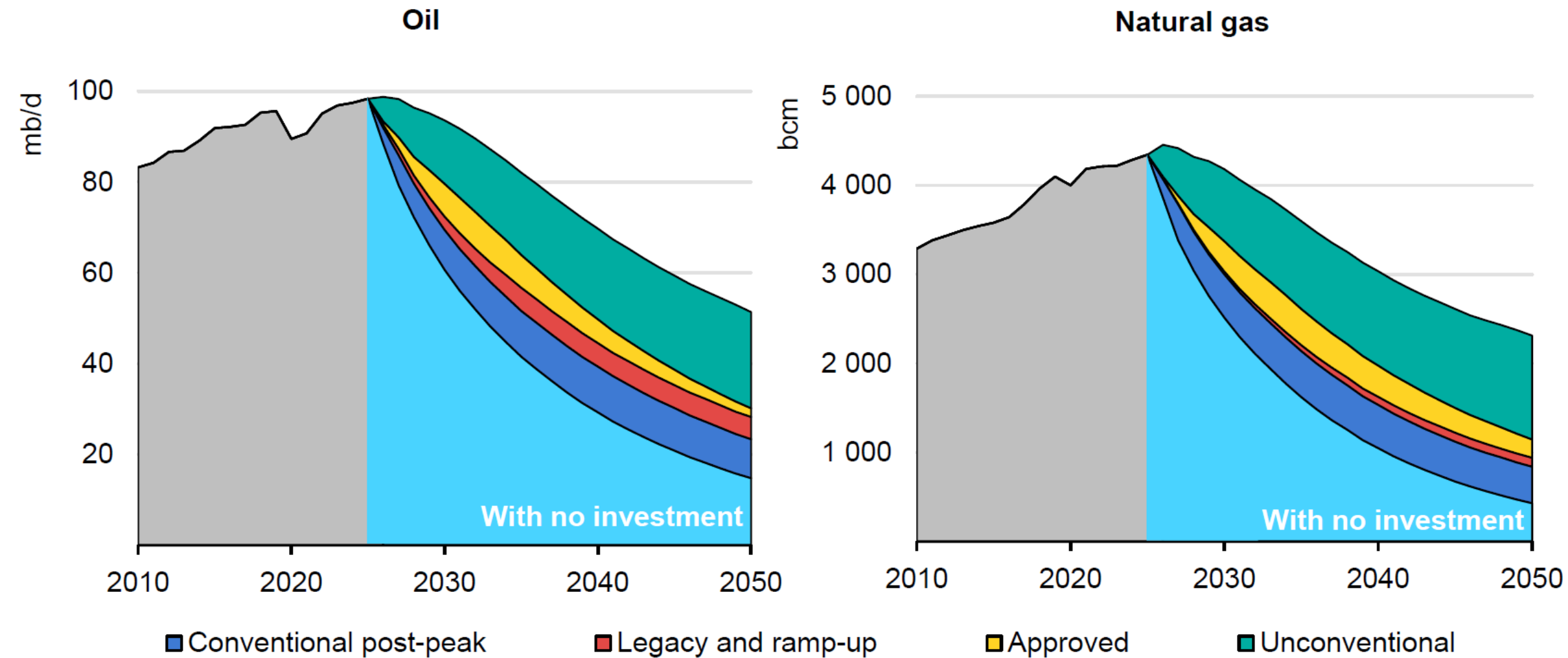
IEA. CC BY 4.0.

Note: Natural decline rates begin from the end of 2025.



¿Hemos llegado al pico del petróleo?

Figure 40 Oil and natural gas production with no investment and additions from investment in existing and approved projects



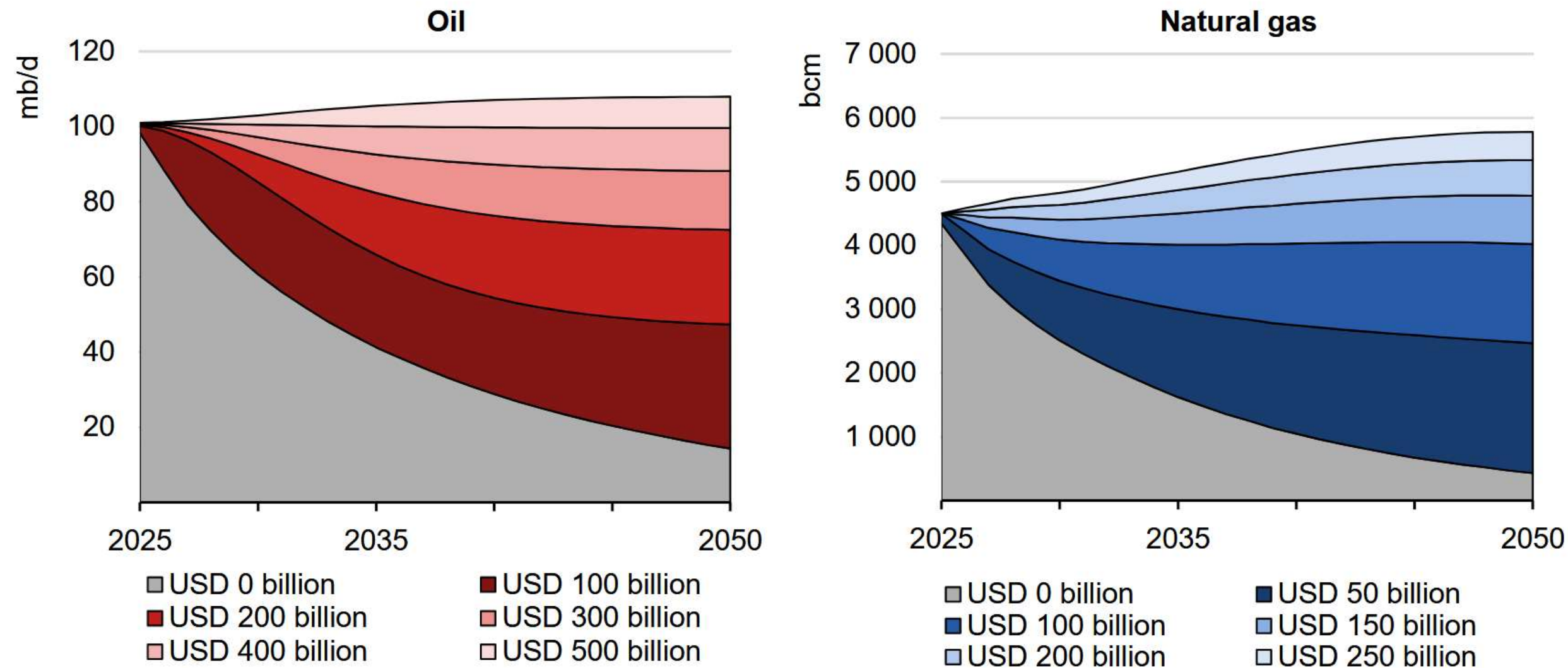
IEA. CC BY 4.0.

