

Cuando las energías renovables pueden no ser sostenibles: demanda de minerales y tasa de retorno energético

Zaragoza y Huesca. 27&28 febrero 2020



Iñigo Capellán Pérez

Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas
Universidad de Valladolid

inigo.capellan@uva.es - www.geeds.es



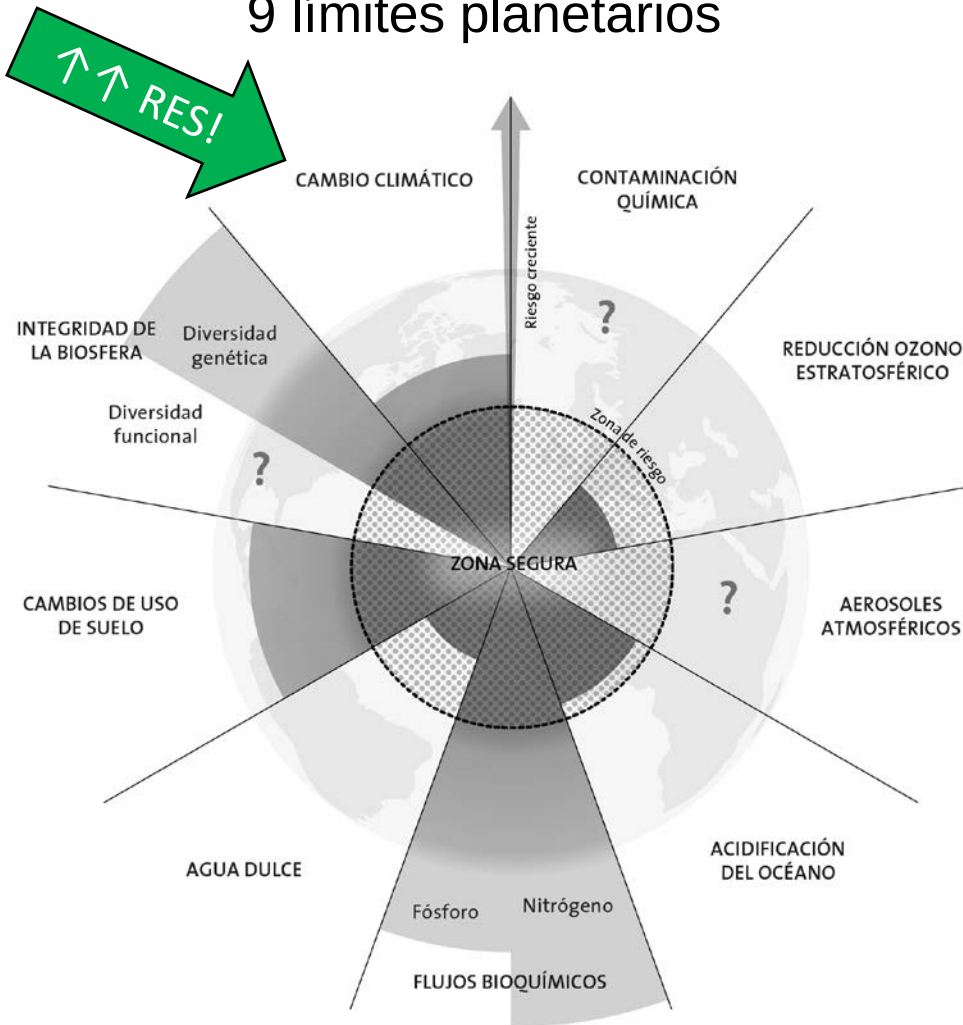
Universidad de Valladolid

Índice

1. Introducción general a los impactos y limitaciones de las renovables
2. Minerales y tasa de retorno energética // Método: escenarios de simulación con modelo MEDEAS
3. Requerimientos minerales
4. Tasa de retorno energético dinámica
5. Conclusiones

Sostenibilidad: concepto multidimensional

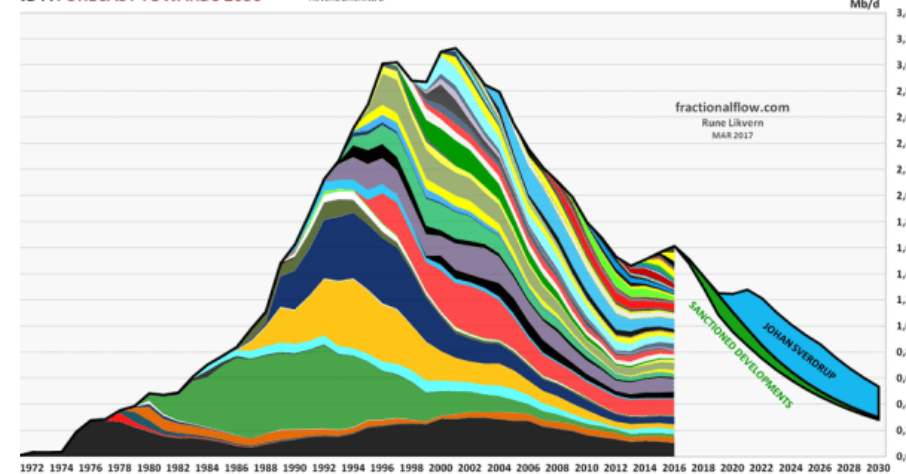
Regulación biosfera: 9 límites planetarios



Consumo de recursos naturales:

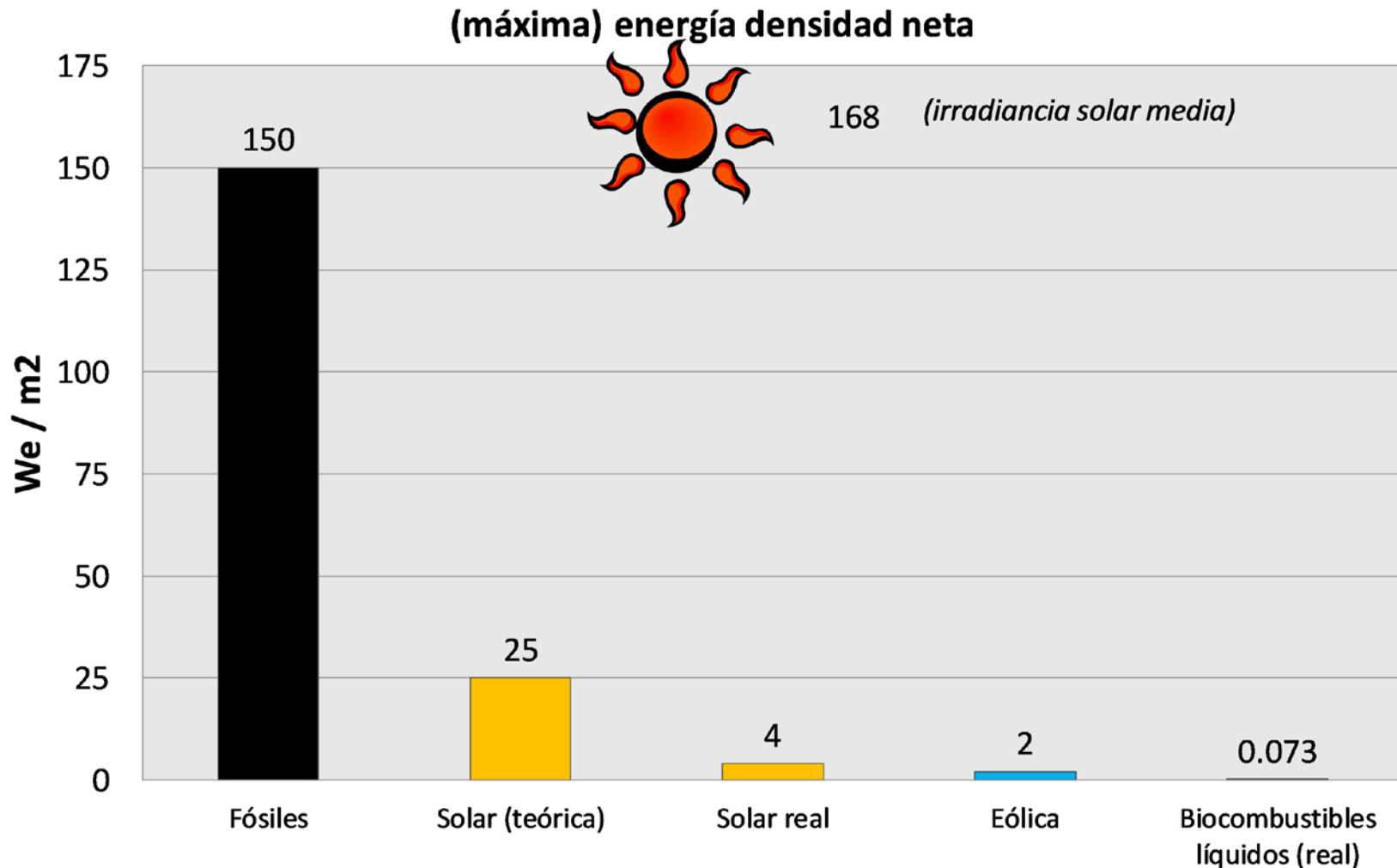
- Fósiles
- Minerales
- Renovables* (tasa extracción vs tasa de regeneración natural)

ORWAY, CRUDE OIL PRODUCTION 1970 - 2016
ID A FORECAST TOWARDS 2030



Impactos y limitaciones de las renovables

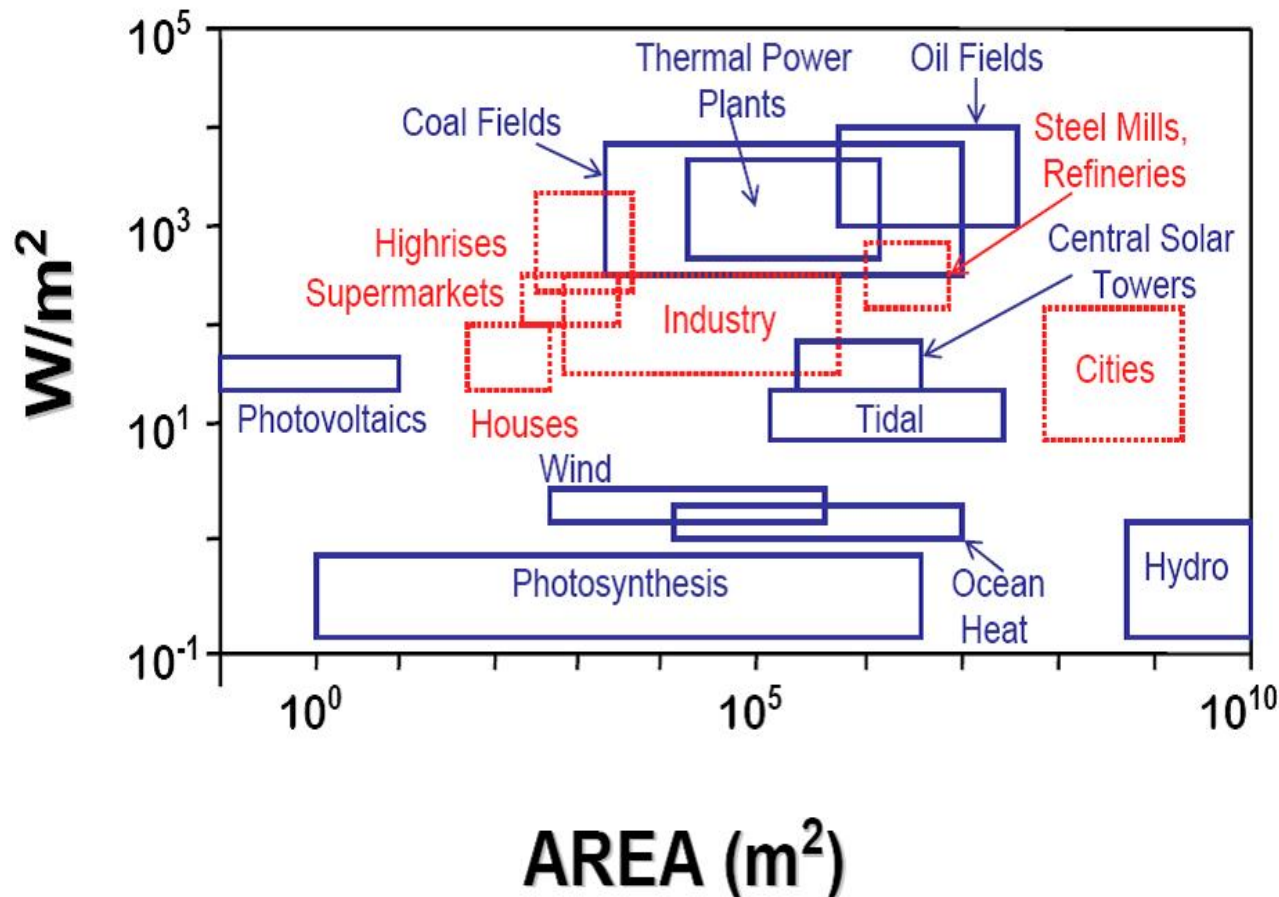
Las renovables tienen una **densidad energética** mucho menor que las fósiles, necesitando por tanto más superficie y mayor cantidad (y variedad) de materiales por MW que las fósiles para la misma generación neta de electricidad:



¿Potencial de las RES en ciudades?

Power Densities for Energy Sources and End Uses current

Source: Smil (1991)

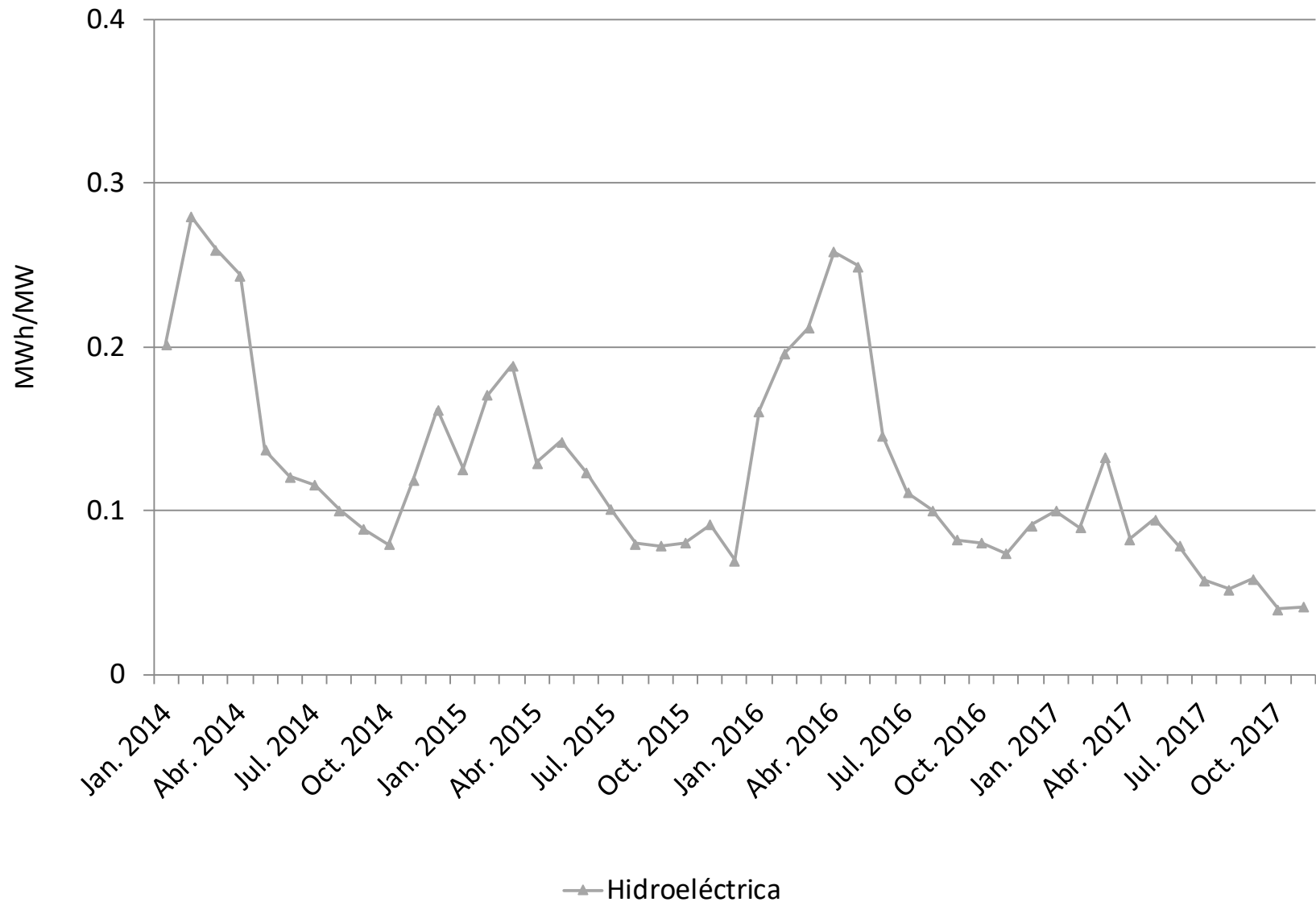


Impactos y limitaciones de las renovables

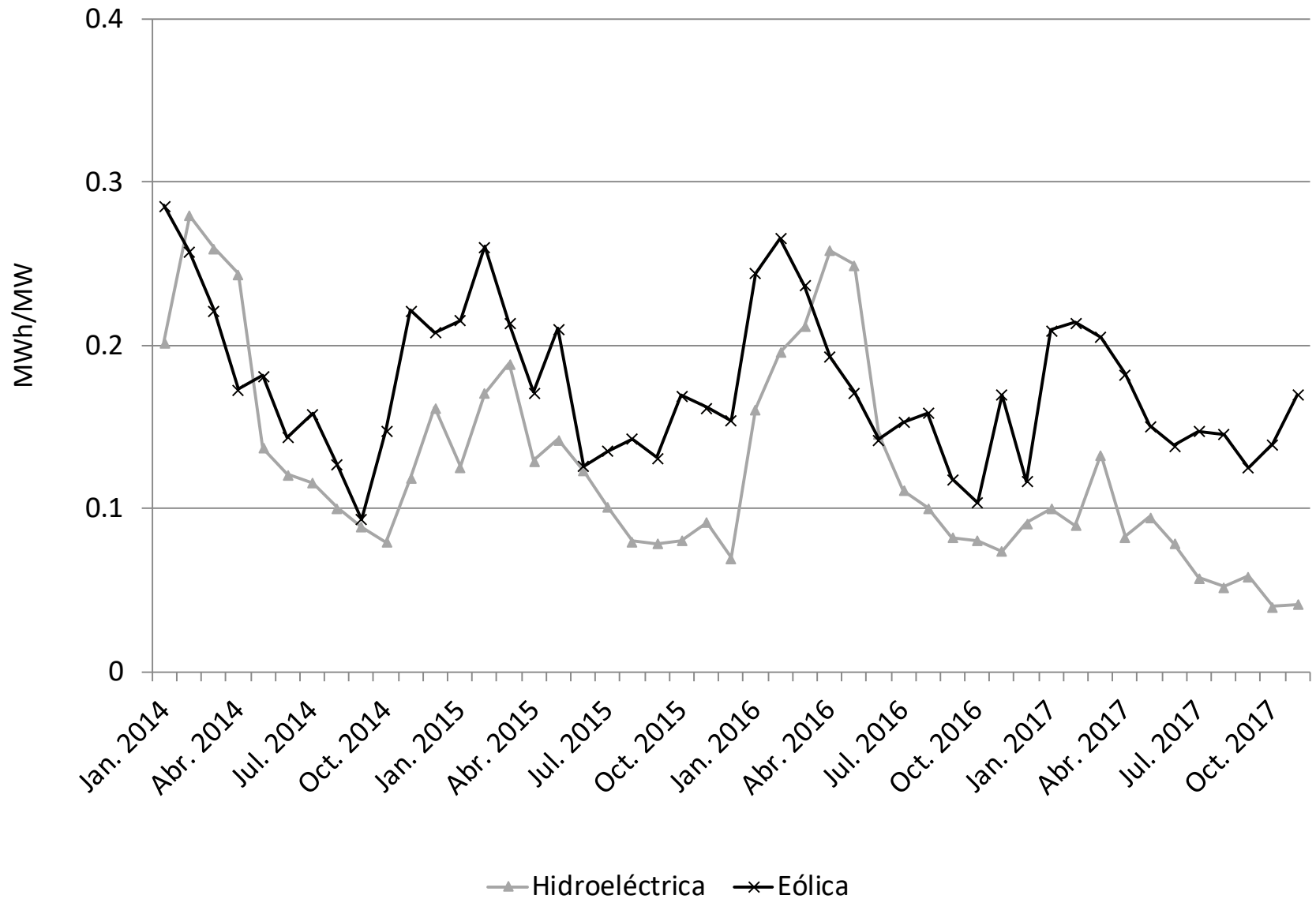
Las renovables son **intermitentes y variables** (tanto a nivel horario como estacional):



