


Desmaterialización e crise económica, camiños paralelos? Valoracións a partir do estudo do caso da UE-15

Dematerialization and the economic crisis – are they parallel paths?
Assessments based on the EU-15 case study

Pablo Alonso Fernández^{1,a} , Rosa María Regueiro Ferreira^{2,b} , Xoán Ramón Doldán
García^{2,c} 

¹ Grupo de investigación de Economía Ecolóxica y de los Recursos Naturales, Departamento de Economía Cuantitativa. Universidade de Santiago de Compostela, Avenida do Burgo das Nacións, s/n, 15782, Santiago de Compostela, España

² Grupo de Investigación de Economía Ecolóxica y de los Recursos Naturales, Departamento de Economía Aplicada. Universidade de Santiago de Compostela, Avenida do Burgo das Nacións, s/n, 15782, Santiago de Compostela, España

 ap.alonso.fernandez@usc.es

 brosamaria.regueiro@usc.es

 xoan.doldan@usc.es

Recibido: 28/06/2023; Aceptado: 24/01/2024

Resumo

Neste traballo investigábase a evolución do consumo de recursos materiais nos países da Unión Europea-15 (UE-15) nos últimos 20 anos, co obxectivo de analizar se neles existe desmaterialización e que sectores a lideran. Como indicador de consumo material utilízase a pegada material, xa que indica todos os recursos que require unha economía. Utilizando os datos da pegada material e o PIB propónse un modelo que permite estudar a existencia de desmaterialización na UE-15. Os principais resultados mostran que a desmaterialización só ocorre de forma conxuntural tras a crise de 2008, recuperándose posteriormente o acoplamento entre o PIB e a pegada material.

Palabras chave: Desmaterialización; Consumo material; Crecemento económico; Crise; Pegada material.

Abstract

This paper investigates how the consumption of material resources has evolved over the last 20 years in the member states that make up the European Union-15, with the aim of analyzing whether there is dematerialization in these countries and which sectors are leading the way. The material footprint is used as an indicator of material consumption, since it indicates all the resources required by an economy. Using data from the material footprint and GDP, a model has been proposed to allow dematerialization in the EU-15 to be studied. The main results show that dematerialization has only occurred conjuncturally since the 2008 crisis, with the GDP-material-footprint coupling subsequently being restored.

Keywords: Dematerialization; Material consumption; Economic growth; Crisis; Material footprint.

JEL: Q32; Q56



1. INTRODUCCIÓN

A relación entre o crecemento económico e o consumo de recursos recibiu cada vez máis atención nos últimos anos. A eficiencia na utilización dos recursos, a redución dos residuos e as emisións convertéronse nunha constante entre os obxectivos das políticas da maioría dos gobernos e institucións. Para estableceren e cuantificaren estes obxectivos utilízanse múltiples indicadores, moitos deles baseados na comparación do crecemento do PIB con indicadores ambientais ou ecolóxicos. Isto ocorre a pesar de que o PIB é un indicador económico cuxa capacidade para representar a evolución dunha economía foi amplamente discutida (Fitoussi *et al.*, 2011; Giannetti *et al.*, 2015; Kubiszewski *et al.*, 2013), e de que os indicadores económicos non son capaces de reflectir adecuadamente a evolución do estado do medio ambiente (Martínez-Alier *et al.*, 2010). A comparación entre o crecemento do PIB e o dalgún indicador de impacto ambiental leva á análise do desacoplamento entrambas as series. Se as series se desligan existe desacoplamento, o que implica unha mellora na eficiencia da utilización dos recursos sempre que creza en maior medida o PIB. No mellor escenario, o desacoplamento prodúcese porque se reduce o impacto ambiental, dando lugar ao que se coñecería como desmaterialización no ámbito do consumo material. Ademais da caída do consumo material e do crecemento do PIB, a desmaterialización tamén require do mantemento ou da mellora das condicións de vida da poboación.