Source: IEA analysis based on data from Rystad Energy (2025).

<https://www.iea.org/reports/the-implications-of-oil-and-gas-field-decline-rates/executive-summary>

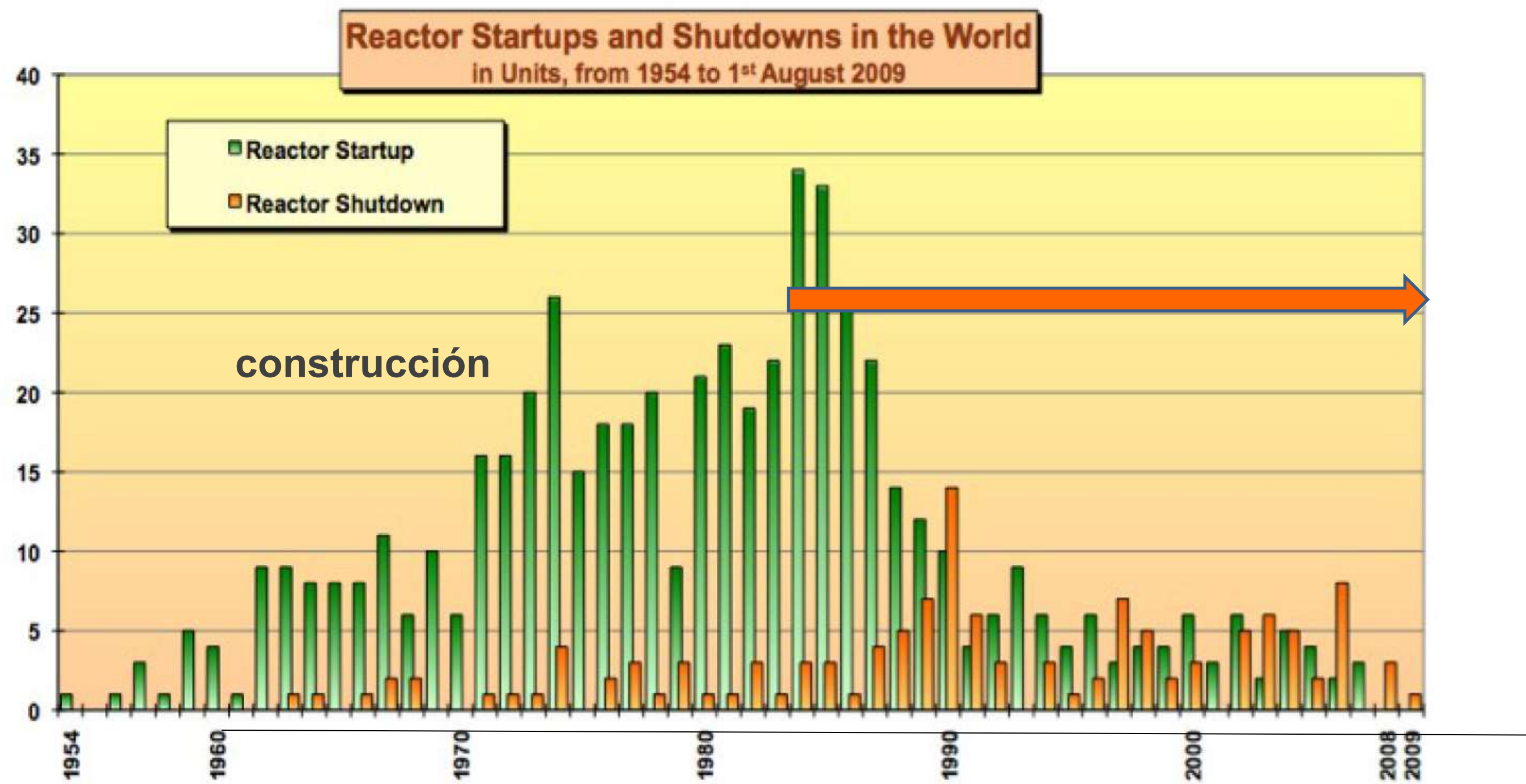
¿Hemos llegado al pico del petróleo?

Figure 43 **Global oil and natural gas production at varied average annual upstream investment levels to 2050**



IEA. CC BY 4.0.