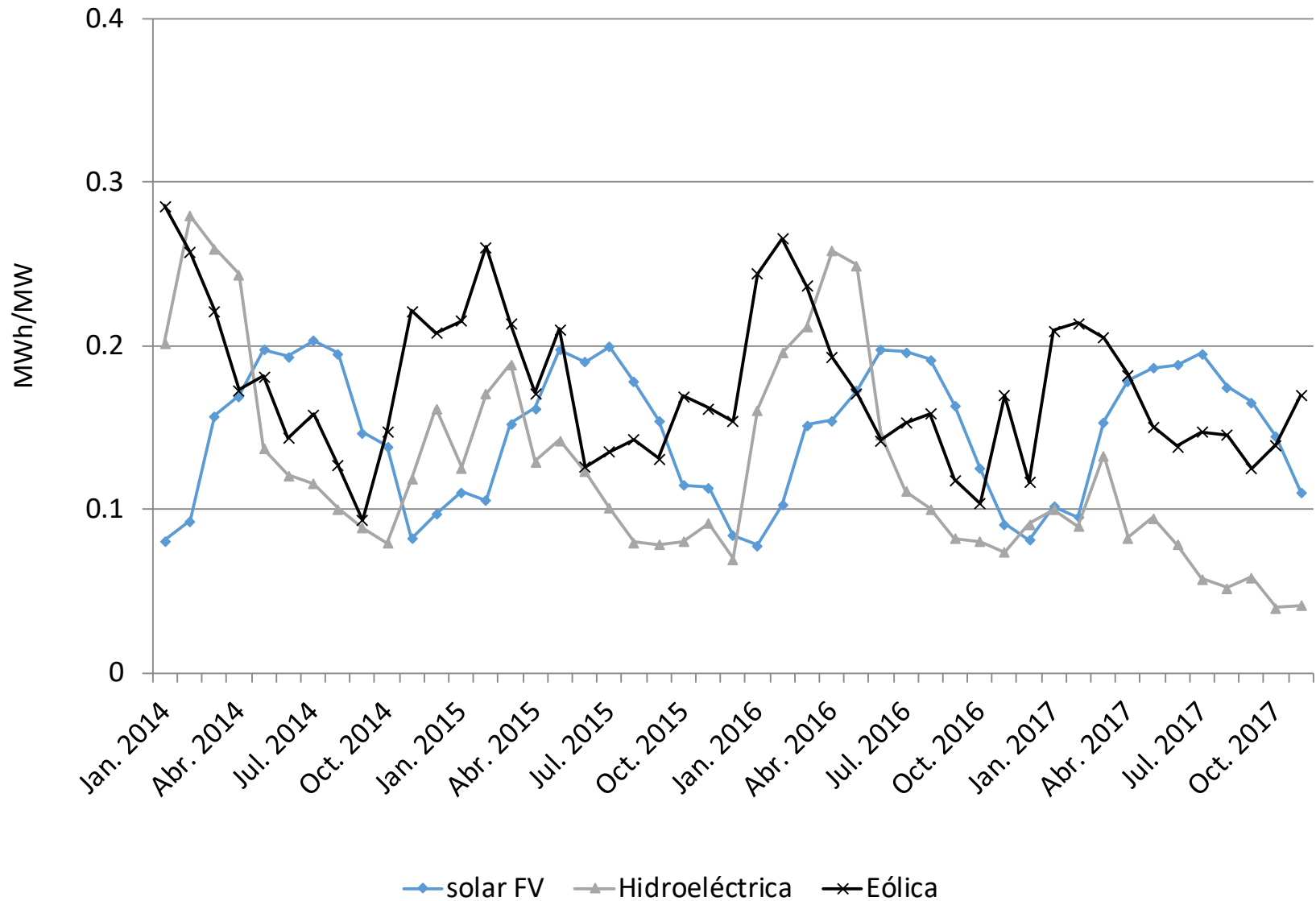
Producción mensual por potencia instalada renovables (España)



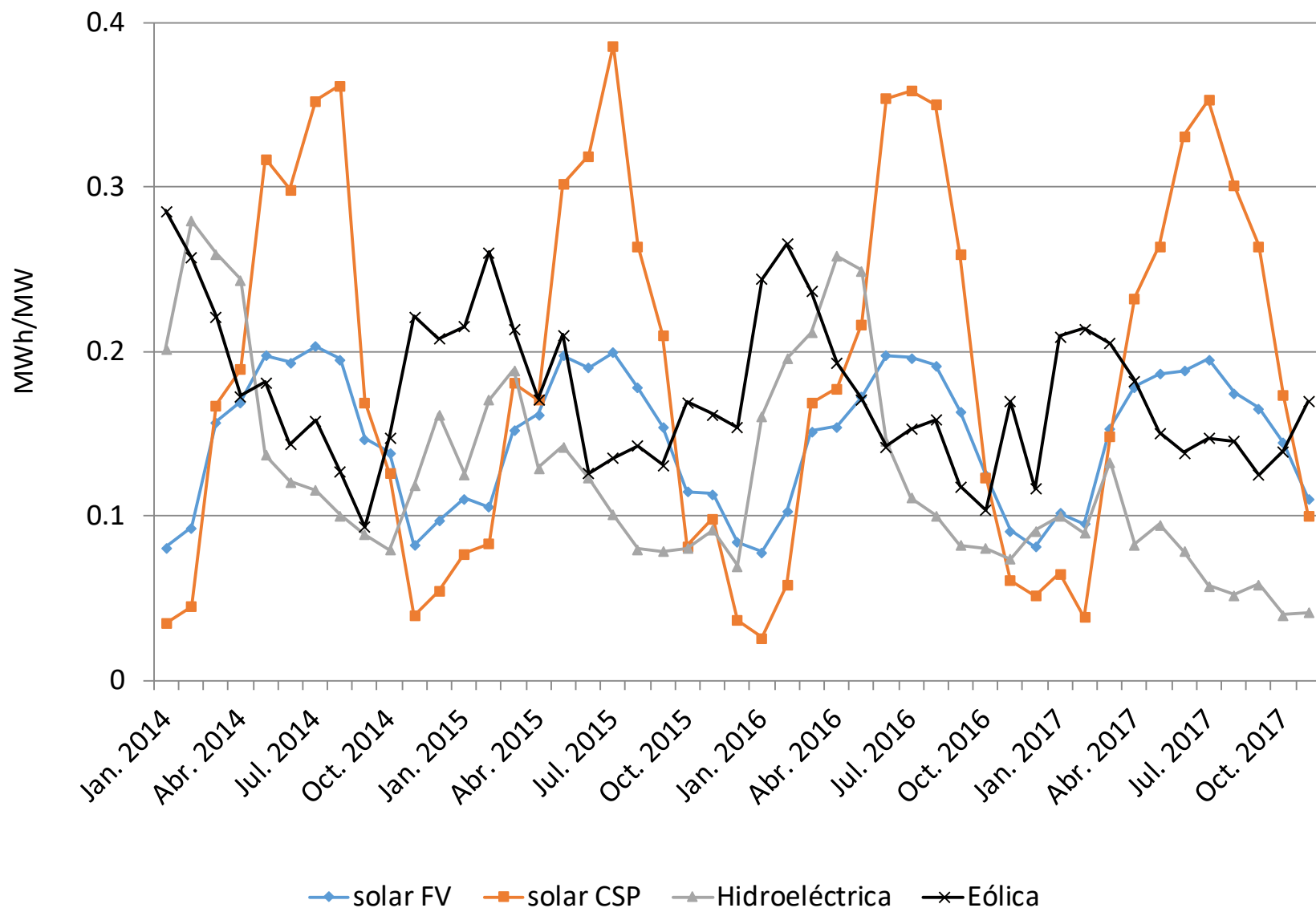
Producción mensual por potencia instalada renovables (España)



Producción mensual por potencia instalada renovables (España)

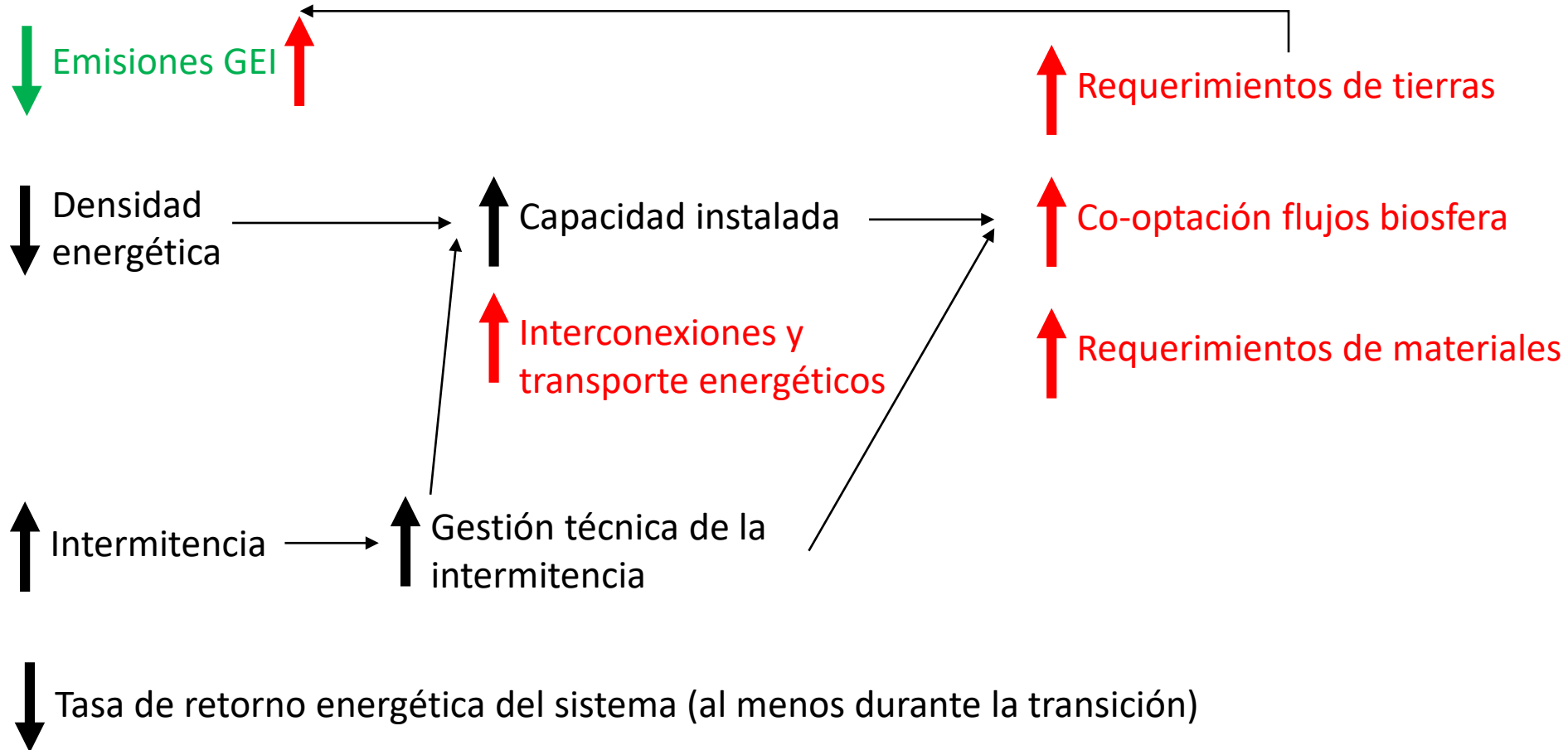


Producción mensual por potencia instalada renovables (España)



Impactos y limitaciones de las renovables

Implicaciones de las características biofísicas de las RES en comparación con las fósiles:



Impactos y limitaciones de las renovables

↑ Requerimientos de tierras

↑ Interconexiones y transporte energéticos

- Pérdida y fragmentación de hábitat (el mundo ya pierde decenas de millones de ha cada año)
- Afectación al paisaje
- Erosión suelos
- Contaminación acústica y lumínica
- ...

Plataforma Ciudadana para una Transición Ecológica Justa

[El Manifiesto](#) [Únete](#) [Quiénes somos](#) [Particulares](#) [Organizaciones](#) [Novedades](#) [Prensa](#)



<https://transicionecologicajusta.org/>

Manifiesto por una Transición Ecológica Justa

Plataforma ciudadana para una Transición Ecológica Justa.

[Descargar versión en pdf](#)



Impactos y limitaciones de las renovables

↑ Requerimientos de tierras

Gran hidroeléctrica (Río Xingú; Cuenca del Amazonas)

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/91083/reshaping-the-xingu-river>



Impactos y limitaciones de las renovables

↑ Requerimientos de tierras

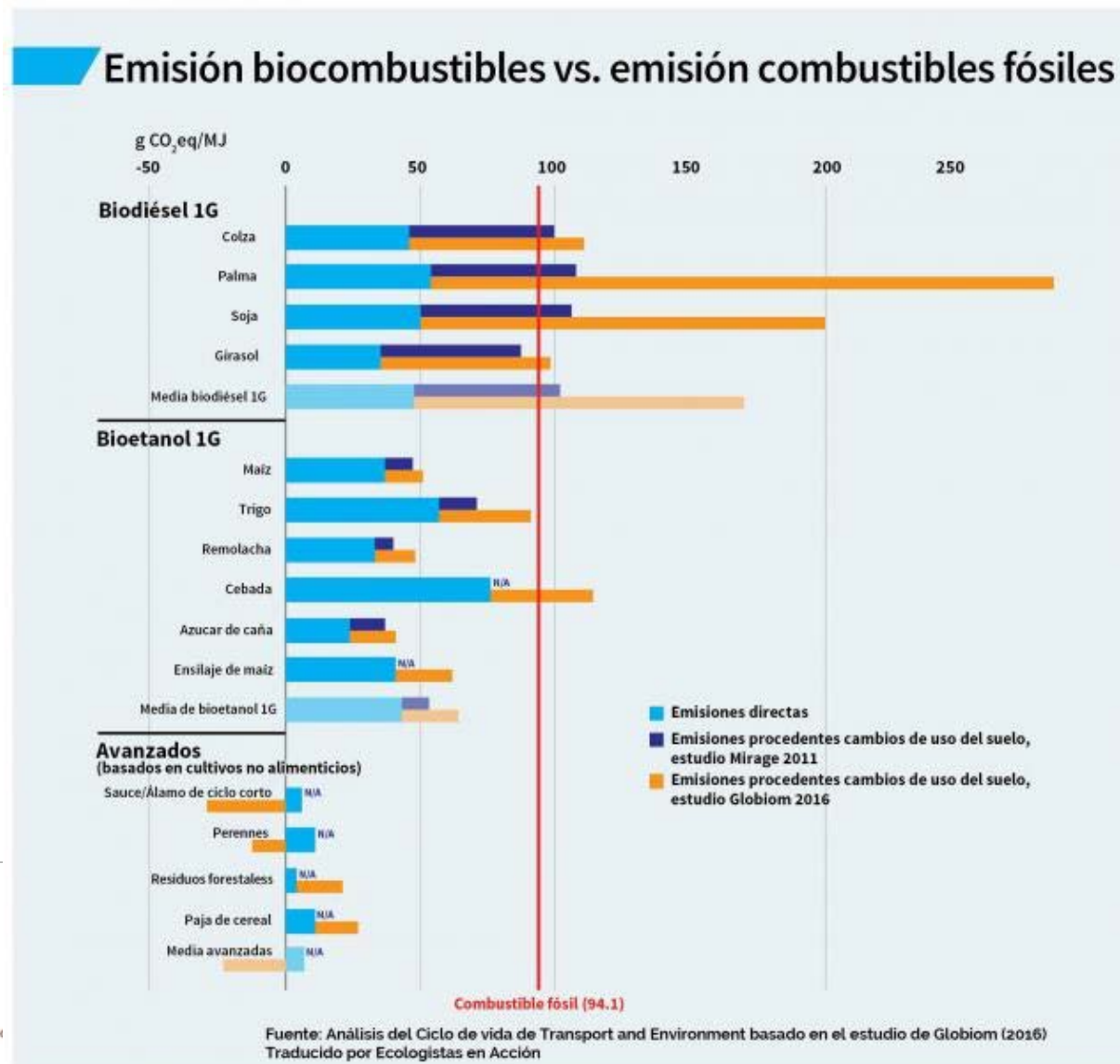
Biocombustibles; aceite de palma



Impactos y limitaciones de las renovables

↑ Requerimientos de tierras

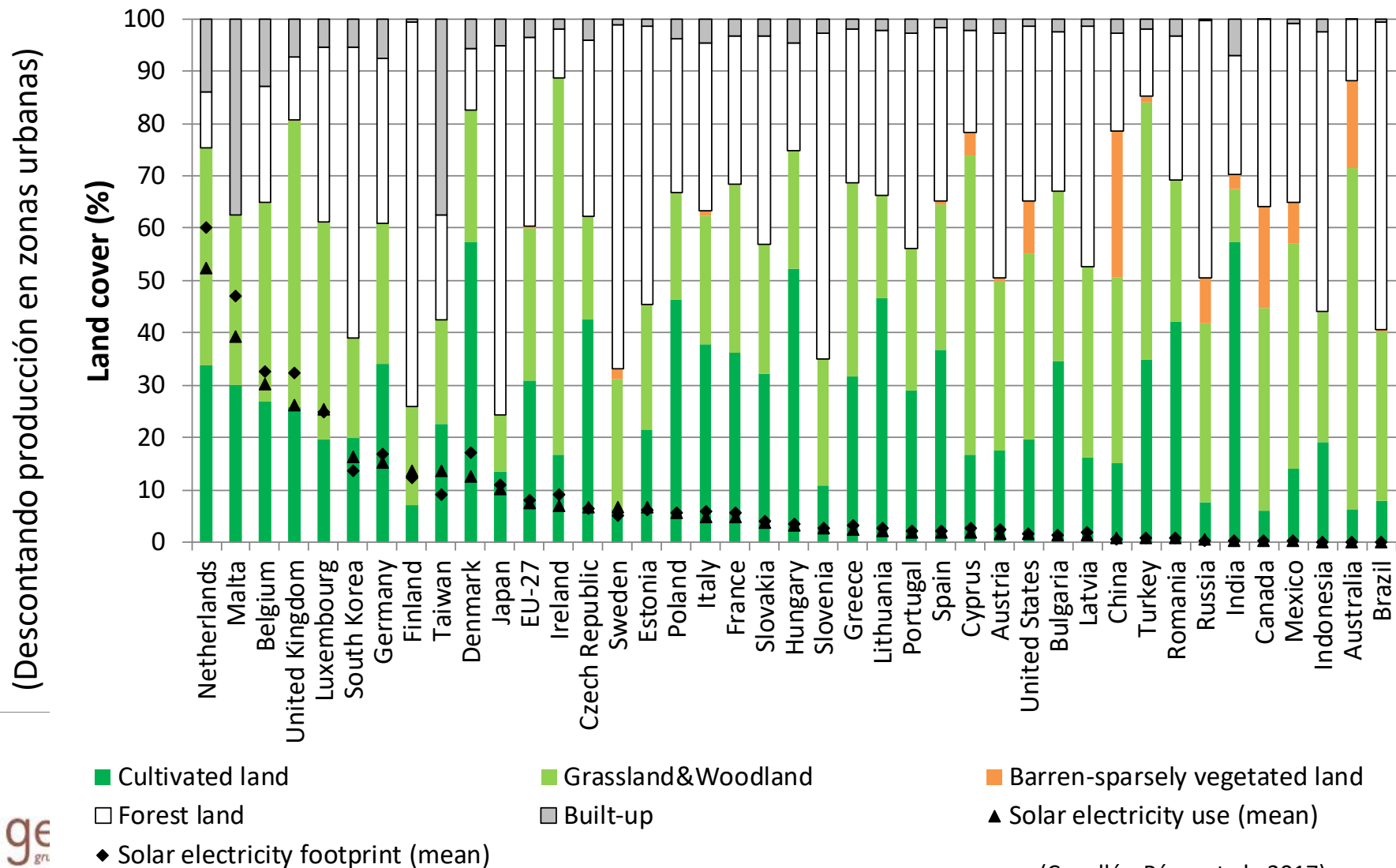
Biocombustibles; emisiones indirectas!