Algúns países desenvolvidos aproximáronse á desmaterialización nos últimos anos, o que adoita atribuírselle á evolución da estrutura económica cara a actividades de menor intensidade material (Schandl *et al.*, 2018; Wiedmann *et al.*, 2015). Neste proceso desempeña un papel clave a aplicación dos principios da economía circular, favorecendo unha diminución tanto da extracción de recursos como da expulsión de residuos e rompendo coa concepción lineal do proceso económico (Korhonen *et al.*, 2018; Scheel *et al.*, 2020). Porén, o impacto da crise de 2008 xera dúbidas acerca das causas desta potencial desmaterialización (Gutiérrez-Barbarrusa, 2016; Halkos & Gkampoura, 2021; Oliveras *et al.*, 2021; Schaffartzik & Duro, 2022). Ao mesmo tempo, as deslocalizacións produtivas das últimas décadas favorecen un menor consumo material nestes países (Wiedmann *et al.*, 2015). Nun contexto en que o comercio internacional ten cada vez maior importancia, aumenta o valor do enfoque utilizado para medir o consumo material de cada país. Neste sentido, un cálculo centrado no ámbito territorial ou no da produción pode levar a conclusións erróneas respecto á evolución dos requirimentos materiais dun país, xa que este enfoque non reflicte adecuadamente o consumo de recursos relacionado cos fluxos comerciais. Por tanto, resulta de grande importancia aplicar un enfoque capaz de incorporar os efectos do comercio e que permita identificar os verdadeiros requirimentos materiais de cada país.

Neste traballo analízase a evolución do consumo de recursos materiais dos países da Unión Europea 15 (UE-15)¹ entre 2000 e 2019, co obxectivo de determinar se existe desmaterialización. A UE-15 é un conxunto de países desenvolvidos cunha estrutura económica relativamente similar, na que predomina claramente o sector servizos, e que conta cun elevado nivel de vida. Ao mesmo tempo, son un conxunto de países que presenta unha importante dependencia física do resto do mundo. Estas características fan preferible esta agrupación de países fronte a outras, como a UE-27, na que existe unha maior heteroxeneidade tanto na estrutura económica coma nos fluxos materiais. Por outra parte, na

¹ A UE-15 componse de: Alemaña, Austria, Bélxica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Baixos, Portugal, Reino Unido e Suecia.

selección dos países analizados consideráronse tamén as políticas e as estratexias desenvolvidas pola Unión Europea cun enfoque ecolóxico, especialmente no ámbito da economía circular (Comisión Europea, 2014, 2018).

Como indicador do consumo material emprégase a pegada material, que conta coa vantaxe de contabilizar tanto o consumo que ocorre dentro de cada país como os materiais que require a produción das mercadorías que importan, aínda que estes non formen parte dos bens finais (Eurostat, 2018; Schandl *et al.*, 2018; Wiedmann *et al.*, 2015). Para realizar unha análise máis completa, estúdase a pegada material das catro categorías principais nas que esta se atopa desagregada na base de datos do United Nations Environment Programme (UNEP, 2022): biomasa, minerais metálicos, minerais non metálicos e combustibles fósiles.

O artigo estrutúrase da seguinte maneira: en primeiro lugar, un apartado teórico en que se describe a metodoloxía empregada para obter os fluxos materiais, preséntanse as cuestións máis relevantes acerca do desacoplamento e da desmaterialización, e especificase o modelo. Posteriormente, amósanse os principais resultados e realízase unha discusión destes considerando a literatura previamente existente. Por último, preséntanse as principais conclusións e expóñense as limitacións desta investigación.