Construcción y cierre de centrales nucleares en el mundo

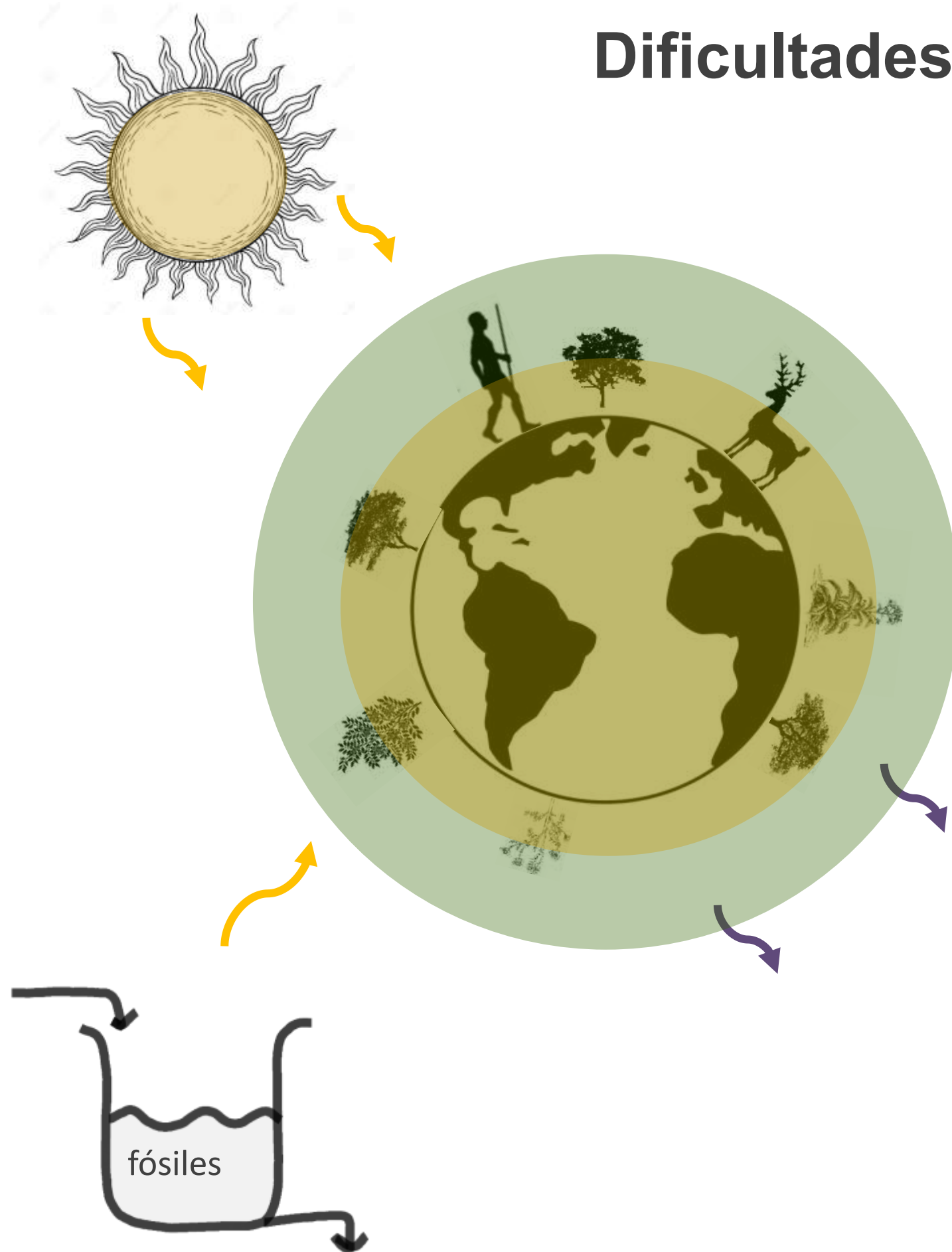


© Mycle Schneider Consulting

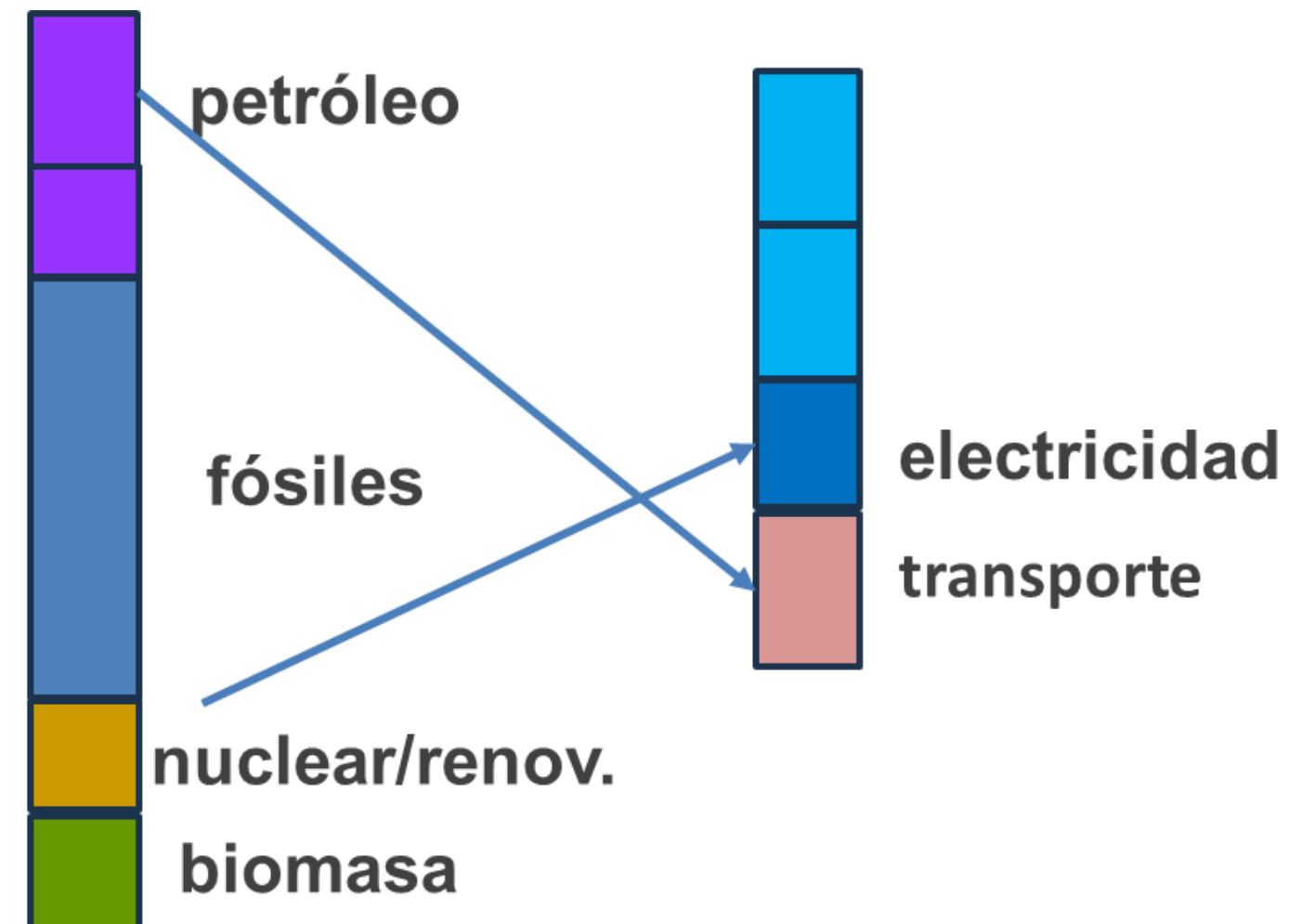
Source: IAEA-PRIS⁹, MSC, 2009

The World Nuclear Industry Status Report 2009 With Particular Emphasis on Economic Issues Mycle Schneider, et al
Paris, August 2009 Commissioned by German Federal Ministry of Environment, Nature Conservation and Reactor Safety
(Contract n° UM0901290)).

Dificultades de la transición energética



- . **Necesidad de minerales críticos** (cobre, litio, manganeso, níquel, plata, cobalto, grafito en escamas...)
- . **Acumulación energética** (densidad energética gasolina 12361 Wh/kg → 25 veces más que las baterías CATL más recientes, 53 veces mas que las de Tesla CATL y 82 veces mas que las LFP).