Impactos y limitaciones de las renovables

↑ Requerimientos de tierras

Simulación 100% electricidad (~20-25% energía total) con solar FV:



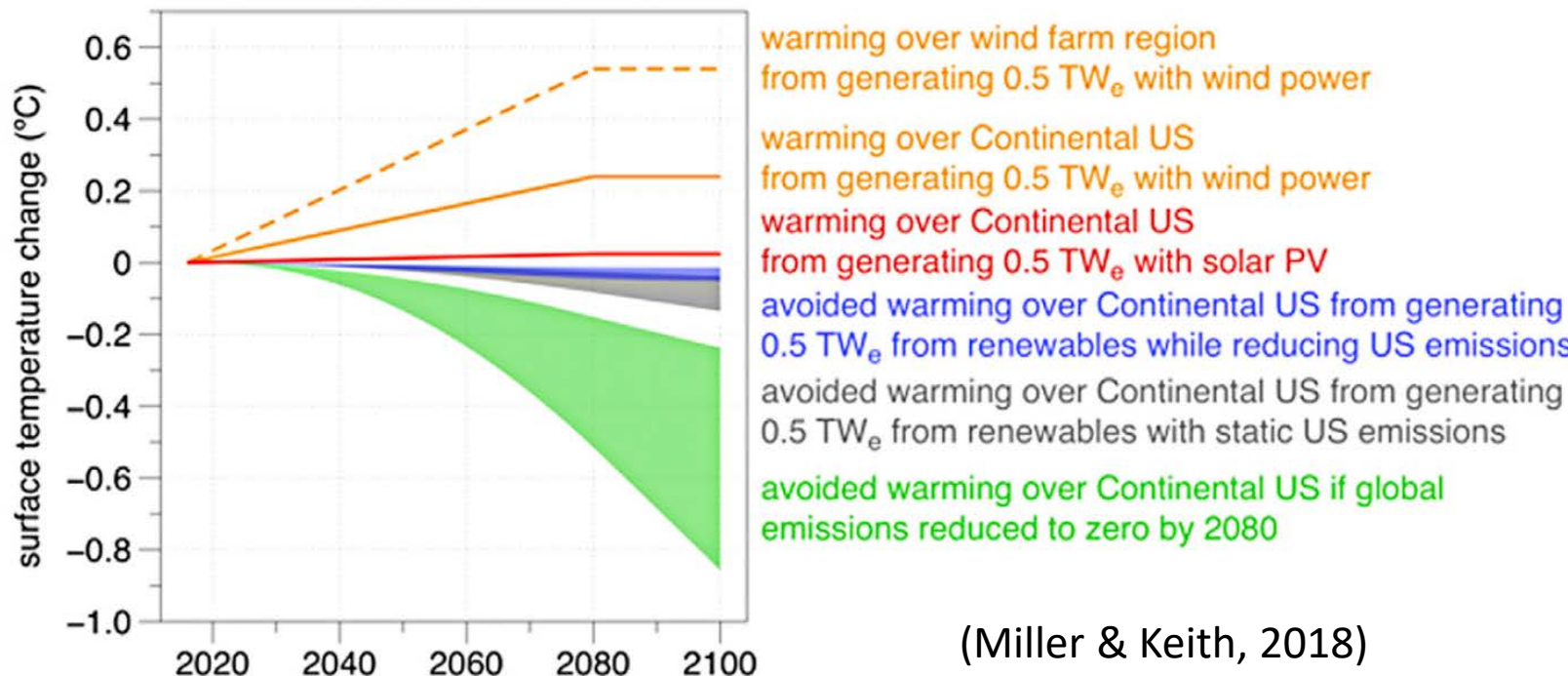
(Capellán-Pérez et al., 2017)

Impactos y limitaciones de las renovables

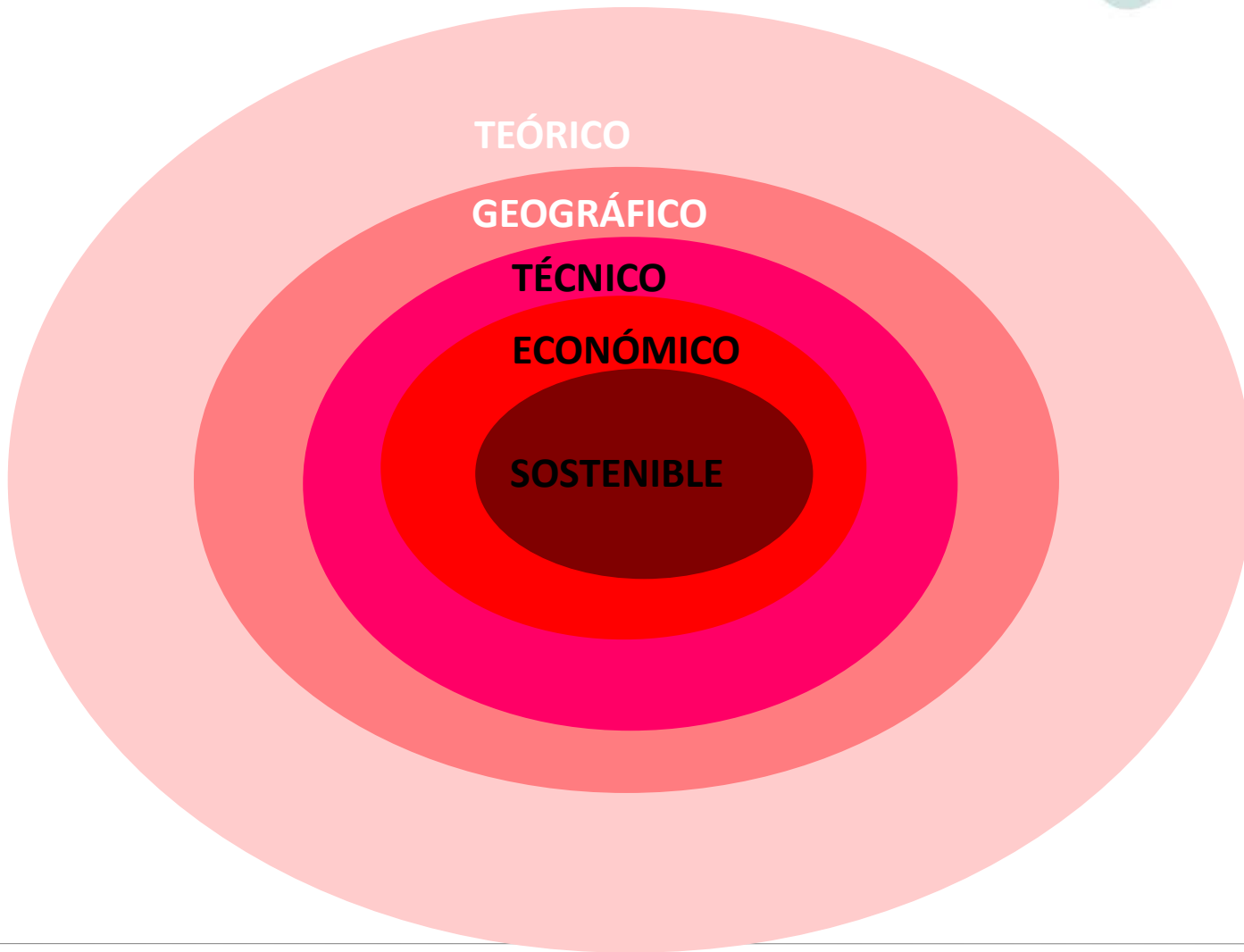
↑ Co-optación flujos biosfera →

Si la energía capturada es muy pequeña, efectos marginales sobre el resto de la biosfera.
¿Cuánto de lejos/cerca estamos de que nuestros requerimientos de energía afecten a la biosfera?

- Deforestación → emisiones GEI → 10% GEI mundiales (IPCC)
- Eólica:



¿Potencial de las energías renovables?



Impactos y limitaciones de las renovables



Requerimientos de minerales

¿podría ser un límite para las renovables la disponibilidad geológica de minerales accesibles y a coste razonable?

Futuros impactos socio-ambientales de la minería

Renewable and Sustainable Energy Reviews 93 (2018) 178–200



Contents lists available at ScienceDirect

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser



Global Material Resources
Outlook to 2060

ECONOMIC DRIVERS AND ENVIRONMENTAL
CONSEQUENCES

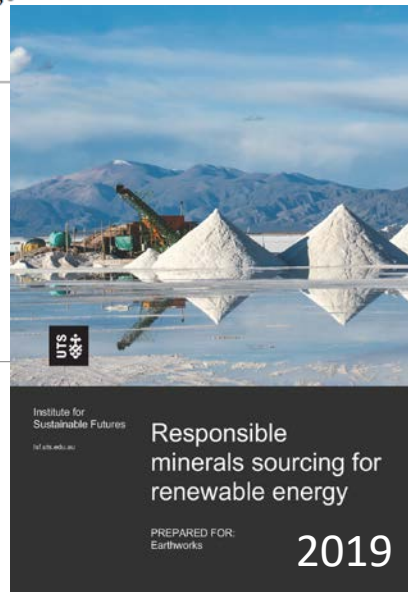


Material bottlenecks in the future development of green technologies

Alicia Valero^{a,*}, Antonio Valero^b, Guiomar Calvo^b, Abel Ortego^a

^a CIRCE – Centre of Research for Energy Resources and Consumption, Spain

^b Universidad de Zaragoza, Spain



Transición a renovables: requerimientos minerales y tasa de retorno energética

Preguntas de investigación



Dynamic Energy Return on Energy Investment (EROI) and material requirements in scenarios of global transition to renewable energies



Iñigo Capellán-Pérez^{a,b,*}, Carlos de Castro^{a,c}, Luis Javier Miguel González^{a,b}

^a Research Group on Energy, Economy and System Dynamics, Escuela de Ingenierías Industriales, Paseo del Cauce s/n, University of Valladolid, 47011 Valladolid, Spain

^b Department of Systems Engineering and Automatic Control, Escuela de Ingenierías Industriales, Paseo del Cauce s/n, University of Valladolid, 47011 Valladolid, Spain

^c Department of Applied Physics, Escuela de Arquitectura, Av Salamanca, 18, University of Valladolid, 47014, Valladolid, Spain

1. ¿Qué demanda de minerales requerirá la transición a un sistema eléctrico 100% renovables mundial en 2060?
2. La extracción y procesamiento de materiales para fabricar los sistemas de captación renovables requerirán energía: ¿de qué magnitud y con qué implicaciones para todo el sistema/metabolismo?

MÉTODO: Modelo MEDEAS-World

Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas de la UVa

<http://www.geeds.es/>

Grupo de profesores e investigadores de diferentes áreas de conocimiento que analizamos problemas globales y locales vinculados a la sostenibilidad energética y su relación con la economía utilizando habitualmente la dinámica de sistemas.

PROYECTOS RELEVANTES:

- MEDEAS h2020 (finalizado): mundo y EU (<https://www.medeas.eu/>)
- MODESLOW (2018-2021): España
- LOCOMOTION h2020 (2019-2022): mundo, grandes regiones mundiales, países de EU (<https://www.locomotion-h2020.eu/>)