2. METODOLOXÍA

2.1. Análise de fluxos materiais

Para medir o consumo de recursos materiais que un territorio necesita para manter a súa actividade, empréganse indicadores baseados na análise de fluxos materiais (AFM). Esta metodoloxía baséase na teoría do metabolismo socioeconómico e permite calcular os fluxos de recursos materiais que ocorren entre as sociedades e a natureza (Ayes & Ayres, 1998; Fischer-Kowalski & Weisz, 1999). Os fluxos utilizados neste traballo defínense seguindo as indicacións de Eurostat (2018) e do (UNEP, 2022). É conveniente precisar que o consumo material non indica directamente o impacto ambiental, senón máis ben a presión sobre os recursos naturais, mentres que o impacto depende do tipo de material considerado (Matthews *et al.*, 2000; Roca, 2002).

O fluxo básico da AFM é a extracción doméstica (ED), que representa todos os materiais extraídos da natureza por un territorio. Engadindo á ED as importacións de recursos materiais e descontando as exportacións, obtense o consumo material dun territorio. A interpretación do consumo material é diferente en función do enfoque utilizado para determinar os fluxos comerciais físicos:

- Perspectiva territorial ou da produción: mediante este enfoque, os fluxos comerciais físicos representan o peso dos bens finais comerciados, polo que o consumo material indica os recursos que se utilizan dentro do territorio do país analizado. O indicador obtido adoita denominarse consumo material doméstico (CMD).
- Perspectiva do consumo: neste caso, os fluxos comerciais físicos consideran, ademais do peso dos bens finais, todos aqueles materiais que foron utilizados nos seus procesos de produción, independentemente do país en que se consuman de maneira efectiva (Eurostat, 2018; UNEP, 2022; Wiedmann *et al.*, 2015). Os materiais utilizados no proceso de produción que non forman parte dos bens finais comerciados coñécense como fluxos ocultos. Cando se incorporan estes fluxos ao consumo material, obtense un indicador de consumo material coñecido como pegada material, que permite aproximar os verdadeiros requirimentos

materiais dun país (Carpintero, 2015; Krausmann *et al.*, 2017; Schandl *et al.*, 2018; Wiedmann *et al.*, 2015).

A perspectiva territorial utilízase con maior frecuencia que a perspectiva do consumo. Isto débese a que o cálculo do CMD resulta máis sinxelo, xa que non require de estimacións e os fluxos se corresponden cos do balance monetario. Este indicador é útil para coñecer a cantidade de recursos que se consomen nos procesos de produción dun país, proporcionando unha medida da presión ecolóxica do seu sistema produtivo. Non obstante, o consumo material calculado mediante este enfoque presenta importantes limitacións á hora de representar os efectos do comercio internacional. Isto é especialmente destacado no caso das deslocalizacións produtivas, xa que favorecen unha redución do consumo material no país que externaliza a actividade, a cambio de aumentar o consumo material noutro lugar do mundo. O resultado é unha aparente mellora ecolóxica no país que externaliza, cando realmente só se produciu un desprazamento do lugar de consumo (Krausmann *et al.*, 2017; Schandl *et al.*, 2018).

Neste contexto, a pegada material resulta máis adecuada para medir os verdadeiros requirimentos materiais dunha economía, pois permite imputarlle ao consumo material do país importador os materiais utilizados na produción das importacións. Como resultado, obtense unha medida do consumo material, independente do lugar de produción e dos efectos do comercio internacional, que permite aproximar o tamaño do metabolismo dun país. Isto axuda a definir de forma máis adecuada a responsabilidade sobre o consumo de recursos e a deseñar políticas máis eficientes para a redución do consumo material. As desvantaxes da pegada material atópanse na necesidade de recorrer á estimación dos fluxos ocultos. Tal estimación implica un certo grao de imprecisión que varía en función do país e da categoría material considerada pero que, en calquera caso, debe ser tido en conta á hora de interpretar os resultados.