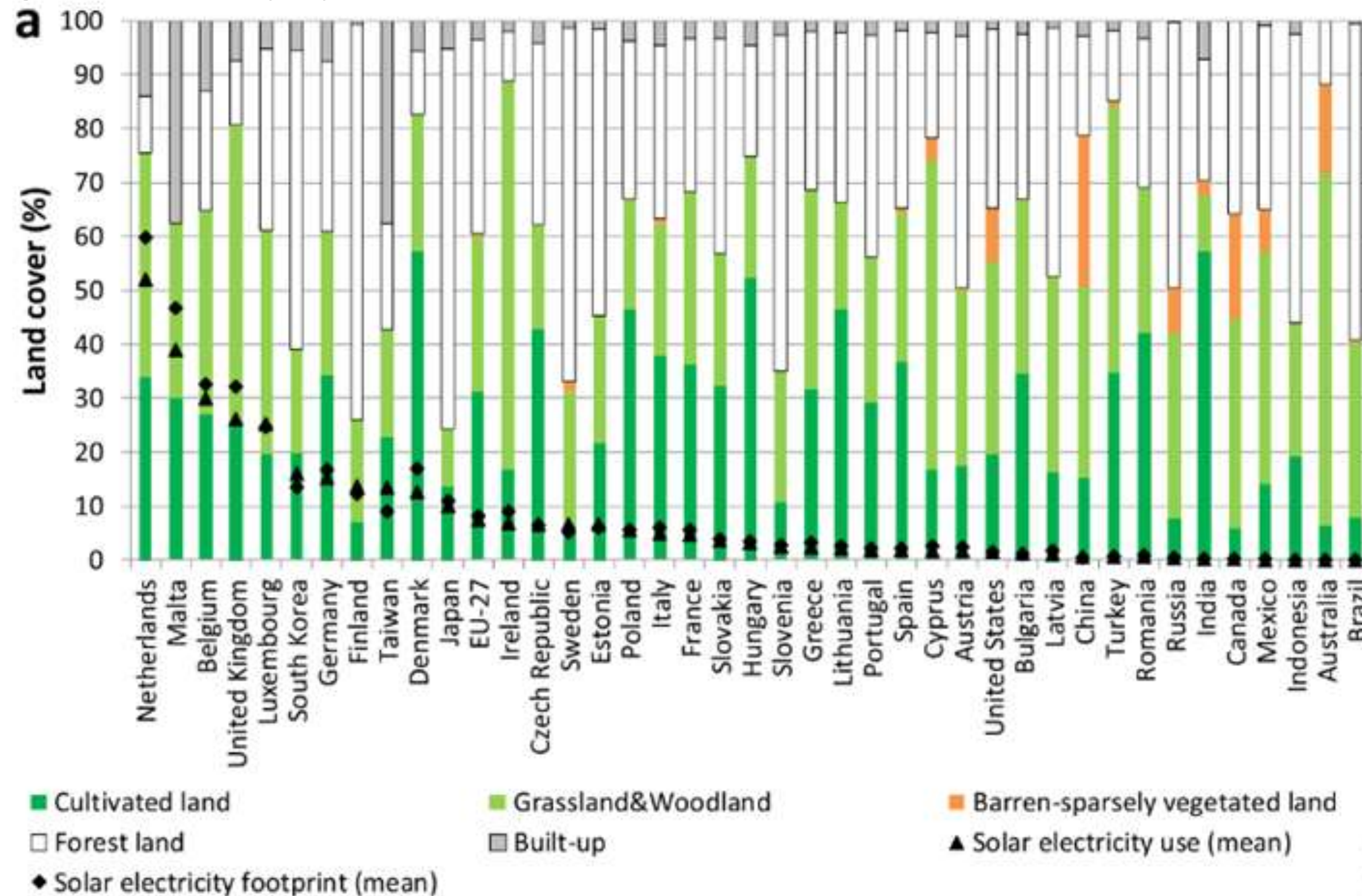


Dificultades de la transición energética

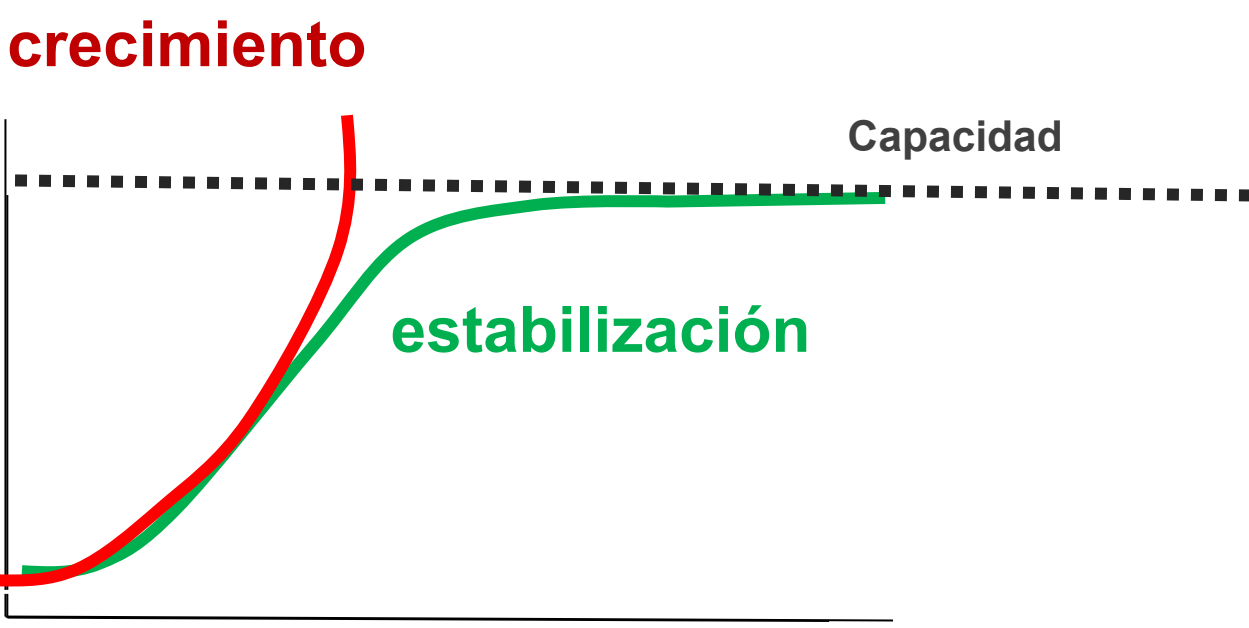
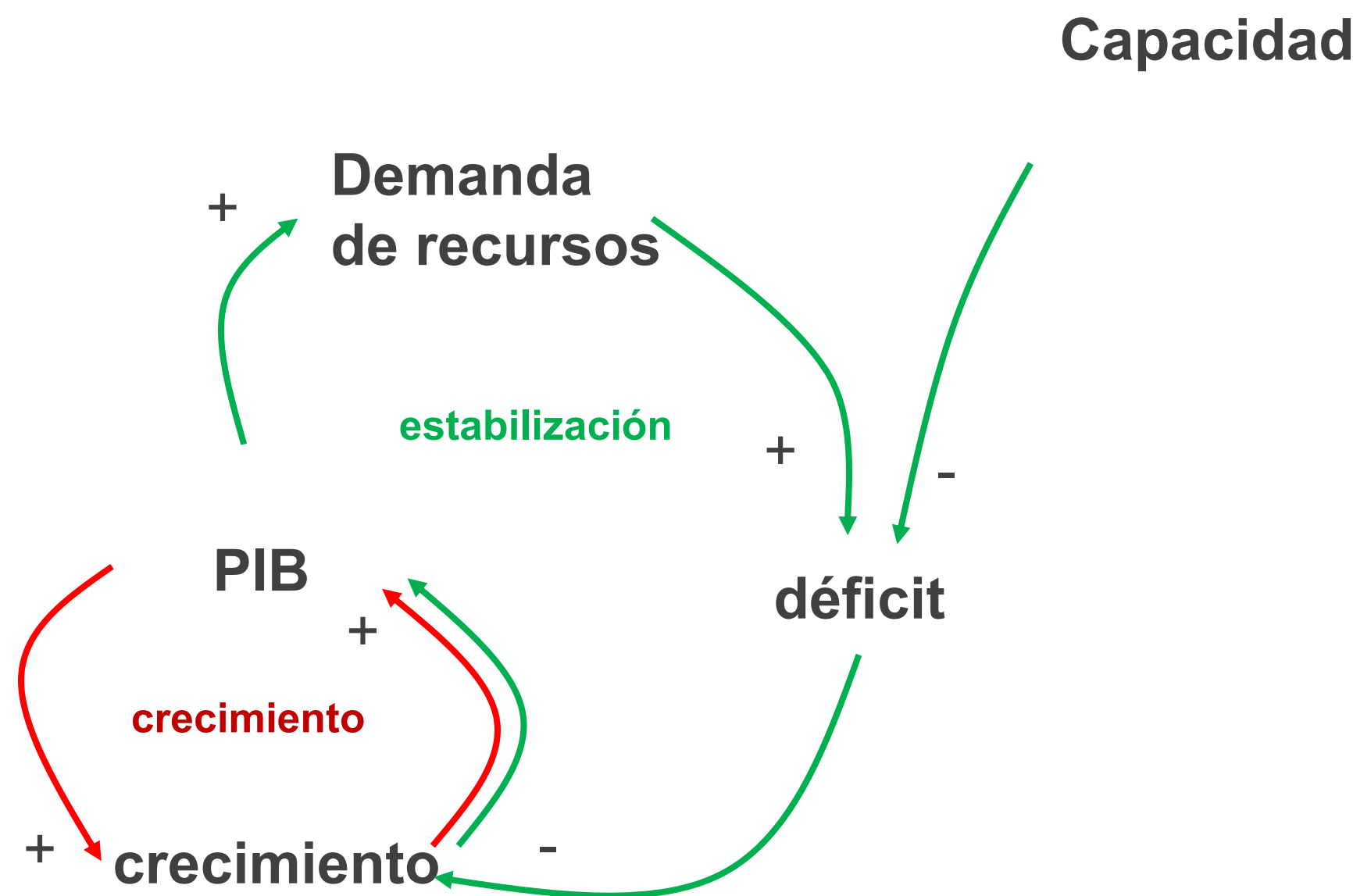
- . **Acumulación energética** (densidad energética gasolina 12 361 Wh/kg → 25 veces más que las baterías CATL más recientes, 53 veces mas que las de Tesla CATL y 82 veces mas que las LFP).
- . **Necesidad de minerales críticos** (cobre, litio, manganeso, níquel, plata, cobalto, grafito en escamas...)
- . **Tasa de Retorno Energético:** transición a realizar en tiempo de crisis
- . **Competencia con la biosfera y ocupación de territorio** (bosques globales ya en declive, biocombustibles: ocupación de territorio inasumible)
- . **Dinámicas del crecimiento económico**