INICIO

EQUIPO

PUBLICACIONES

PROYECTOS INVESTIGACION

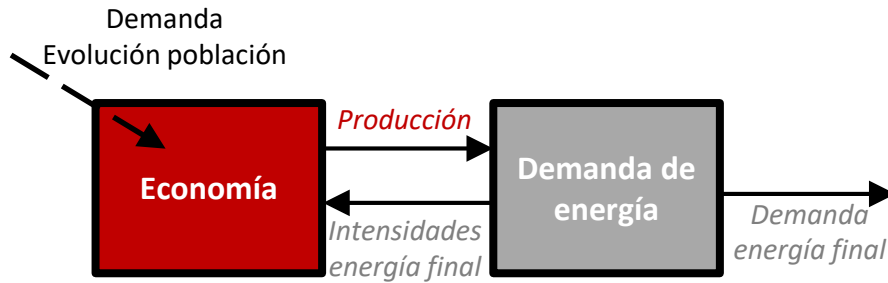
DIVULGACIÓN ▾

BLOG

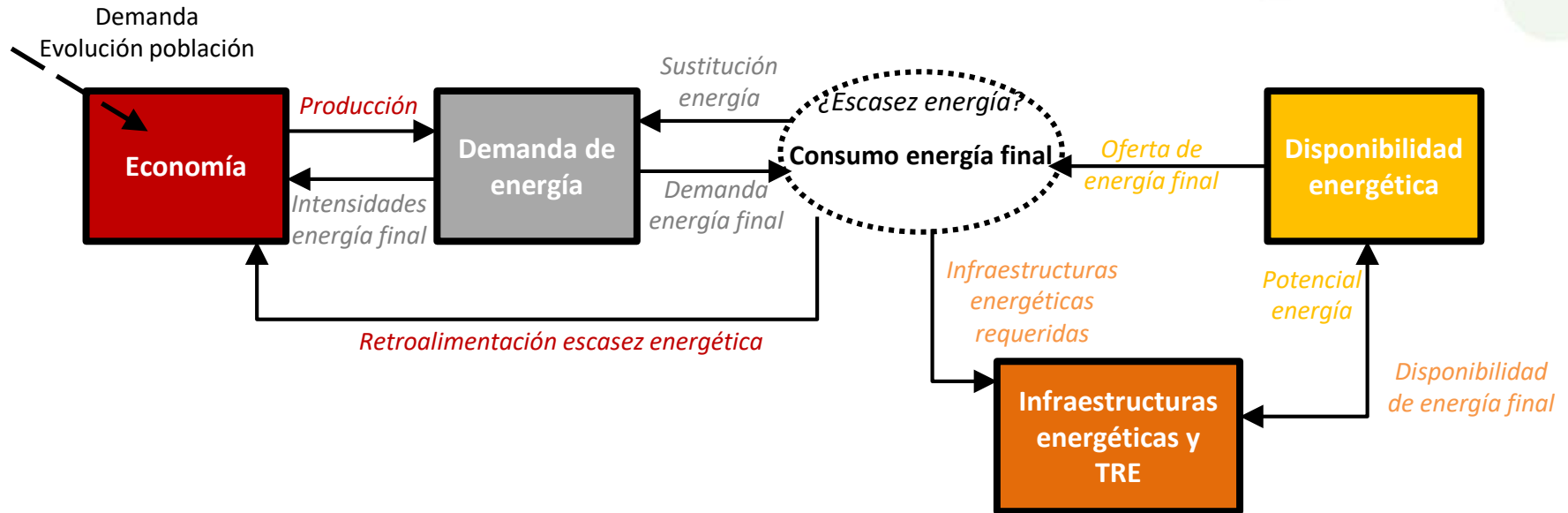
CONTACTO



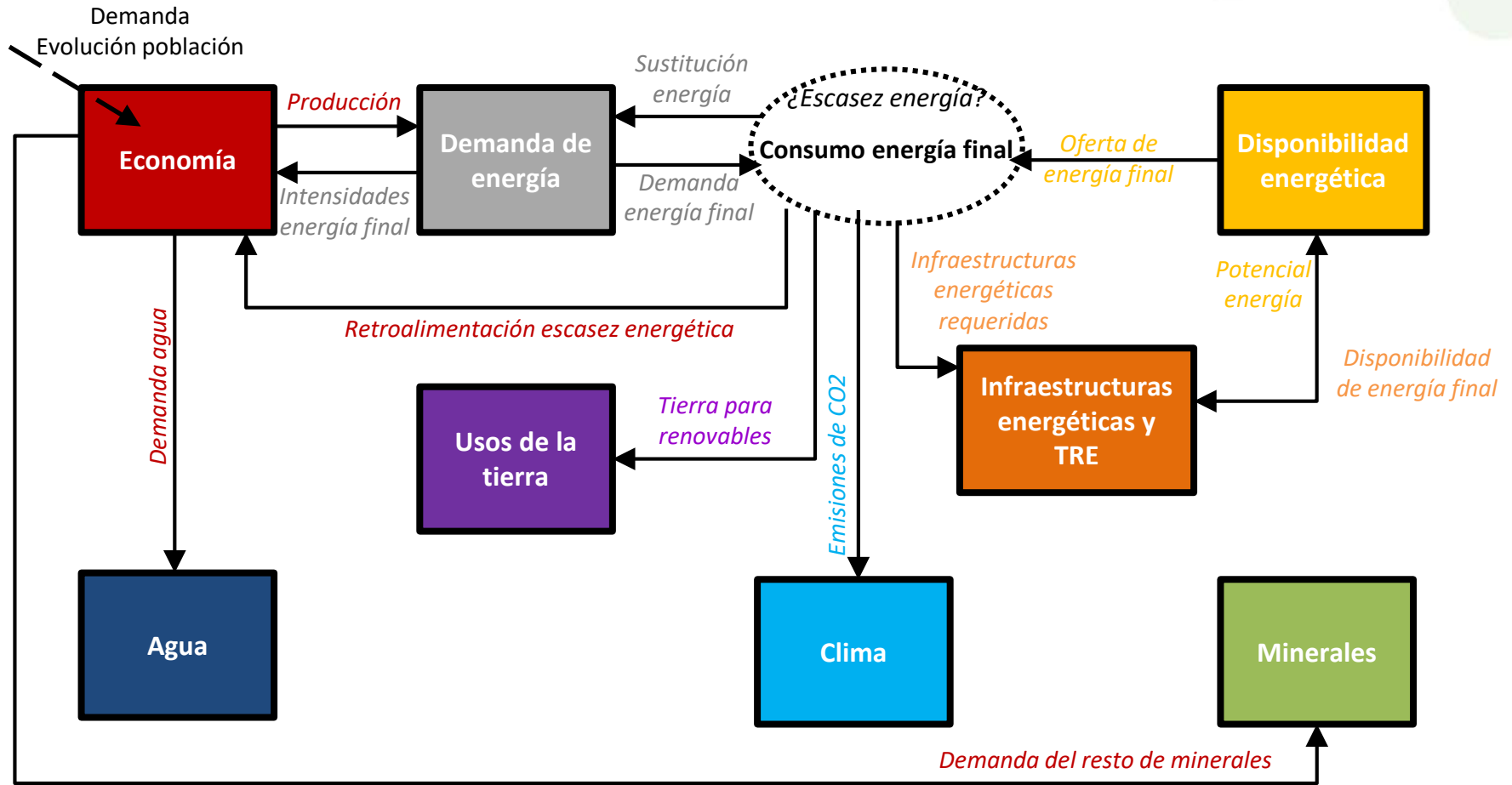
Método: aplicación modelo MEDEAS



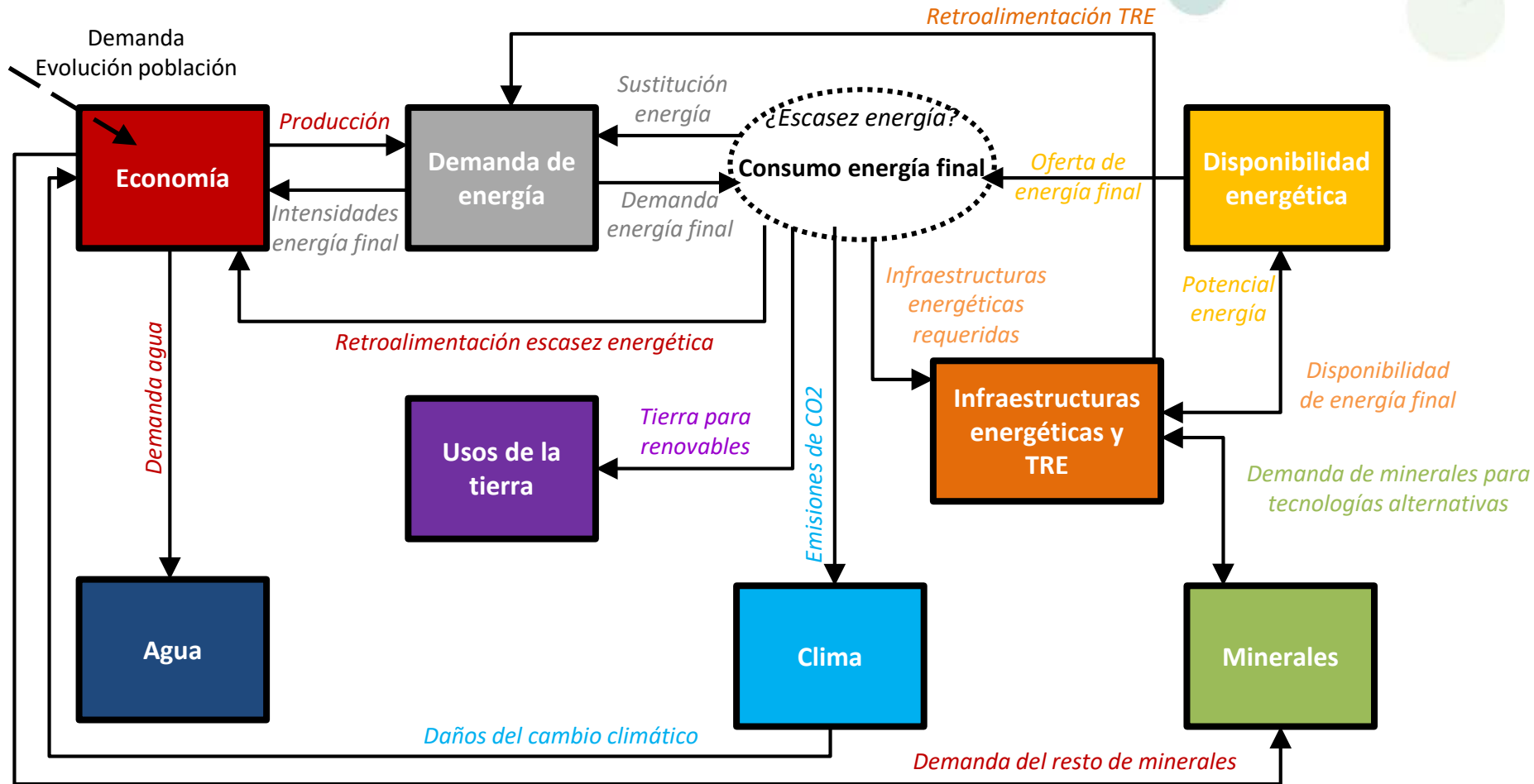
Método: aplicación modelo MEDEAS



Método: aplicación modelo MEDEAS

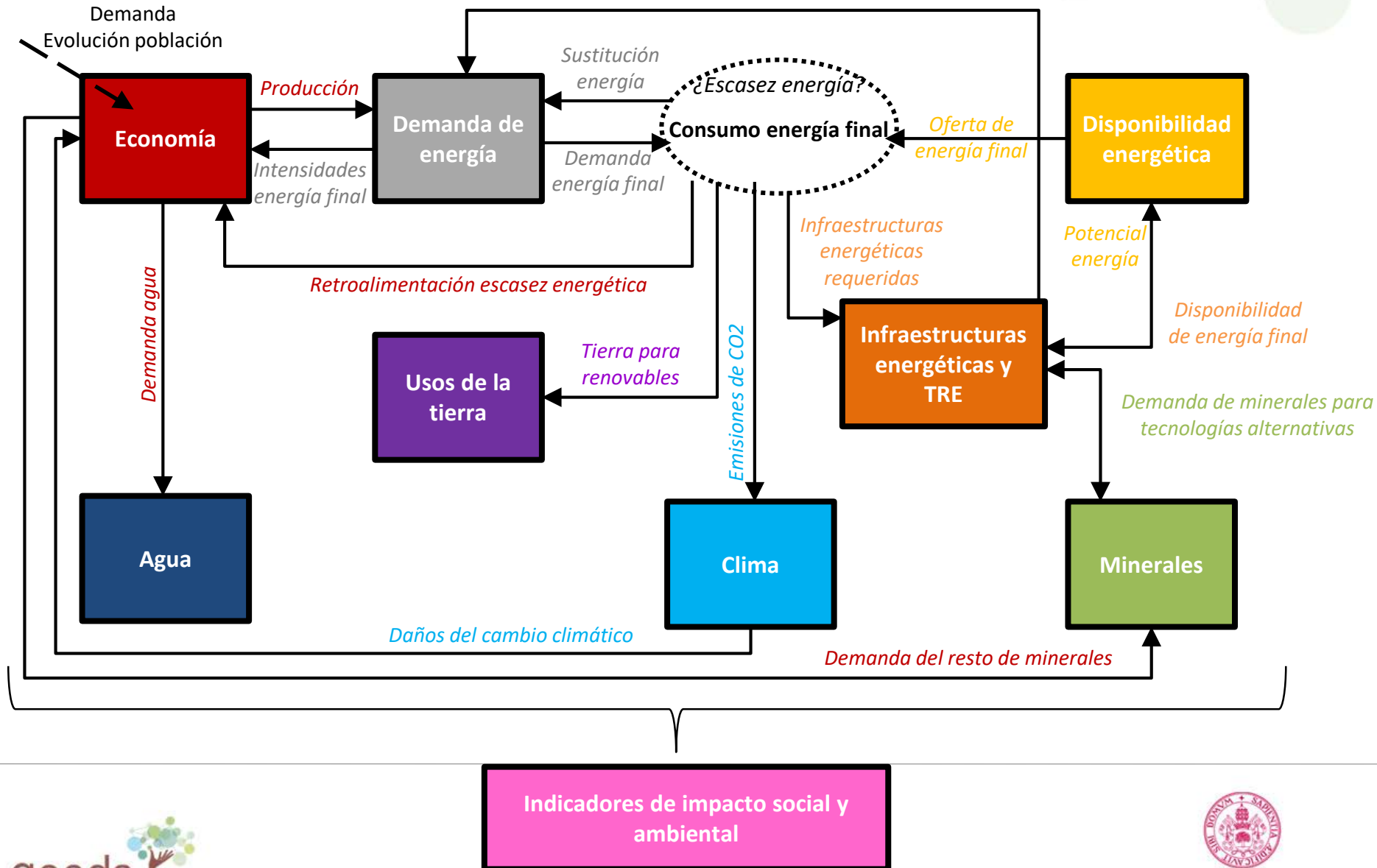


Método: aplicación modelo MEDEAS



Método: aplicación modelo MEDEAS

Curso Online Gratuito (UNED): https://iedra.uned.es/courses/course-v1:UNED+SMD_001+2018/about



Requerimientos minerales de plantas renovables

1 parque eólico típico de 50 MW con un tiempo de vida de 20 años requiere:

	Construcción	Mantenimiento
	kg	kg
Acero	6305000	
Hierro (Fe)	1100000	
Cobre (Cu)	135000	5800
Aluminio	101500	10800
Níquel (Ni)	5550	
Neodimio (Nd)	3050	
Disprosidio (Dy)	243	



Requerimientos minerales de plantas renovables

1 planta solar fotovoltaica típica de 60 MW con un tiempo de vida de 20 años requiere*:

Solar fotovoltaica	Construcción	Mantenimiento
	kg	kg
Hierro (Fe)	9750000	
Aluminio	960000	
Cobre (Cu)	132000	
Acero	120000	
Cromo (Cr)	33000	
Manganeso (Mn)	30000	
Estaño (Sn)	27780	
Níquel (Ni)	14100	
Zinc (Zn)	9750	
Magnesio (Mg)	3210	
Molibdeno (Mo)	3000	
Plata (Ag)	2802	48
Plomo (Pb)	1272	
Titanio (Ti)	375	
Cadmio (Cd)	366	
Teluro (Te)	282	
Indio (In)	270	
Vanadio (V)	28.5	
Galio (Ga)	18	

*promediando con mix FV actual para algunos minerales.

Datos de requerimientos minerales disponibles en:
<https://www.medeas.eu/deliverables>



Requerimientos minerales batería coche eléctrico

1 batería típica de 80 kW con un tiempo de vida de 10 años requiere:

Solar fotovoltaica	Construcción	Mantenimiento
	kg	kg
Aluminio	40	
Cobre (Cu)	23.1	
Litio (Li)	2.8	
Manganeso* (Mn)	130.5	
TOTAL	196.4	

*Mn en lugar de Co porque es más abundante y la CED es menor



Demanda de minerales en escenario de “Crecimiento Verde” de transición global a 100% renovables eléctricas

¿Implicaciones del escalado de estas tecnologías para la demanda de minerales?

>> Exploración de impactos mediante simulación del modelo MEDEAS-Mundo hasta 2060

Escenario “Crecimiento Verde” mundial (solución institucional a la crisis ambiental):

+ crecimiento económico

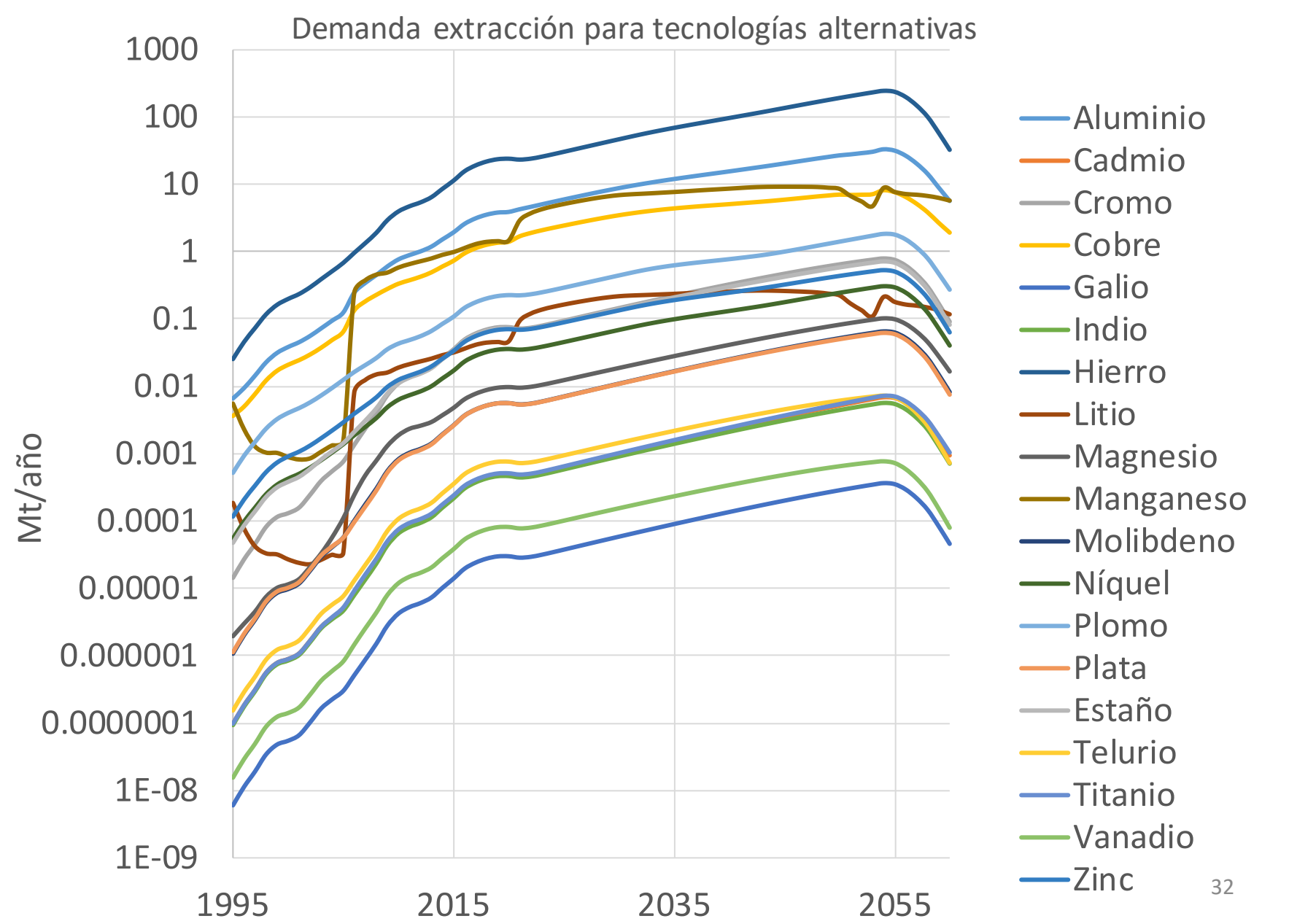
- crecimiento población

+ renovables: electricidad 100% renovable en 2060

+ mejora tecnológica, incluyendo altas tasas de reciclado (85% en 2060) y altas mejoras de eficiencia energética

transición a movilidad eléctrica (70% vehicules privados – hoy 1300 millones)

Resultados para 100% renovables eléctricas:

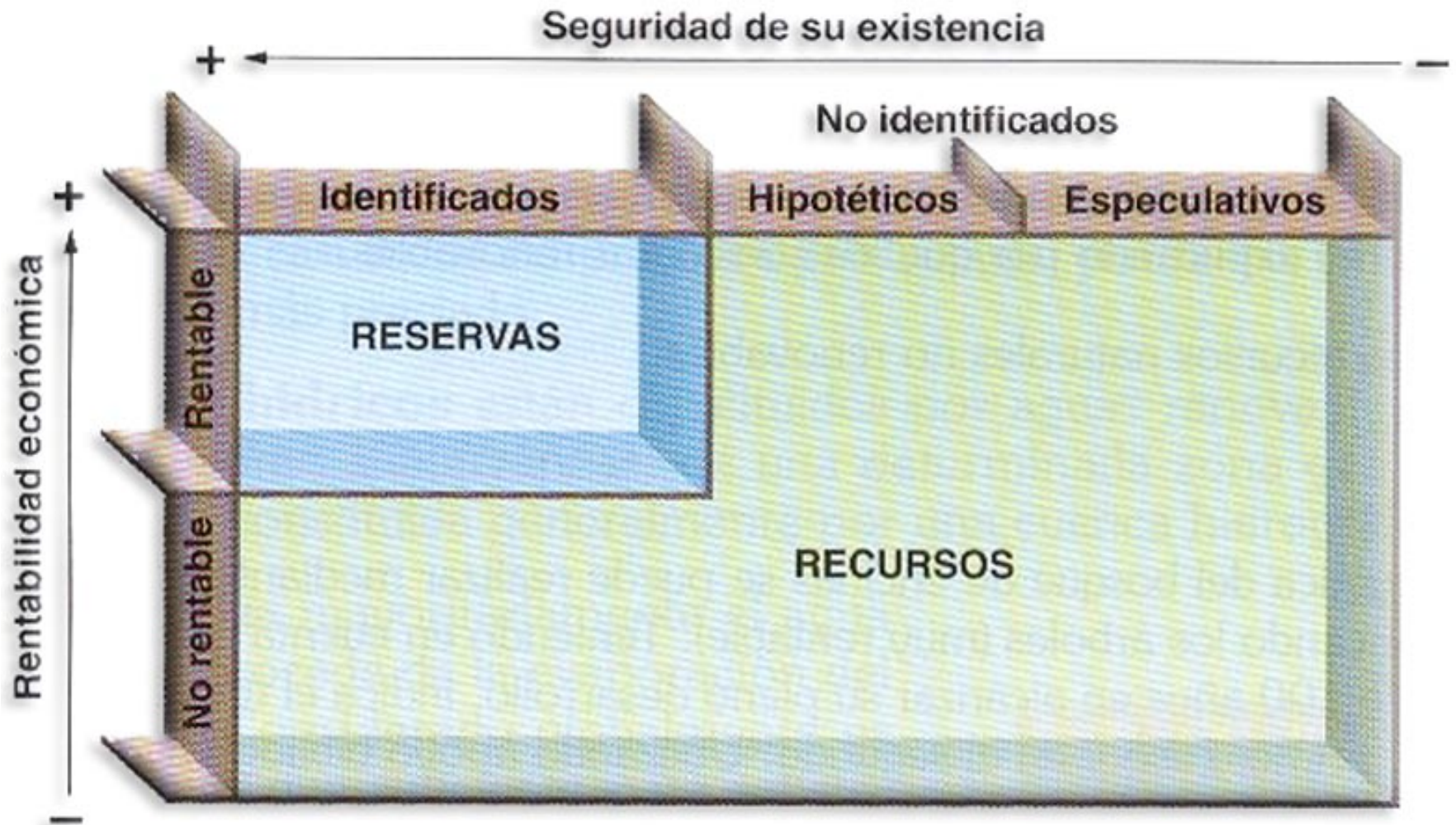


Resultados para 100% renovables eléctricas:

Incrementos de demanda en relación al resto de la economía hacia el año 2050:

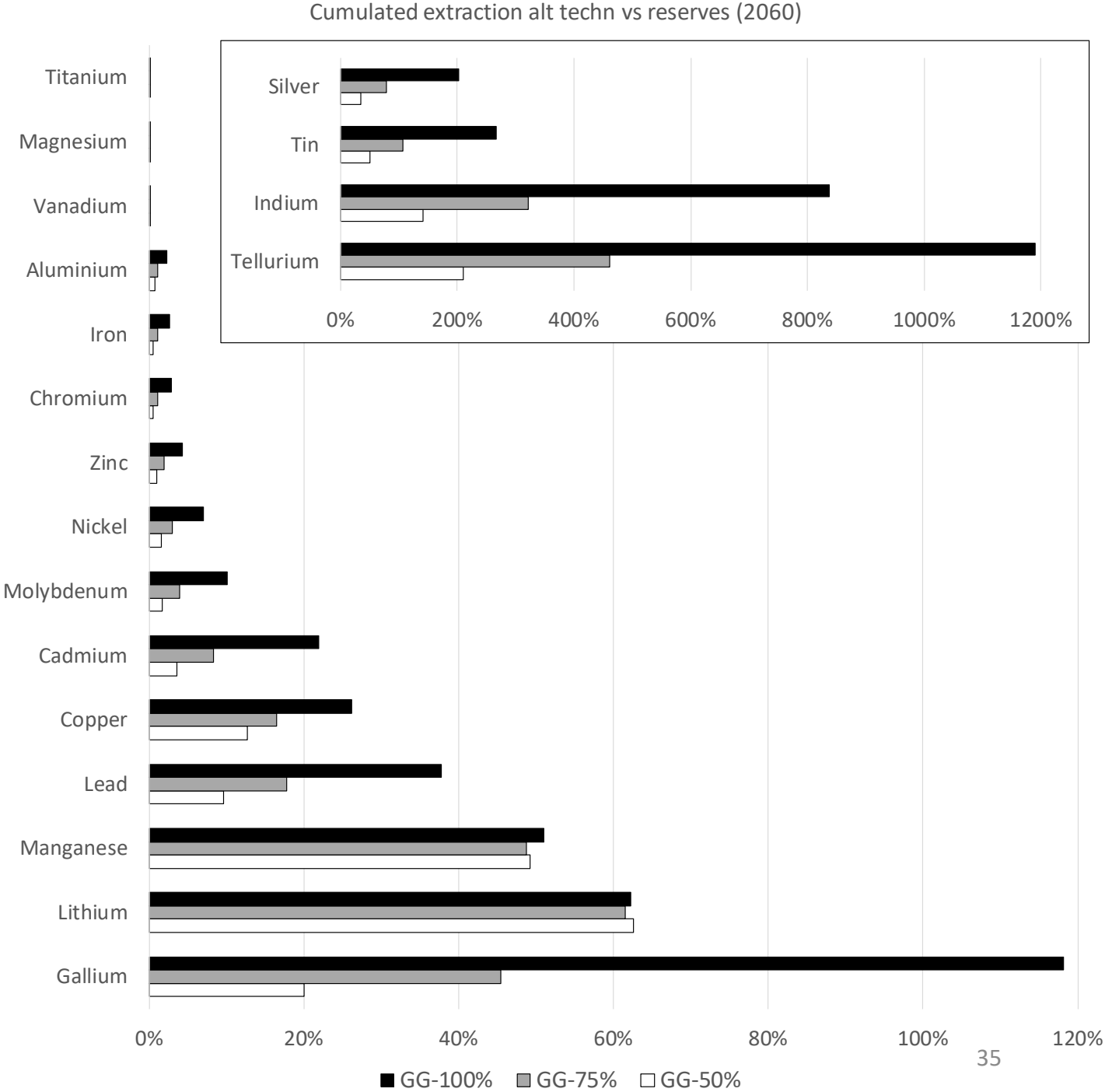
Aluminio	> +100%
Cadmio	
Cobre	
Galio	
Indio	
Litio	
Plata	
Estaño	
Manganeso	Entre +10 y +50%
Molibdeno	
Níquel	
Plomo	
Cromo	< +10%
Hierro	
Magnesio	
Titanio	
Vanadio	
Zinc	

Reservas vs. recursos

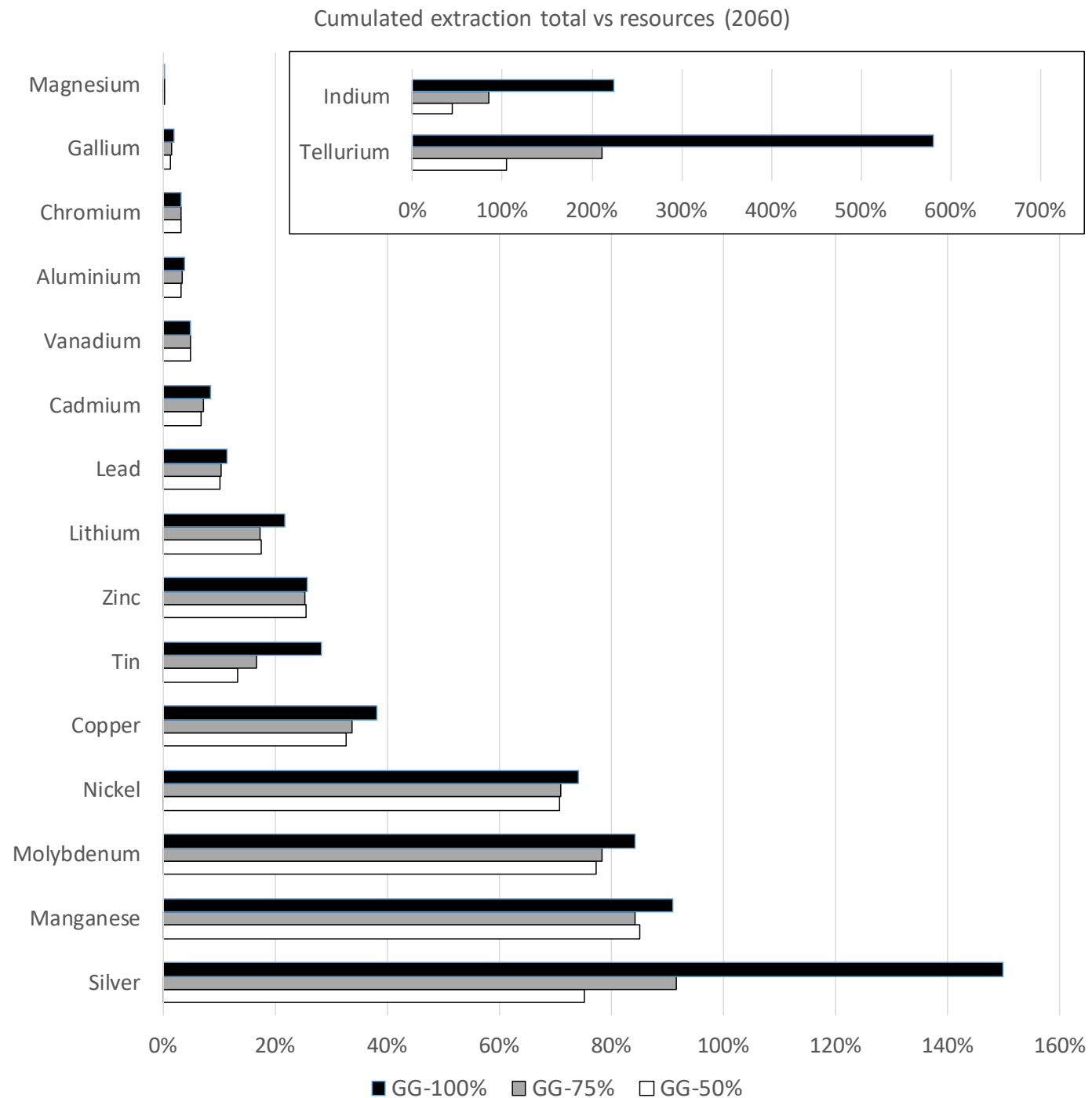


Relación entre recursos y reservas.

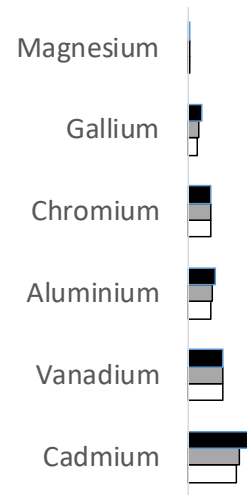
Resultados simulación: demanda alt vs reservas



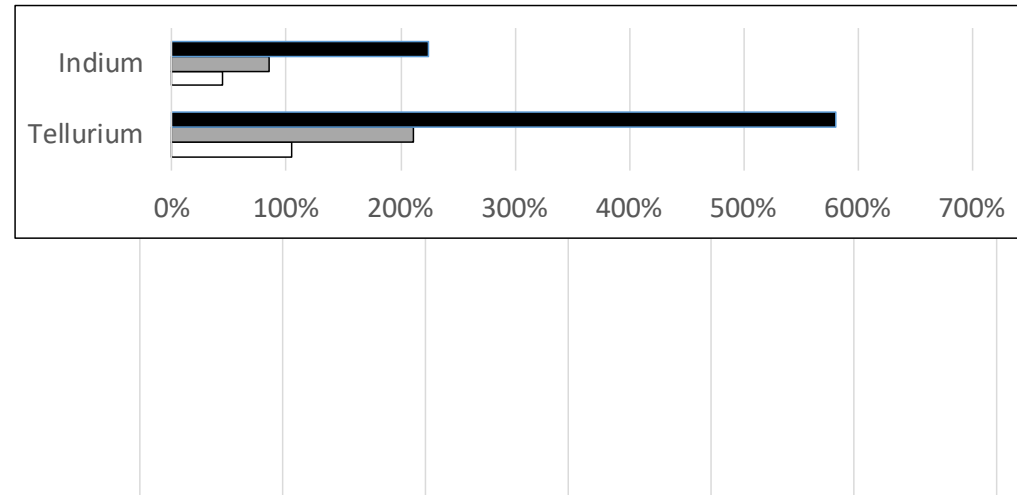
Resultados simulación: demanda total vs recursos



Resultados simulación: demanda total vs recursos



Cumulated extraction total vs resources (2060)



Environmental Science and Pollution Research
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04357-1>

RESEARCH ARTICLE



Silver prices and solar energy production

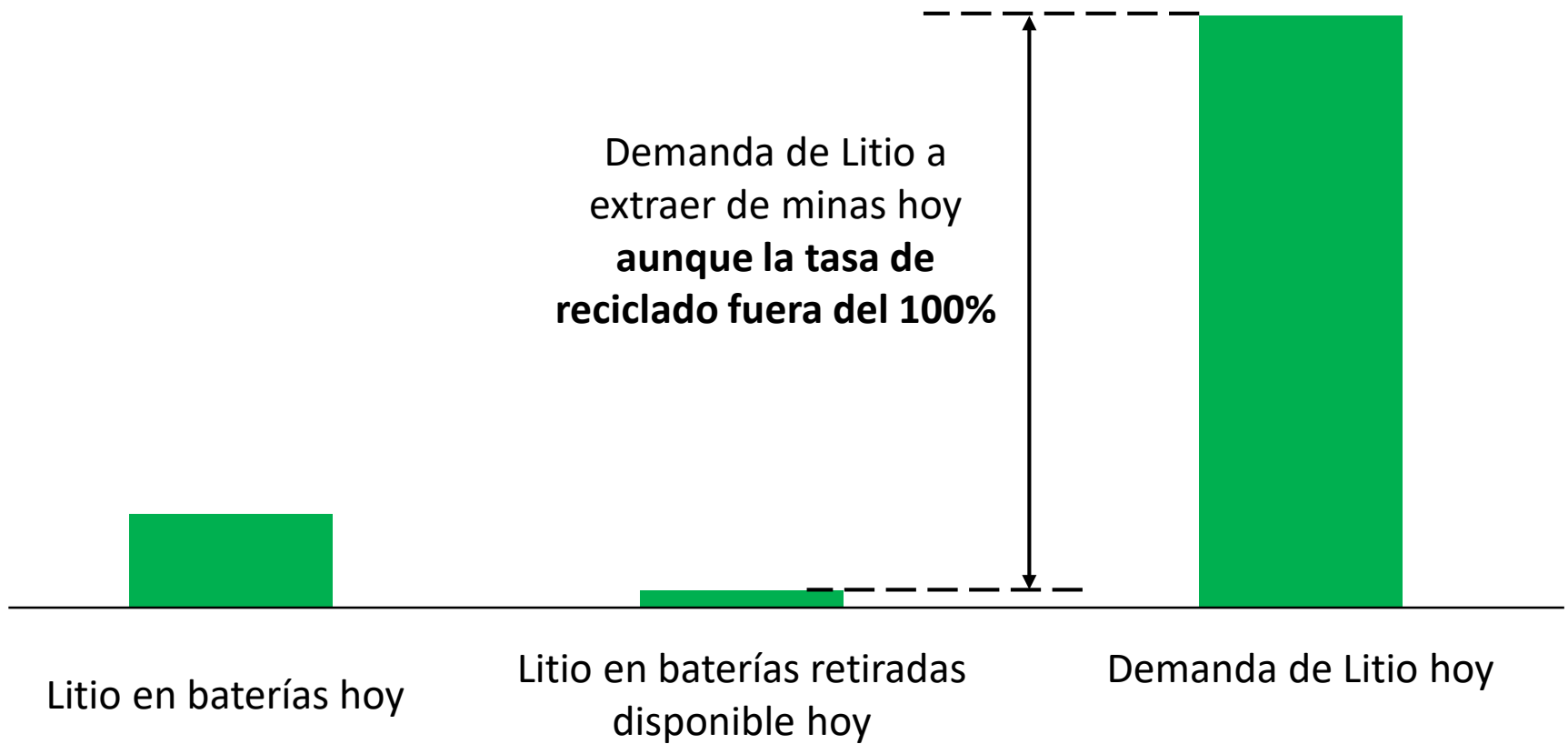
Iraklis Apergis¹ • Nicholas Apergis^{2,3} 

Received: 7 December 2018 / Accepted: 22 January 2019
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2019

Abstract

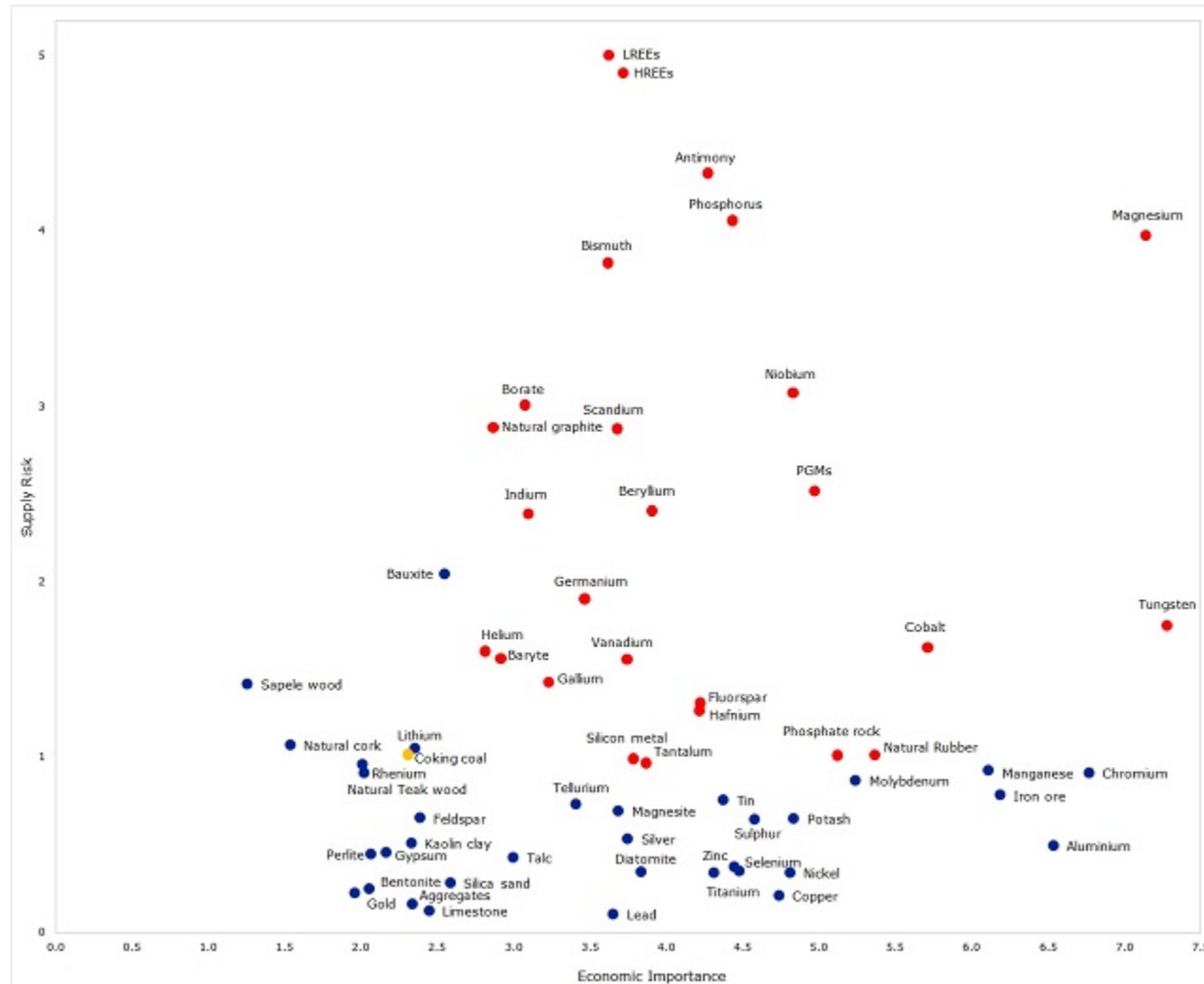
The goal of this paper is to identify, for the first time, the role of solar production in driving silver prices. The empirical analysis makes use of the ARDL model and the combined cointegration. The results, spanning the period 1990–2016, document that stronger solar installed capacities, as well as higher gross electricity production from solar sources, lead to higher silver prices. The findings could be of great importance to silver suppliers and to energy policymakers and regulators, as well as to solar panel manufacturers.

El reciclaje no es la solución para aquellos minerales que se van a demandar mucho más que en el pasado:



Implicaciones sociales y ambientales

- 1) Identificación Critical Raw Materials para UE
- 2) Fomentar extracción en la UE de estos CRMs
- 3) Promoción economía circular



Expansión de la frontera extractiva...

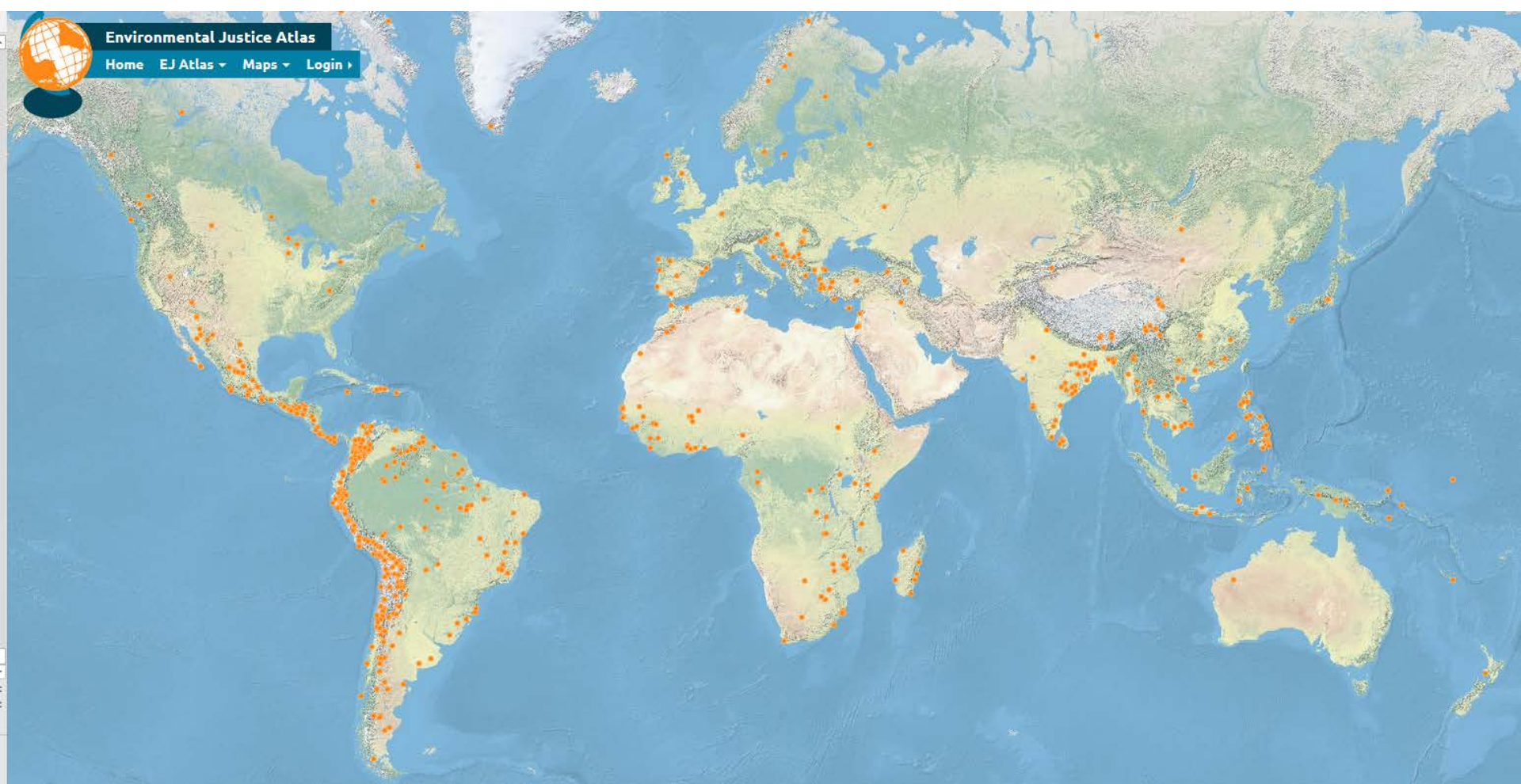
NO^a la MINA

Boom de proyectos mineros en España (>3000)

Proyecto mina de Litio en Cáceres:



Pero el grueso del problema está (y estará probablemente en los países del Sur)



Categoría “*Mineral ores and building materials extraction*”
<https://ejatlas.org/>

Conclusiones sobre el análisis de requerimientos minerales

1. **Transición a renovables disparará la demanda de algunos minerales a minar**, aún suponiendo altas tasas de reciclado en el futuro. Podría incluso convertirse en la mayor presión de demanda en el futuro para minerales como *aluminio, cadmio, cobre, galio, indio, litio, plata y estaño*.
2. **Eventuales altas tasas de reciclado no pueden reducir la demanda de minerales a minar** dado que el sistema necesita tales cantidades que actualmente no están en el sistema, y según van entrando quedan atrapadas en él décadas antes de estar disponibles. Este fenómeno es agravado por el *crecentismo* del sistema.
3. **Los requerimientos pueden incluso ser incompatibles con el potencial biofísico** estimado actualmente para algunos minerales (reservas y recursos)
4. **Incremento de la presión para expandir la frontera extractiva a nuevos territorios** con los previsibles impactos sociales y ambientales dado que la minería sostenible no existe.
5. Tener además en cuenta que existen otras limitaciones biofísicas a la expansión ilimitada de las renovables, como es la **ocupación de tierras**.