Os datos utilizados sobre consumo material proceden da Global Material Flows Database da UNEP (2022). Utilízase tanto a pegada material total como a desagregada en catro categorías materiais:

- Biomasa (B): fai referencia a todos os materiais bióticos incluíndo, entre outros, cultivos, madeira ou produción gandeira.
- Minerais metálicos (MM): materiais que contan con brillo propio e son condutores da electricidade, coma o ouro, a prata ou o zinc.
- Minerais non metálicos (MNM): materiais sen brillo propio e que non conducen a electricidade. Esta categoría é moi ampla, pois inclúe desde as denominadas terras raras, fundamentais para aplicacións tecnolóxicas, ata materiais relacionados coa construción.
- Combustibles fósiles (CF): fundamentalmente petróleo, gas e carbón.

Debido ao protagonismo do sector da construción na crise de 2008 e á elevada intensidade material deste sector, considérase especialmente interesante dispoñer de datos desagregados para o consumo material no sector da construción. Porén, na Global Material Flows Database non hai datos dispoñibles cun nivel de desagregación maior que as categorías presentadas para a pegada material. Como alternativa, utilízase a categoría de minerais non metálicos destinados á construción, dispoñible para o CMD. Utilizar o CMD presenta o inconveniente de que se omiten os recursos materiais consumidos para producir os bens importados, así como os correspondentes ás exportacións. Os minerais non metálicos destinados á construción non se inclúen nas estimacións, debido a que non se mostran desagregados para a pegada material.

2.2 Crecemento económico, impacto ambiental e desmaterialización

A relación entre o crecemento económico e a deterioración ambiental é unha cuestión amplamente discutida no ámbito académico. Desde hai décadas, existen posicións contrarias respecto ao sentido desta relación, o que deu lugar a múltiples estudos que diverxen notablemente nos seus resultados (Allard *et al.*, 2018; Ansari *et al.*, 2020; Bithas & Kalimeris, 2018; Carpintero, 2003; Dong *et al.*, 2021; Frodyma *et al.*, 2022; Grossman & Krueger, 1991; Gyamfi *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2022; Panayotou, 1993; Sarkodie & Ozturk, 2020). Unha das teorías máis estudadas verbo da evolución do crecemento económico e do impacto ambiental é a hipótese da curva de Kuznets ambiental (CKA). Esta hipótese, desenvolvida por Shafik e Bandyopadhyay (1992) e Panayotou (1993), baséase na curva de Kuznets (1955) para propoñer que a relación entre o crecemento económico e o impacto ambiental segue unha forma de U invertida, da mesma forma que a relación entre o crecemento do ingreso per cápita e a desigualdade na curva orixinal. A forma da curva distribúe a relación en dúas fases: na primeira, o país ou territorio analizado desenvolve a súa estrutura económica, o que require un elevado consumo de materiais; na segunda, as melloras tecnolóxicas e o cambio da estrutura económica no longo prazo permiten acadar un nivel maior de eficiencia, o que conduce a unha redución do consumo de recursos e do impacto ambiental (Ansari *et al.*, 2020; Dietz & Rosa, 1994; Panayotou, 1993).

A hipótese dunha relación non lineal entrambas as variables conduciu á investigación dunha posible relación cúbica, que foi investigada por primeira vez por Grossman e Krueger (1995). Así, a CKA seguiría unha forma de N invertida, principalmente en países desenvolvidos. Esta forma explícase porque o elevado nivel de desenvolvemento conduce á introdución de novos materiais e novos contaminantes na economía, o que volve a relación positiva de forma transitoria (Grossman & Krueger, 1995). Esta hipótese é obxecto dun gran número de investigacións (Allard *et al.*, 2018; Frodyma *et al.*, 2022; Gyamfi *et al.*, 2021; Özokcu & Özdemir, 2017; Saqib & Benhmad, 2021) que, en ocasións, atopan evidencias nun sentido oposto ao que se propón orixinalmente na curva. Neste caso, a hipótese máis probable é que a relación negativa sexa unha etapa transitoria, como resultado da deslocalización da produción, e que se produza un efecto rebote² ou que exista un período recesivo que produza máis impacto no consumo material ca no PIB (Schaffartzik & Duro, 2022; Shao *et al.*, 2017; Wiedmann *et al.*, 2015). É importante sinalar que, aínda que as hipóteses orixinais da CKA fan referencia a cambios estruturais no medio ou no longo prazo, existen análises que se basean en períodos máis reducidos, especialmente no ámbito das relacións de grao maior a 2 (Allard *et al.*, 2018; Ansari *et al.*, 2020; Maneejuk *et al.*, 2020). Neste sentido, o contraste de relacións polinomiais entre o crecemento económico e o consumo de recursos materiais resulta de interese mesmo aínda que non se satisfagan totalmente os supostos orixinais da CKA, xa que é posible que a relación entre estas variables non siga unha estrutura lineal (York *et al.*, 2003).