Ocupación de territorio de la fotovoltaica

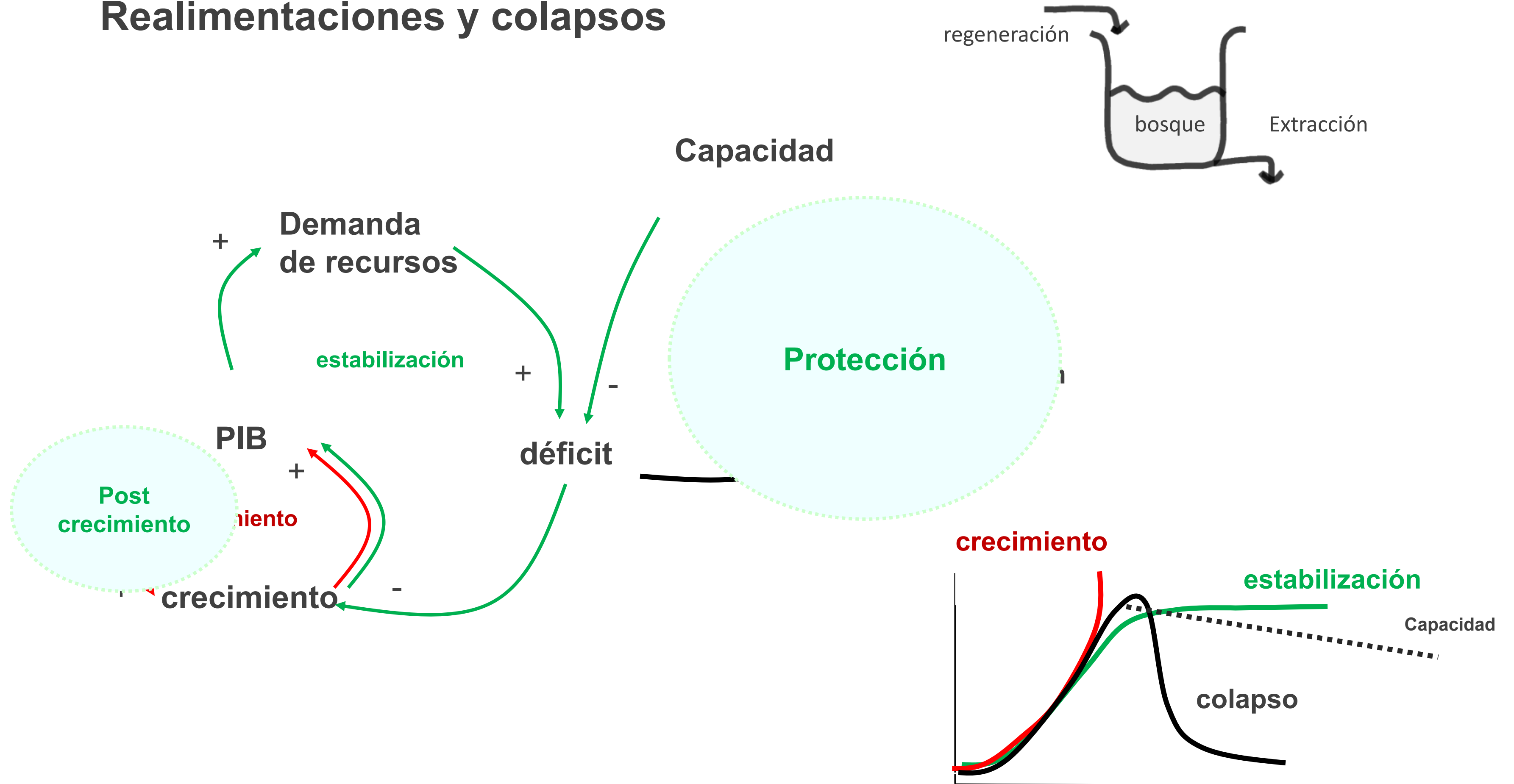
Porcentaje del territorio necesario para cubrir el 100% de la demanda eléctrica de cada país con electricidad solar fotovoltaica (generada en su propio territorio)

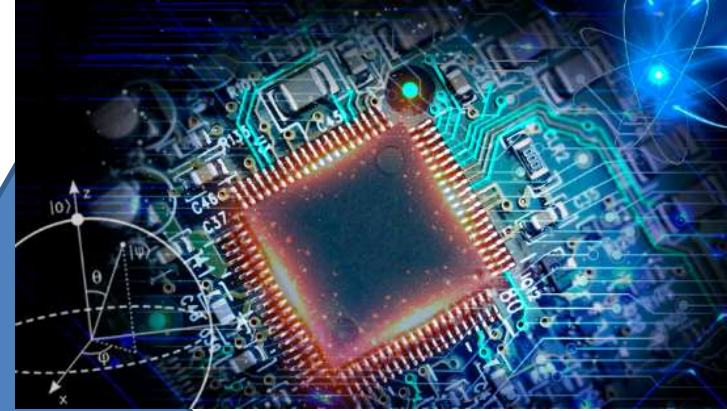
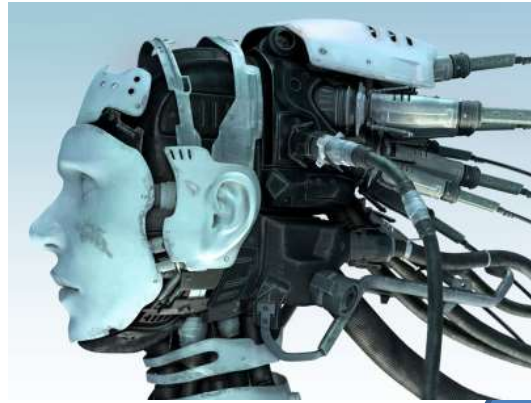