Análisis de la Tasa de Retorno Energético

¿Por qué la TRE es importante?

$$\text{TRE} = \frac{\text{energía obtenida}}{\text{energía invertida}}$$

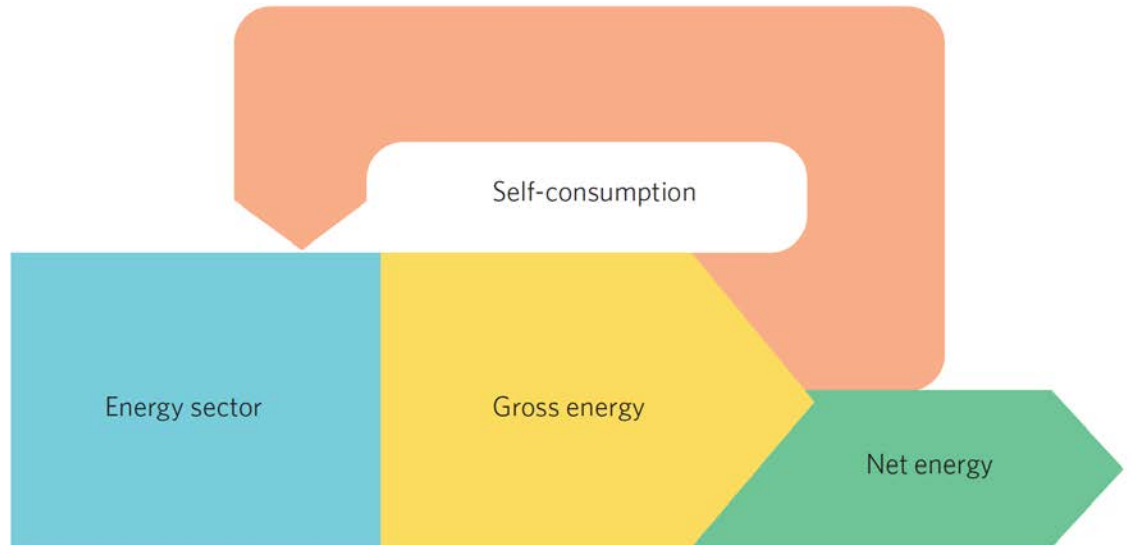
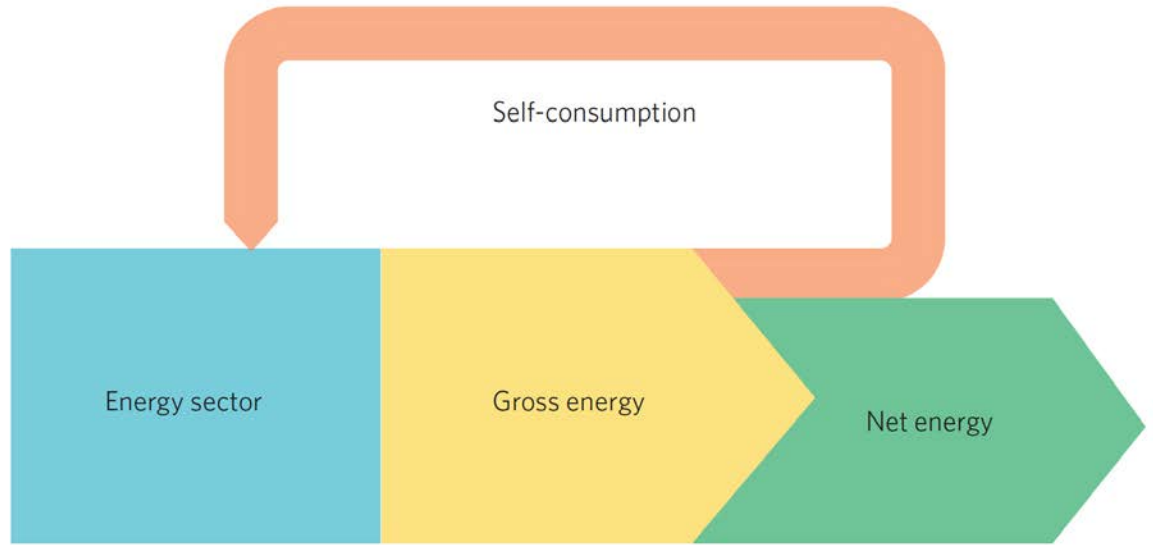
- Teorización (Antropología): **Ley de White (1943):**
 - Culturas como sistemas termodinámicos,
 - Evolución cultural como función del incremento del consumo de energía y mejora tecnológica.

Si $\text{TRE} \approx 1$: almacenamiento

Si $\text{TRE} < 1$: sumidero, no fuente!

Sistema con “alta” vs “baja” TRE

Para la misma energía primaria, mucha menos energía útil para la sociedad



Caza exitosa



TRE =

Caza





=



Defensa



Si la TRE no es “suficientemente” alta, ¡no se pueden asegurar las funciones sociales y metabólicas!

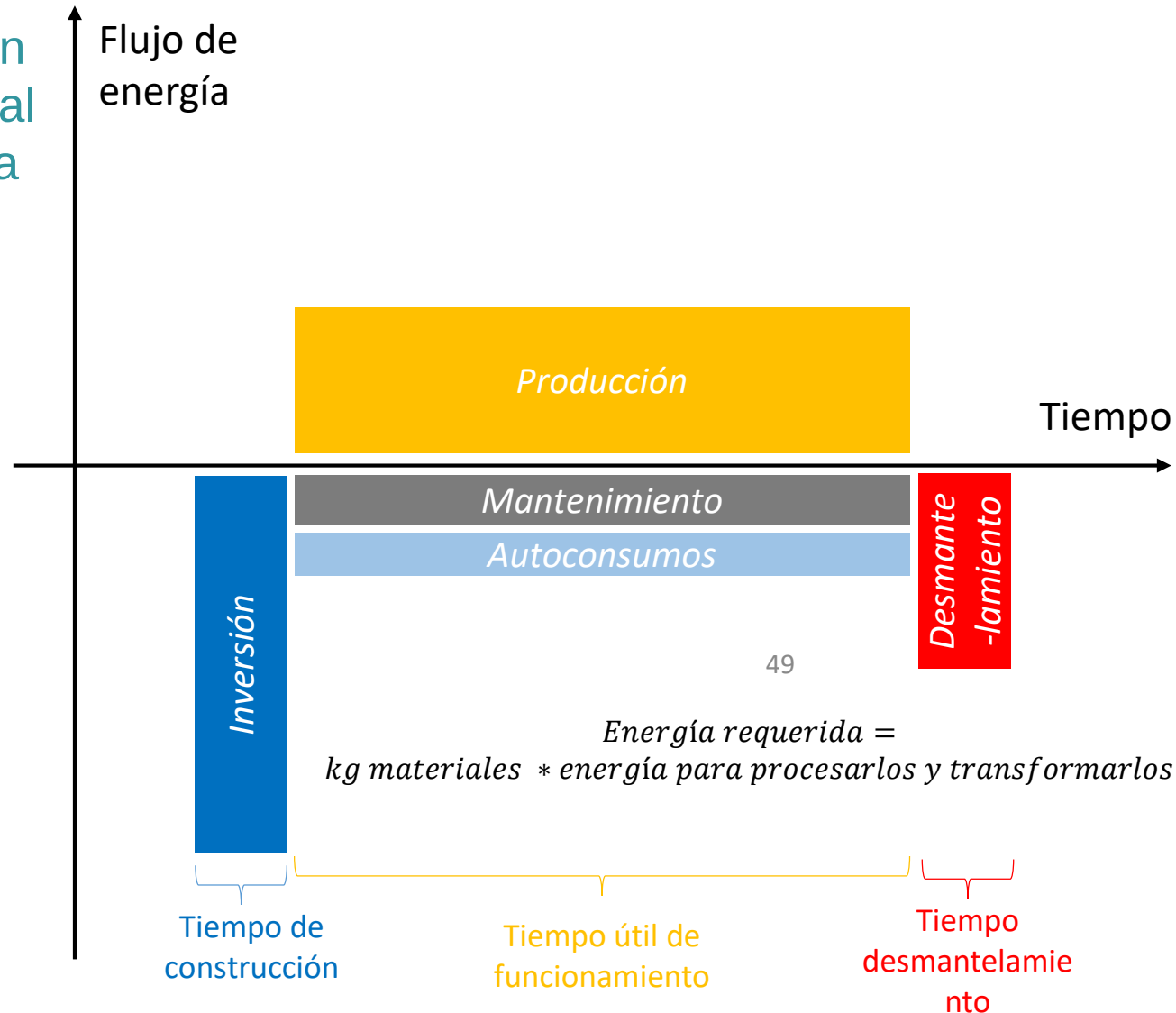
La Tasa de Retorno Energético (TRE)



Inversiones energéticas para la transición energética

Las renovables necesitan una fuerte inversión inicial para “devolver” energía a lo largo de su tiempo de funcionamiento:

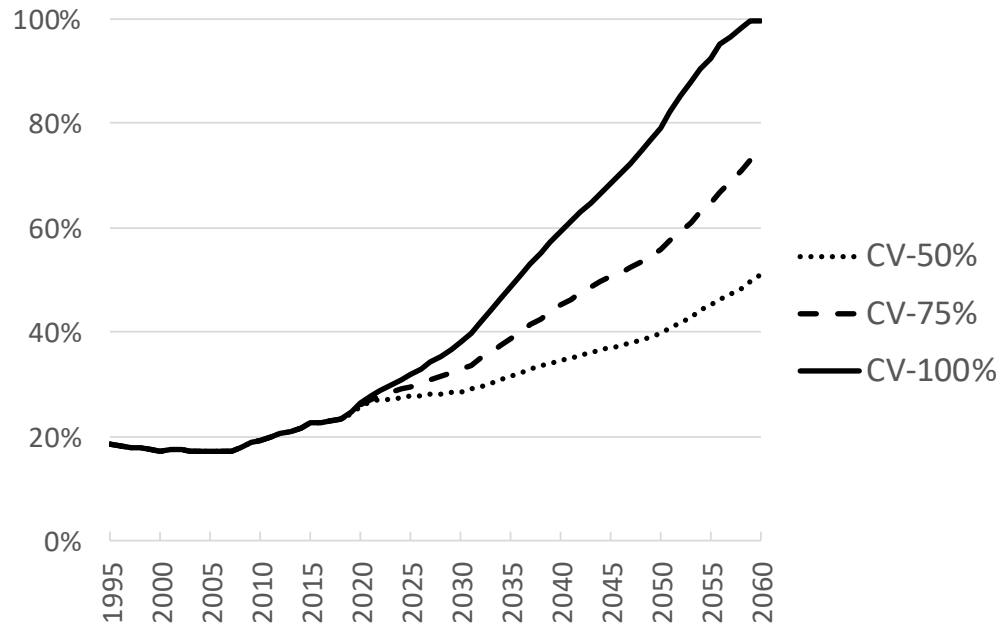
Modelado dinámico en MEDEAS incluyendo gestión intermitencia:



¿Cuál es la TRE de todo el sistema asociada a los escenarios anteriores de transición global a 50, 75 y 100% renovables eléctricas en 2060?

Evolucio

Proporción renovables en el mix eléctrico global

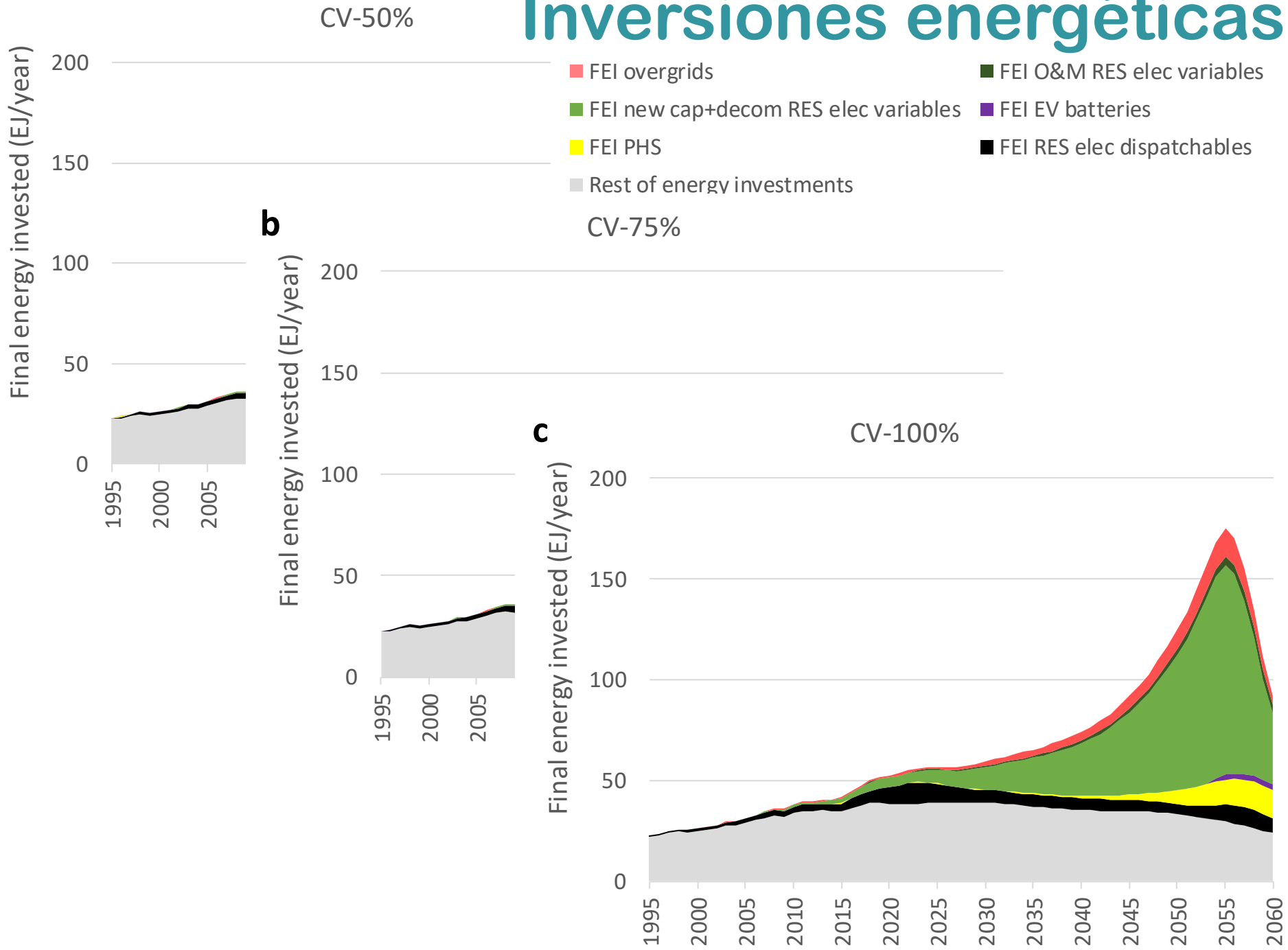


b

EROIst system

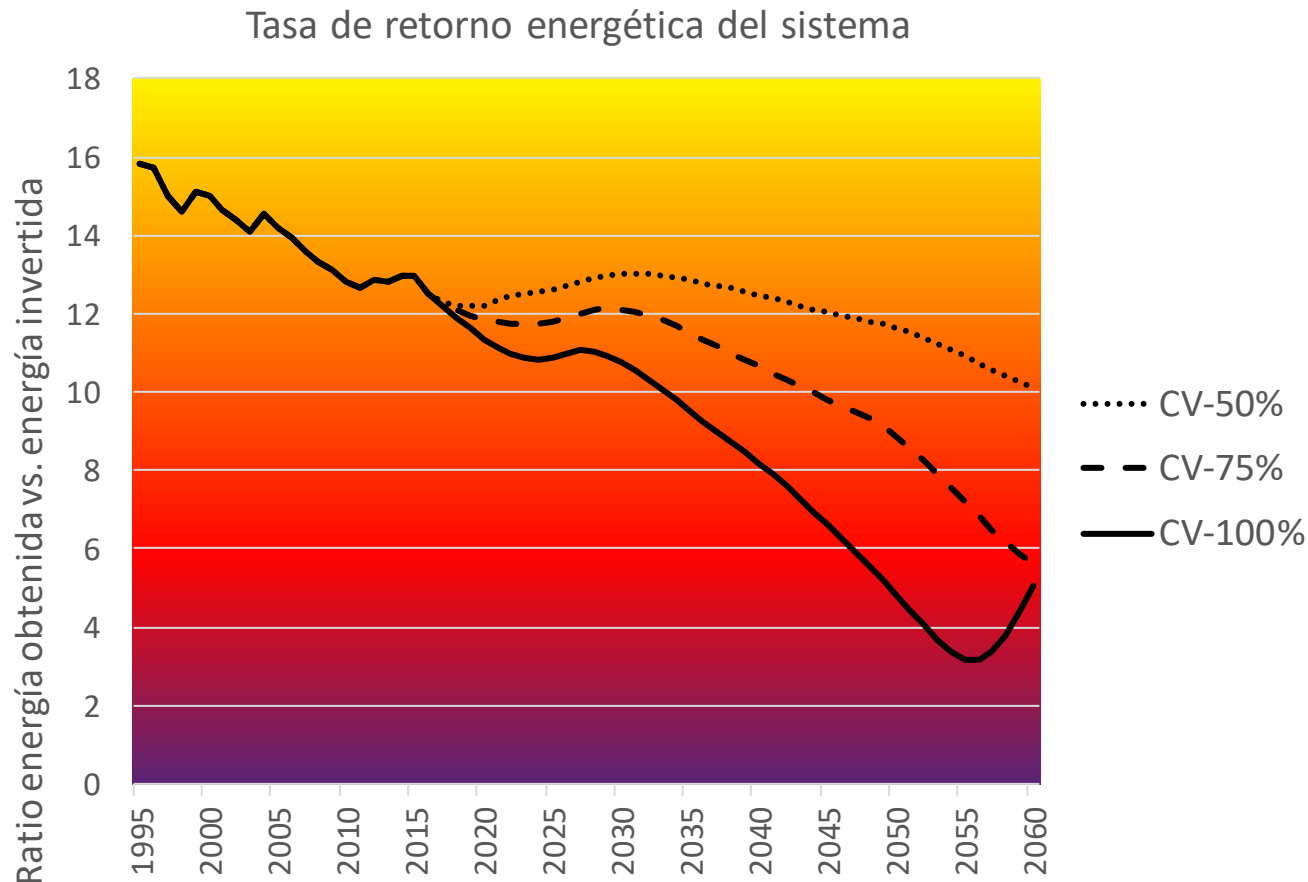


Inversiones energéticas



¿Implicaciones metabólicas?