As hipóteses da CKA son extensibles ao ámbito dos recursos materiais, dando lugar á teoría ou hipótese da desmaterialización. Segundo esta, na fase decrecente da curva o crecemento económico conduce a unha redución do consumo material grazas ás melloras de eficiencia proporcionadas pola tecnoloxía (Bithas & Kalimeris, 2018; Kemp-Benedict, 2018; Schaffartzik & Duro, 2022) e ao cambio estrutural cara a sectores de menor intensidade

² O efecto rebote ten lugar cando unha mellora técnica aumenta a eficiencia na utilización dun recurso determinado e o consumo deste recurso medra en lugar de diminuír. Isto ocorre porque a mellora tecnolóxica tende a reducir os custos, de forma que esta tecnoloxía se volve máis alcanzable e se xeneraliza a súa utilización (Carpintero, 2003).

material (Carpintero, 2003; Fix, 2019). Neste sentido, a economía circular está moi vinculada á desmaterialización, xa que implica a ruptura coa visión lineal do proceso económico e favorece a minimización tanto dos fluxos materiais de entrada como de saída (Korhonen *et al.*, 2018). Xa que logo, resulta evidente que unha perspectiva de economía circular sería de grande importancia para acadar unha hipotética situación de desmaterialización.

O rexeitamento da hipótese da desmaterialización implica a incompatibilidade do crecemento económico coa redución do consumo de recursos materiais. Este escenario obrigaría a desprazar o crecemento do centro do paradigma económico, reforzando perspectivas cun enfoque de economía ecolóxica, como o decrecemento, en que o benestar da poboación é independente do crecemento económico (Fischer-Kowalski & Haberl, 2015; Kallis, 2017). Desde este enfoque, pódese considerar que a economía circular constitúe a achega eco-integradora que mellor se introduciu no debate económico convencional, formando parte das estratexias da Unión Europea e ata sendo considerada como un cambio sistémico pola propia Comisión Europea (Comisión Europea, 2014; Vence, 2023).

Xeralmente, o termo desmaterialización é utilizado de forma un tanto ambigua en moitas investigacións para referirse a situacións de desacoplamento entre o PIB e o consumo material. Pódense diferenciar dúas formas de desacoplamento:

- Desacoplamento relativo ou débil: prodúcese cando o consumo material crece, pero en menor medida que o PIB.
- Desacoplamento absoluto ou forte: ocorre cando o consumo material decrece, manténdose o crecemento do PIB.

Aínda que en ambas as formas de desacoplamento se dá unha redución da intensidade material, é dicir, da cantidade de recursos utilizada por cada unidade de PIB, só no caso do desacoplamento absoluto se produce unha verdadeira mellora en termos ecolóxicos (Martínez-Alier, 2004). Por iso, considérase máis adecuado reservar o termo desmaterialización para o caso do desacoplamento absoluto.

Na análise do desacoplamento e da desmaterialización ten unha grande importancia a perspectiva considerada. Nos países desenvolvidos, en xeral, e nos países que conforman a EU-15, en particular, atópanse diferenzas moi importantes entre o consumo material calculado en termos de produción e o calculado en termos de consumo (Dittrich, Bringezu, *et al.*, 2012; Dittrich, Giljum, *et al.*, 2012; Schandl *et al.*, 2018). Desta forma, as investigacións que se basean nun enfoque territorial ou da produción son máis proclives a atopar evidencias de desmaterialización, mentres que mediante un enfoque sobre o consumo non é frecuente que se atopen signos de desmaterialización (Kemp-Benedict, 2018; Steinberger *et al.*, 2010, 2013; Wiedmann *et al.*, 2015).