Realimentaciones y colapsos

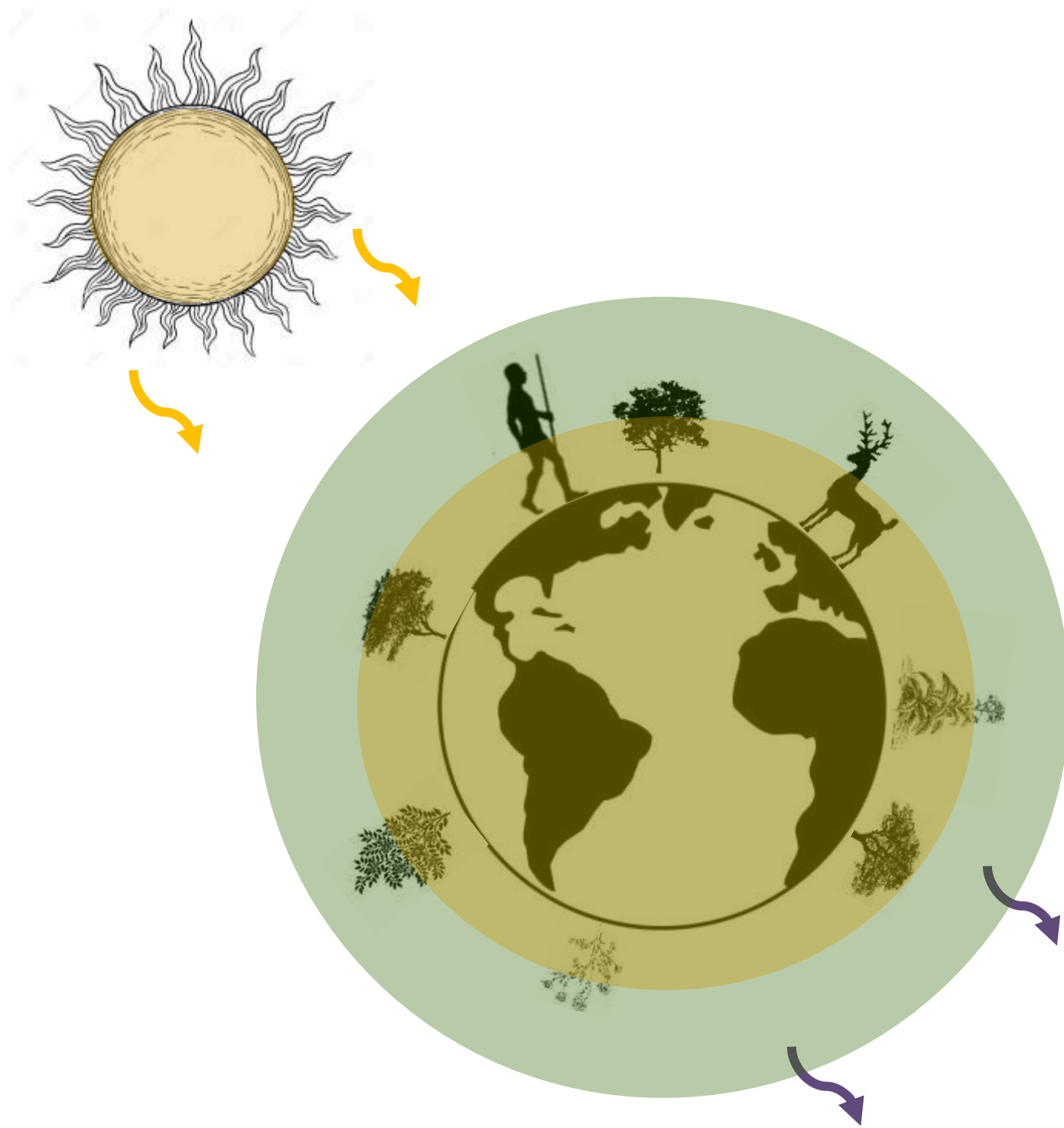


Realimentaciones y colapsos





- Nucleares 4^aG
- Fusión
- Termosolares
- Biocombustibles
- Vehículo eléctrico
- Thin films
- Captura CO₂
- Baterías de Tesla
- Grafeno...



¿Qué sociedad y qué tecnologías se sostienen con energías renovables?



Reflexiones para profesionales de la ingeniería

- ¿Qué tecnologías son prioritarias en tiempos de crisis energética?
- ¿Qué tecnologías y qué modos de vida son posibles en un mundo sin combustibles fósiles?
- ¿Y si es mejor que invente la naturaleza?
- ¿Y si lo que necesitamos es que inventen l@s economistas?

ALGUNOS RESULTADOS DE GEEDS

Tasa de Retorno Energético de los biocombustibles:

Papagianni, S., Capellán-Pérez, I., Adam, A., Pastor, A. Review and meta-analysis of Energy Return on Investment and environmental indicators of biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 203. October 2024.

Límites de las renovables:

Iñigo Capellan-Perez, Carlos de Castro, 2022. Review and Assessment of Sustainable Limits to the Global Solar Electric Potential, in Solar Co-generation of Electricity and Water, Large Scale Photovoltaic Systems, [Eds. UNESCO-EOLSS Joint Committee], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Paris, France, <http://www.eolss.net>

En castellano:

Iñigo Capellán-Pérez; Carlos de Castro. Transición a energías renovables y demanda de minerales. Minería y extractivismos. Granada, (España): Editorial Universidad de Granada, 2022.
https://editorial.ugr.es/libro/mineria-y-extractivismos_138873/

Pulido Sánchez, D., Capellán-Pérez, I., Mediavilla, M., De Castro, C., Frechoso, F., 2021. Análisis de los requerimientos de materiales de la movilidad eléctrica mundial. DYNA, 2020. **DYNA**, Vol. 96, pp. 207 – 213. <https://doi.org/10.6036/9893>

<https://geeds.es/publicaciones-academicas/>

Límites del coche eléctrico y descarbonización del transporte:

De Blas, I., Mediavilla, M., Capellán-Pérez, Í., Duce, C., 2020. The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm. *Energy Strategy Reviews*, 32.