- Actual modelo MEDEAS no captura las implicaciones metabólicas (trabajo en curso): empleo, inversiones, etc.
- ¿Mínimo para mantener una sociedad compleja industrial? Literatura apunta a ~5-10:1.
- AVISO



Conclusiones

1. **Transición rápida a las renovables es una necesidad** para reducir nuestro impacto sobre la biosfera en término de emisiones GEI, contaminación atmosférica, etc.
2. PARADOJA: cuánto más rápida sea la transición, mayor será la presión sobre la viabilidad del sistema (TRE).
3. Suministrar niveles de energía similares (y se supone mayores en el futuro) a los actuales mediante renovables se enfrenta a una serie de limitantes biofísicos que en la práctica reducen su potencial (minerales, tierra, biodiversidad, etc.).

El análisis de requerimientos de minerales y de la TRE viene a **reforzar que las renovables no podrán sostener el paradigma del crecimiento**. La solución es adaptar nuestras sociedades a un nivel más bajo de consumo de energía que pueda ser suministrado de forma sostenible mediante tecnologías y fuentes renovables (paradigma de “**Decrecimiento**”).

Conclusiones: las renovables presentan una oportunidad de transformación

- **SOSTENIBLES** si dimensionadas correctamente en relación a la biosfera
 - E.g., priorizar FV sobre tejado, usar zonas de bajo valor ambiental, fomentar dobles usos
- ENERGÍA DISTRIBUIDA → DISTRIBUCIÓN (“dilución”) DEL PODER → MAYOR **DEMOCRACIA**
- **SOBERANÍA** ENERGÉTICA (menor injerencia geopolítica) → menos conflictos
- GESTIÓN DE LA INTERMITENCIA: cambiar el paradigma: **adaptarnos a la naturaleza** en vez de esforzarnos por adaptarla a nosotros.

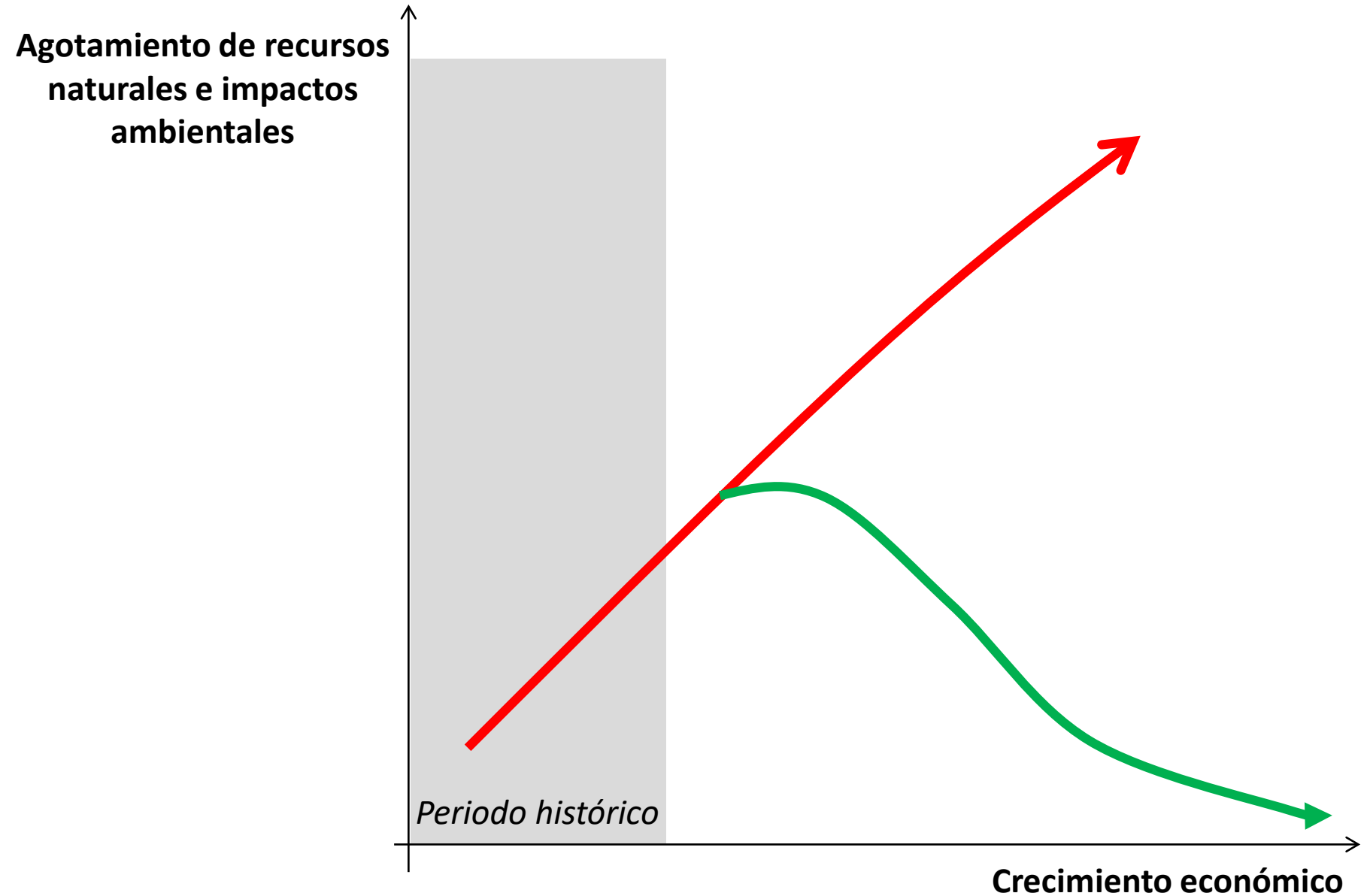
Mapa de iniciativas de energía comunitaria en Europa



<https://www.rescoop.eu/community-energy-map>

<http://www.unionrenovables.coop/>

Desacoplamiento



Informe “Decoupling Debunked” (EEB)

<https://eeb.org/library/decoupling-debunked/>

**Ninguna economía está
desacoplando emisiones GEI
cómo se postula por la teoría
del desacoplamiento (revisión
casi 100 artículos).**

**Escasez de minerales
Presión sobre tierras**

TRE →

7 barriers to green growth

7. Cost shifting

What has been observed and termed as decoupling in some local cases was generally only apparent decoupling resulting mostly from an externalisation of environmental impact from high-consumption to low-consumption countries enabled by international trade. Accounting on a footprint basis reveals a much less optimistic picture and casts further doubt on the possibility of a consistent decoupling in the future.

6. Insufficient and inappropriate technological change

Technological progress is not targeting the factors of production that matter for ecological sustainability and not leading to the type of innovations that reduce environmental pressures; it is not disruptive enough as it fails to displace other undesirable technologies; and it is not in itself fast enough to enable a sufficient decoupling.

5. Limited potential of recycling

Recycling rates are currently low and only slowly increasing, and recycling processes generally still require a significant amount of energy and virgin raw materials. Most importantly, recycling is strictly limited in its ability to provide resources for an expanding material economy.

4. The underestimated impact of services

The service economy can only exist on top of the material economy, not instead of it. Services have a significant footprint that often adds to, rather than substitute, that of goods.

3. Problem shifting

Technological solutions to one environmental problem can create new ones and/or exacerbate others. For example, the production of private electric vehicles puts pressure on lithium, copper, and cobalt resources; the production of biofuel raises concerns about land use; while nuclear power generation produces nuclear risks and logistic concerns regarding nuclear waste disposal.

2. Rebound effects

Efficiency improvements are often partly or totally compensated by a reallocation of saved resources and money to either more of the same consumption (e.g. using a fuel-efficient car more often), or other impactful consumptions (e.g. buying plane tickets for remote holidays with the money saved from fuel economies). It can also generate structural changes in the economy that induce higher consumption (e.g. more fuel-efficient cars reinforce a car-based transport system at the expense of greener alternatives, such as public transport and cycling).

1. Rising energy expenditures

When extracting a resource, cheaper options are generally used first, the extraction of remaining stocks then becoming a more resource- and energy-intensive process resulting in a rising total environmental degradation per unit of resource extracted.



Referencias

- Capellán-Pérez, Iñigo, Carlos de Castro, and Iñaki Arto. "Assessing Vulnerabilities and Limits in the Transition to Renewable Energies: Land Requirements under 100% Solar Energy Scenarios." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77 (September 2017): 760–82. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.137>.
- Capellán-Pérez, Iñigo, Ignacio de Blas, Jaime Nieto, Carlos De Castro, Luis Javier Miguel, Margarita Mediavilla, Óscar Carpintero, Paula Rodrigo, Fernando Frechoso, and Santiago Cáceres. "D4.1 MEDEAS Model and IOA Implementation at Global Geographical Level." Deliverable MEDEAS project, <http://www.medeas.eu/deliverables>. GEEDS, University of Valladolid, June 30, 2017.
<https://www.medeas.eu/system/files/documentation/files/Deliverable%204.1%20%28D13%29%20Global%20Model.pdf>.
- de Castro, C., Capellán-Pérez, I., 2018. Concentrated Solar Power: Actual Performance and Foreseeable Future in High Penetration Scenarios of Renewable Energies. *Biophys Econ Resour Qual* 3, 14. <https://doi.org/10.1007/s41247-018-0043-6>
- Miller, L.M., Keith, D.W., 2018. Climatic Impacts of Wind Power. *Joule* 2, 2618–2632.
<https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.09.009>
- OECD. "Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences." Paris (France): OECD Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., Vries, W. de, Wit, C.A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Meyers, B., Sörlin, S., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855.
<https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- UTS-ISF. "Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy." Sydney (Australia): Institute for Sustainable Futures, University of Technology, April 17, 2019. <https://earthworks.org/publications/responsible-minerals-sourcing-for-renewable-energy/>.
- Valero, Alicia, Antonio Valero, Guiomar Calvo, and Abel Ortego. "Material Bottlenecks in the Future Development of Green Technologies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93 (October 2018): 178–200.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.041>.
- Van de Ven, D.-J., Capellán-Pérez, I., Arto, I., Cazcarro, I., De Castro, C., Patel, P., González-Eguino, M., 2020. The potential land use requirements and related land use change emissions of solar energy. Under review.



Muchas gracias.-



Iñigo Capellán Pérez

Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas
Universidad de Valladolid

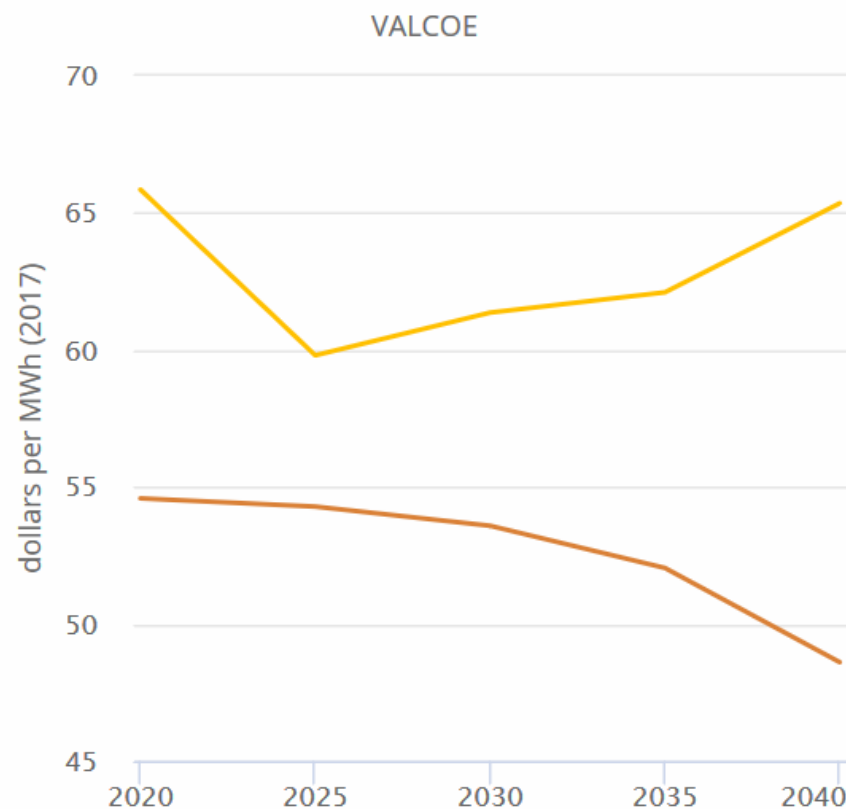
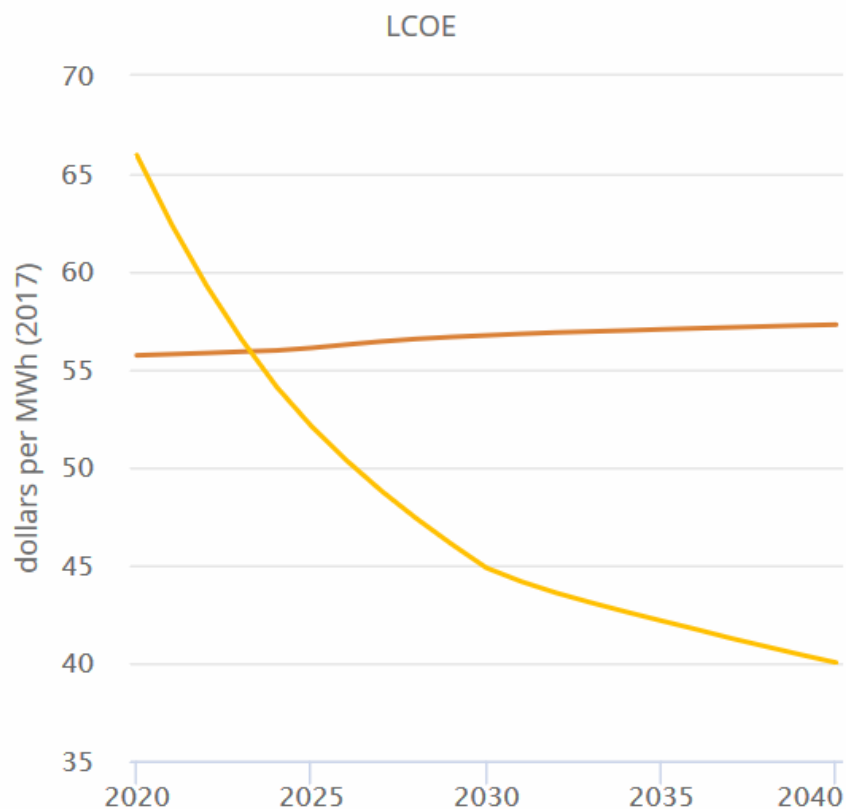
inigo.capellan@uva.es - www.geeds.es



Universidad de Valladolid

INFO ADICIONAL

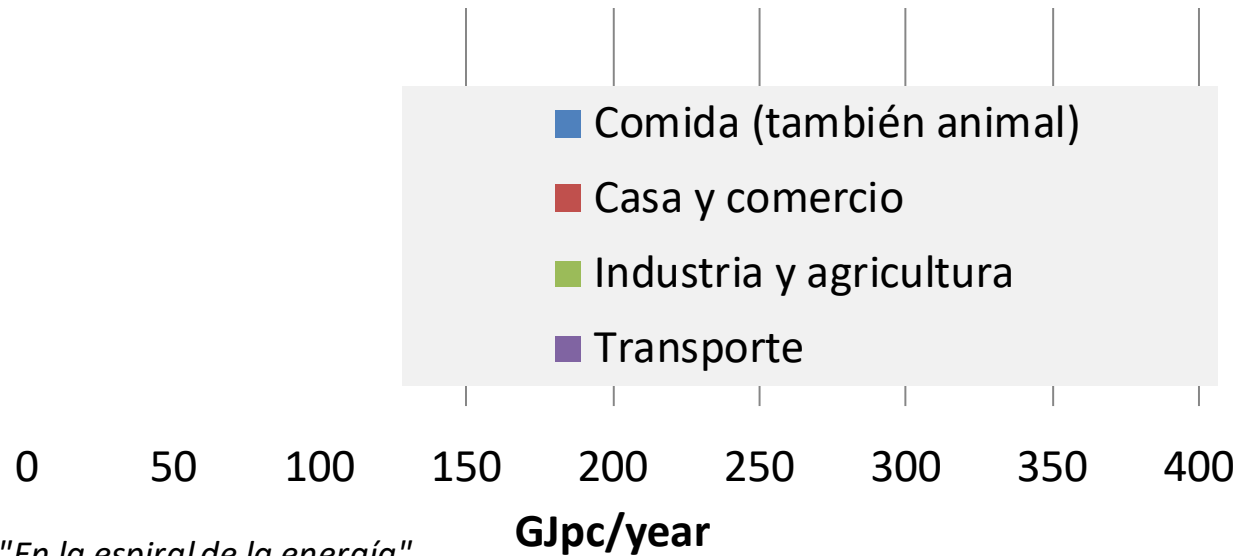
Levelised cost of electricity (LCOE) and value-adjusted LCOE (VALCOE) for solar PV and coal-fired power plants in India in the NPS



● Solar PV ● Coal

ENERGÍA Y DESARROLLO

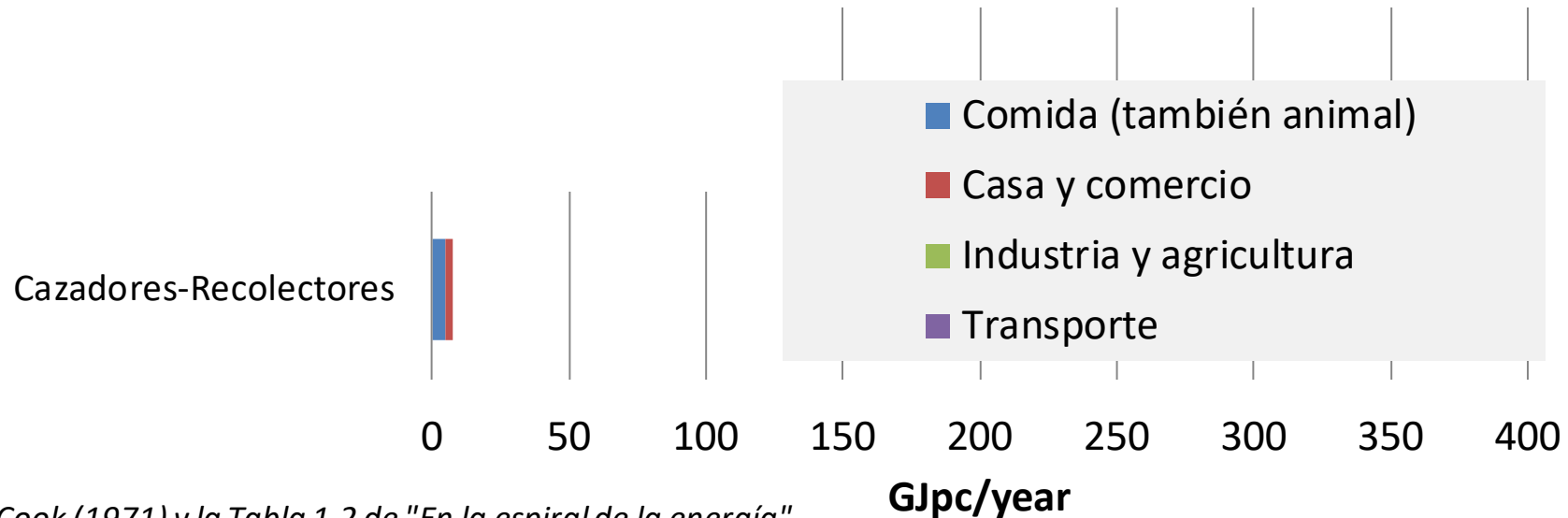
Consumo de energía de distintos metabolismos sociales
sociales