Por outra parte, convén sinalar que a utilización do PIB como indicador para contextualizar a evolución do consumo material non está exenta de limitacións. O PIB emprégase considerando que, en termos per cápita, é unha boa aproximación do nivel de benestar da poboación dun territorio. Non obstante, é un indicador amplamente criticado polas súas limitacións como medida das condicións de vida. Esta limitación é especialmente evidente a partir de certo nivel, cando o benestar dificilmente estará vinculado á posibilidade de acceder a novos bens e servizos (Mishan, 1980). Ao mesmo tempo, o crecemento económico mostrouse ineficaz á hora de reducir a desigualdade, xa que apenas presenta efectos sobre a distribución da riqueza ou sobre a pobreza extrema (Fitoussi *et al.*, 2011).

2.3 Especificación do modelo

Existen múltiples indicadores para analizar o desacoplamento e a desmaterialización. Un dos indicadores máis útiles é a elasticidade do consumo material respecto do PIB, chamada elasticidade ecolóxica (York *et al.*, 2003). A gran vantaxe deste indicador é que permite formular modelos nos que non só se contraste a elasticidade en termos lineais, senón que tamén se introduzan os termos cuadrático e cúbico para contrastar as hipóteses da CKA (Allard *et al.*, 2018; Ansari *et al.*, 2020; Saqib & Benhmad, 2021; Wu *et al.*, 2021). Para a investigación levada a cabo neste traballo, utilízase un modelo baseado na elasticidade ecolóxica desenvolvido na Ecuación 1:

$$\log PM = a + b(\log PIBpc) + c((\log PIBpc)^2) + d((\log PIBpc)^3) + e \quad (1)$$

Onde PM é a pegada material en toneladas, a é o intercepto, b , c e d son os coeficientes do PIB per cápita e e é a perturbación ou termo de erro. Este modelo permite estimar o efecto do PIB per cápita sobre a pegada material dos países da UE-15. A interpretación dos posibles resultados dos coeficientes resúmese na Táboa 1.

Táboa 1. Interpretación do signo dos coeficientes do modelo 1

Signo do coeficiente	Interpretación
PIB > 0, PIB2 = 0, PIB3 = 0	Relación lineal positiva.
PIB < 0, PIB2 = 0, PIB3 = 0	Relación lineal negativa.
PIB > 0, PIB2 < 0, PIB3 = 0	Relación cuadrática en forma de U.
PIB < 0, PIB2 > 0, PIB3 = 0	Relación cuadrática en forma de U invertida (CKA).
PIB > 0, PIB2 < 0, PIB3 > 0	Relación cúbica en forma de N.
PIB < 0, PIB2 > 0, PIB3 < 0	Relación cúbica en forma de N invertida (CKA).

Fonte: elaboración propia.

O modelo presentado na Ecuación 1 replícase utilizando como variable independente cada unha das categorías materiais que compoñen a pegada material, co obxectivo de analizar a desmaterialización en todas elas.

Na investigación das hipóteses da CKA emprégase habitualmente tanto o PIB como o PIB per cápita. Neste caso emprégase o PIB per cápita, ao considerar de maior interese unha aproximación ao benestar que unicamente á evolución económica. A pegada material exprésase en toneladas totais, polo que o efecto da poboación se introduce no modelo de forma indirecta a través do PIB per cápita. Non se considera o consumo material por habitante porque o obxectivo da desmaterialización debe ser unha redución do consumo material en termos absolutos. Ademais, é conveniente sinalar que nas sociedades industriais a poboación ten unha influencia moi reducida sobre o consumo material, sendo a actividade económica o factor máis relevante (Agboola & Bekun, 2019; Fischer-Kowalski & Amann, 2001; Gyamfi *et al.*, 2021).