Álvarez-Antelo, D., López-Muñoz, P., Llases, L., Lauer, A. 2025. Towards a sustainable mobility lifestyle: Exploring the flight to rail shift through model-based behavioural change scenarios. *Ecological Economics*, Volume 230, April 2025, 108498

Álvarez-Antelo, D., Lauer, A., Capellán-Pérez, I. Exploring the potential of a novel passenger transport model to study the decarbonisation of the transport sector.
Energy, 3 de julio de 2024.

Usos no energéticos del “hidrógeno verde”.

Campos-Rodríguez, J. M., Capellán-Pérez, Í., Parrado-Hernando, G., & Frechoso, F. A. (2025). From grey to “green”: Modelling the non-energy uses of hydrogen for the EU energy transition. *Applied Energy*, 397, 126325. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126325>

Tasa de retorno energético global: I. Capellán-Pérez, C. de Castro, L.J. Miguel González. 2019. Dynamic Energy Return on Energy Investment (EROI) and material requirements in scenarios of global transition to renewable energies. *Energy Strategy Reviews* 26, 100399.

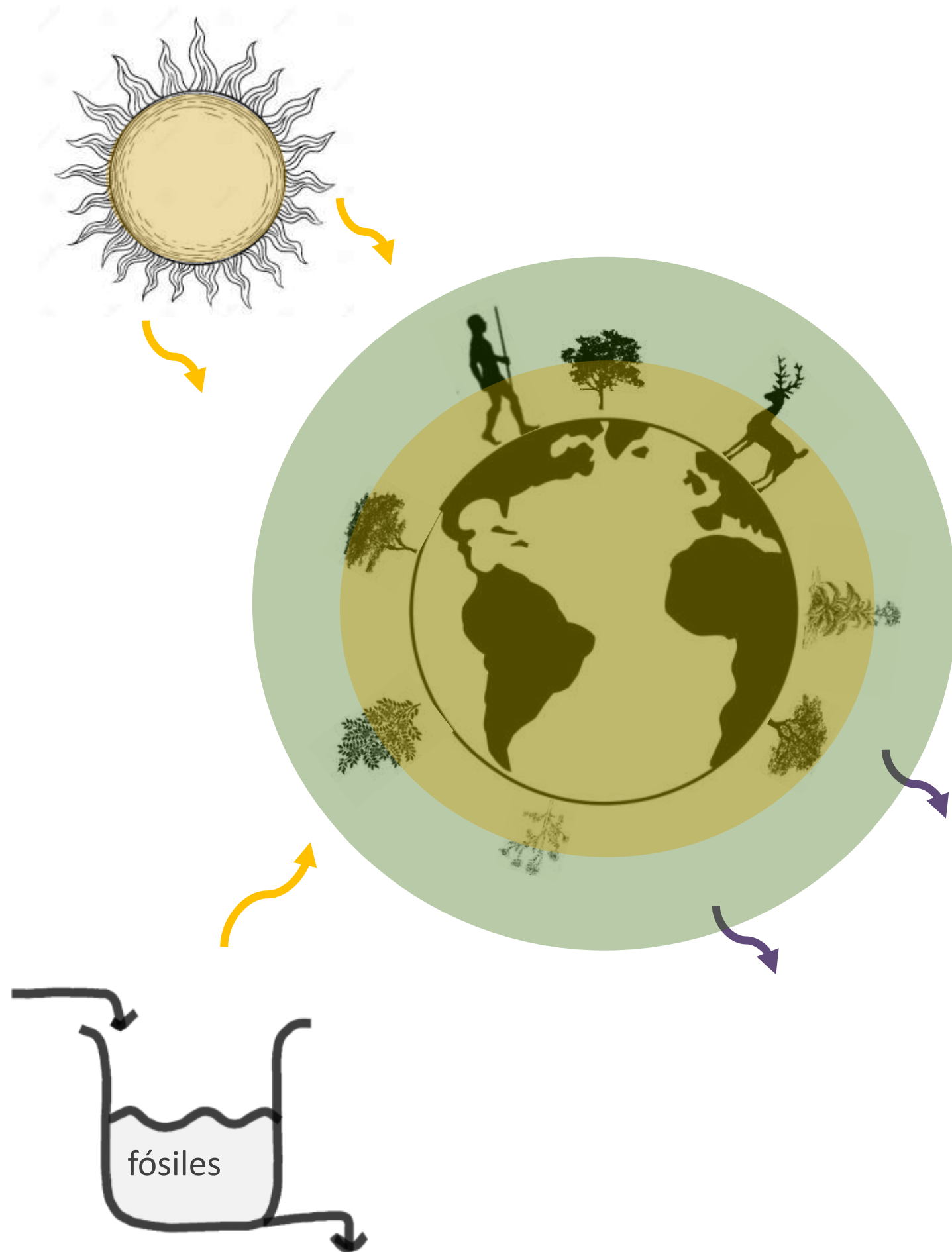
Transición energética: Capellán-Pérez, I., M. Mediavilla, C. de Castro, Ó. Carpintero, and L. J. de Miguel. 2014. “Fossil Fuel Depletion and Socio-Economic Scenarios: An Integrated Approach.” *Energy* 77: 641–66. doi:10.1016/j.energy.2014.09.063.



**Moltes gràcies per la seva
atenció!**

<http://www.geeds.es>

<https://contadashabas.wordpress.com/>



Consumo actual

- Energía Primaria: 600 EJ
 - 160 EJ petróleo
 - 30 EJ nuclear
 - 56 EJ biomasa
 - 15 EJ hidráulica
 - 13 EJ solar/eólica
 - Energía Final: 400 EJ
 - 100 EJ transporte
 - 80 EJ electricidad
- Consumo alimentos + Madera 250 EJ