Adaptado de Cook (1971) y la Tabla 1.2 de "En la espiral de la energía"

ENERGÍA Y DESARROLLO

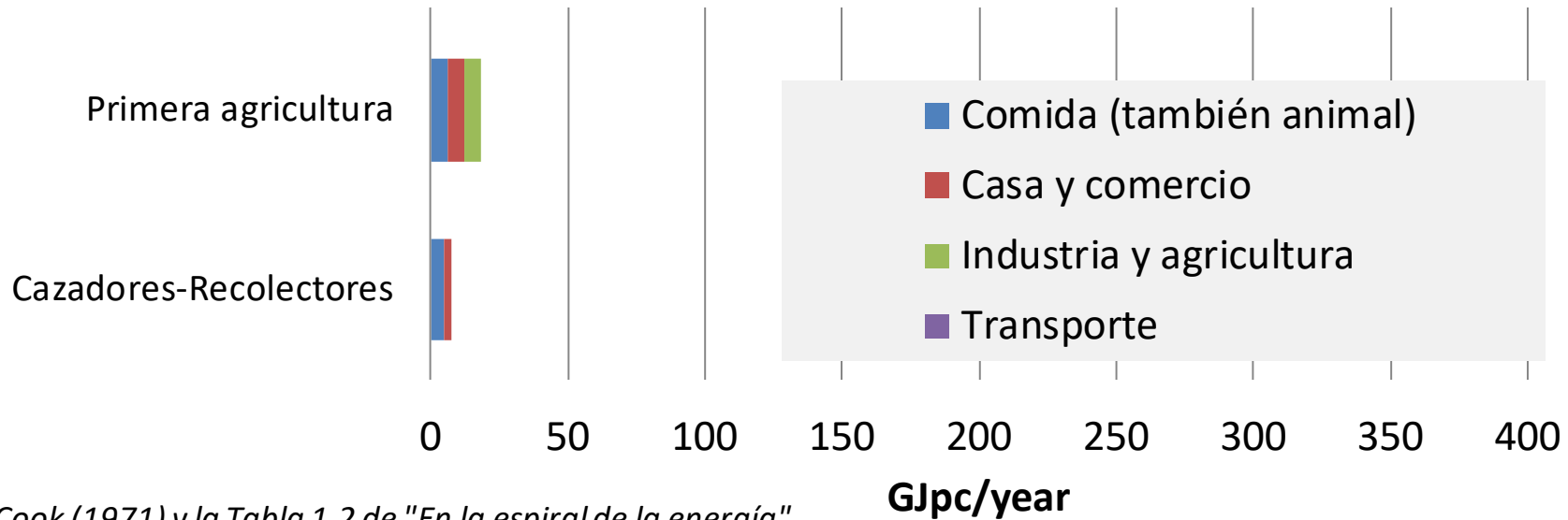
Consumo de energía de distintos metabolismos sociales
sociales



Adaptado de Cook (1971) y la Tabla 1.2 de "En la espiral de la energía"

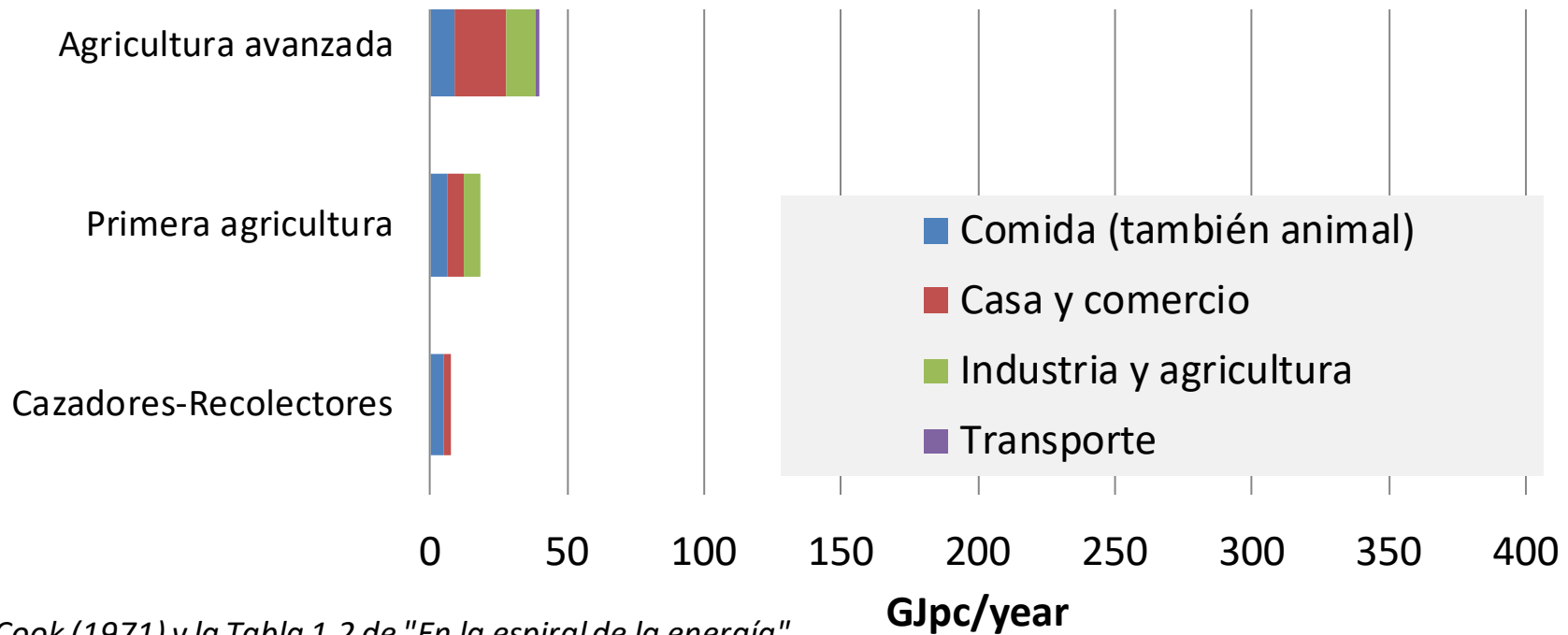
ENERGÍA Y DESARROLLO

Consumo de energía de distintos metabolismos sociales
sociales



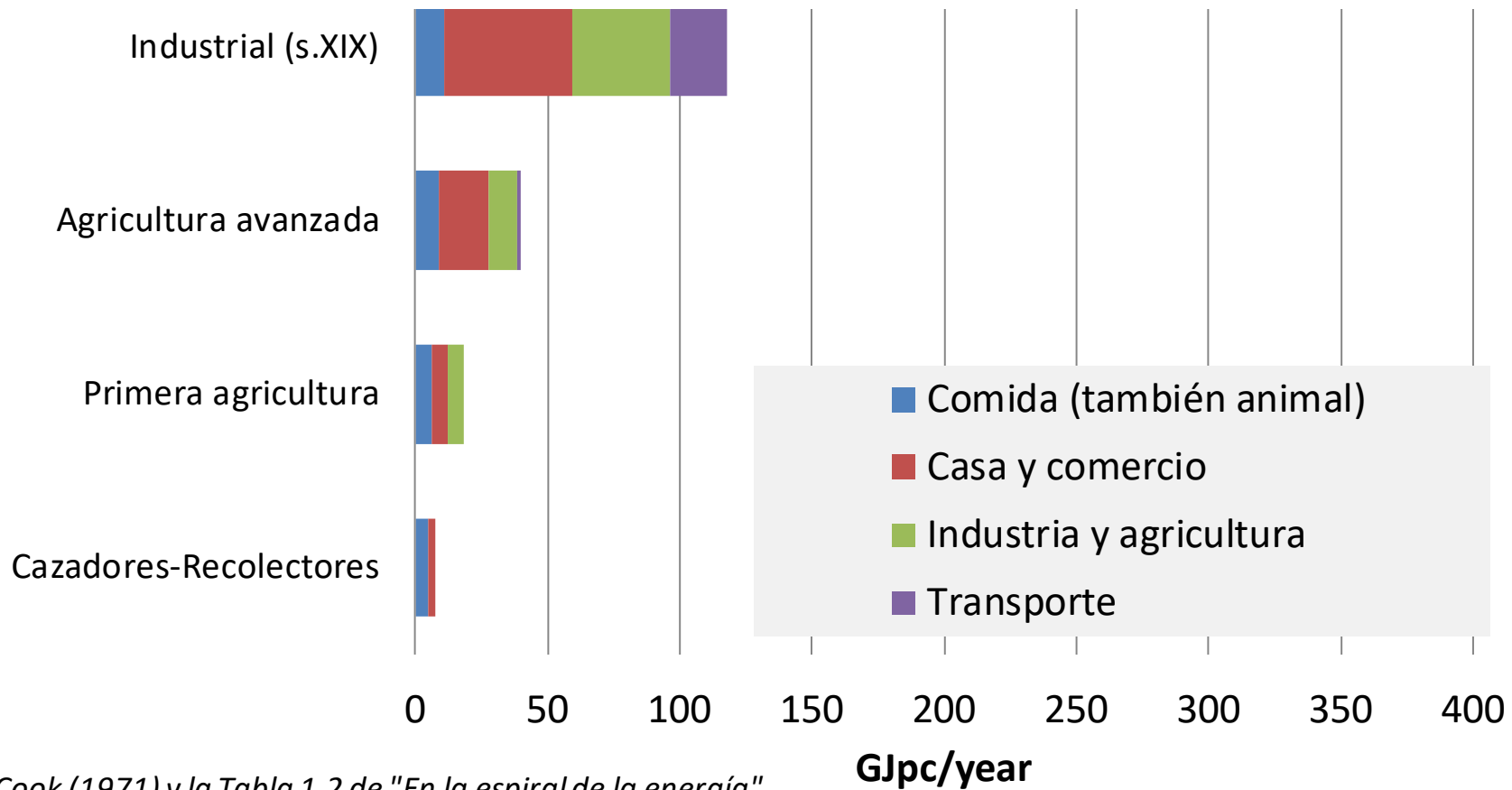
ENERGÍA Y DESARROLLO

Consumo de energía de distintos metabolismos sociales
sociales



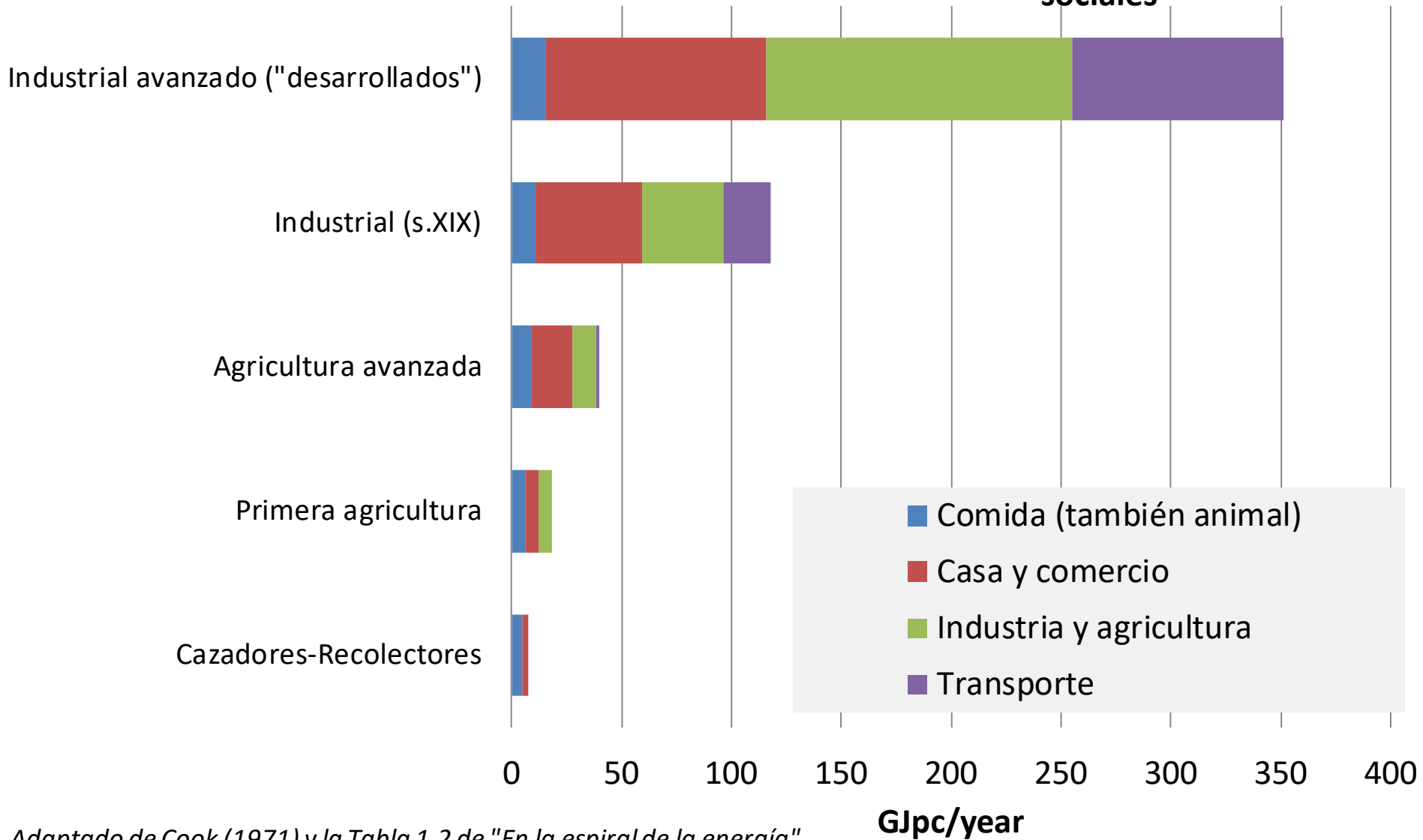
ENERGÍA Y DESARROLLO

Consumo de energía de distintos metabolismos sociales
sociales



ENERGÍA Y DESARROLLO

Consumo de energía de distintos metabolismos sociales



Ley de minas española pre-constitucional (1973)

Fruto de la mentalidad desarrollista de la época:

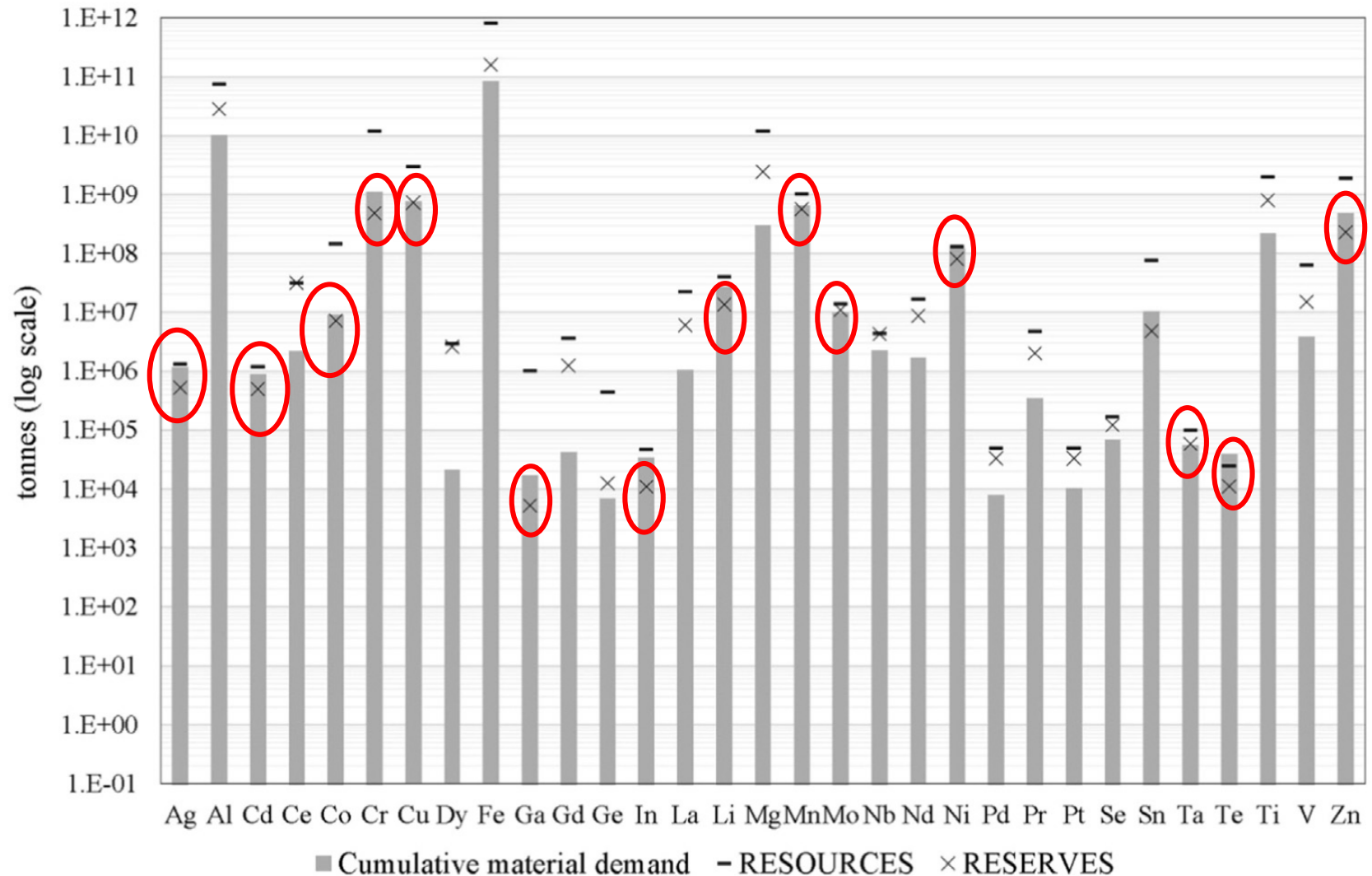
Facilidades a las empresas mineras vs personas que habitan el territorio

- Empresas mineras declaradas de “Utilidad Pública” (expropiaciones forzosas, etc.)
- Poca transparencia (plazos de información muy cortos, documentación en inglés, etc.)
- 1% de impuestos actuales (el más bajo del mundo)
- Tareas de restauración obligatorias

Impactos y limitaciones de las renovables

↑ Requerimientos de minerales

(Valero et al, 2018)



DIVERSIDAD DE OPCIONES PARA GESTIONAR INTERMITENCIA DE LAS RENOVABLES

1. Almacenamiento:
 - Individual vs compartido
 - Eléctrico
 - Otros (bombeo hidráulico)
2. Interconexiones
3. Sobrecapacidades
4. Gestión de la demanda

Los 3 primeros implican impactos ambientales!!!

Contradicciones: e.g. plataformas anti-interconexiones ([Granada](#), [Gatika](#), ...).

El 4 sería cambiar el paradigma: en vez de esforzarnos por adaptar la naturaleza a nosotros, nosotros nos adaptamos a ella.