Para mellorar a representación gráfica, considérase de interese utilizar o índice de desacoplamento, un indicador proposto por Tapio (2005) que relaciona o crecemento do PIB e o crecemento do consumo material da seguinte forma³ :

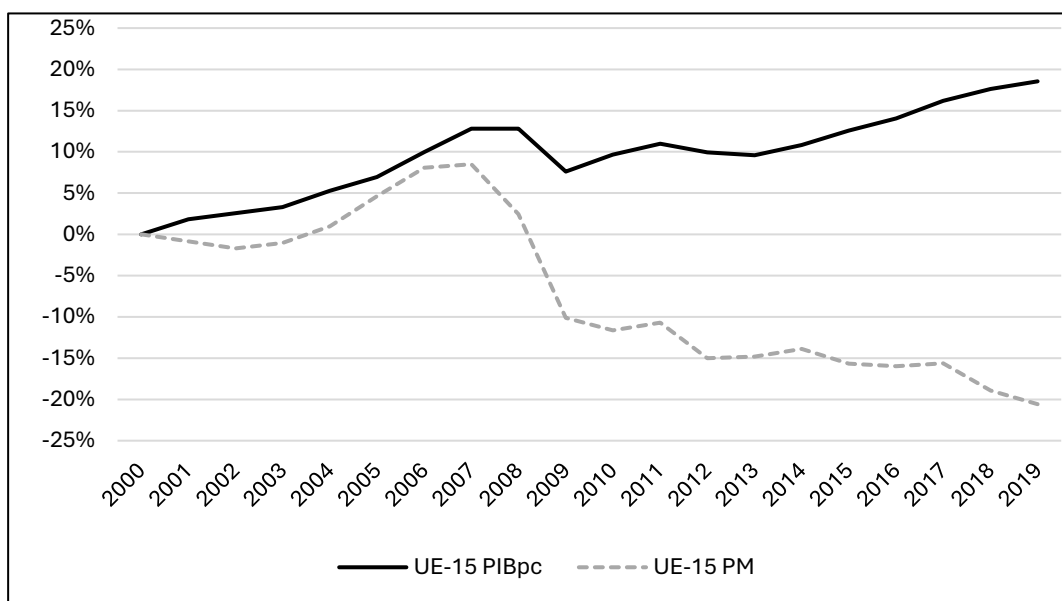
$$ID = \frac{\% \Delta CM}{\% \Delta PIB} = \frac{(CM_t - CM_{t_0})}{CM_{t_0}} / \frac{(PIB_t - PIB_{t_0})}{PIB_{t_0}} \quad (2)$$

A interpretación do índice de desacoplamento é sinxela: existe desacoplamento absoluto ou desmaterialización cando o seu valor é negativo e prodúcese desacoplamento relativo cando o seu valor se atopa entre 0 e 1. Os valores superiores a 1 indican que o crecemento do consumo material é superior ao do PIB, polo que se daría unha "rematerialización". Este indicador é especialmente útil para analizar a evolución interanual do desacoplamento e da desmaterialización.

3. RESULTADOS E DISCUSIÓN

Na Figura 1 represéntase o crecemento da pegada material e do PIB per cápita da UE-15 con base no ano 2000. As series manteñen unha tendencia similar ata 2008, e a partir dese momento o efecto da crise é facilmente observable. A caída da pegada material é moito máis pronunciada que a caída do PIB per cápita. Posteriormente, alternanse períodos de acoplamento e desacoplamento que dificultan a interpretación, aínda que nos últimos dous anos parece que se alcanza a desmaterialización. En calquera caso, o nivel da pegada material cae notablemente respecto ao ano 2000.

Figura 1. Taxa de variación desde o ano 2000 do PIB per cápita e da pegada material, 0-2019



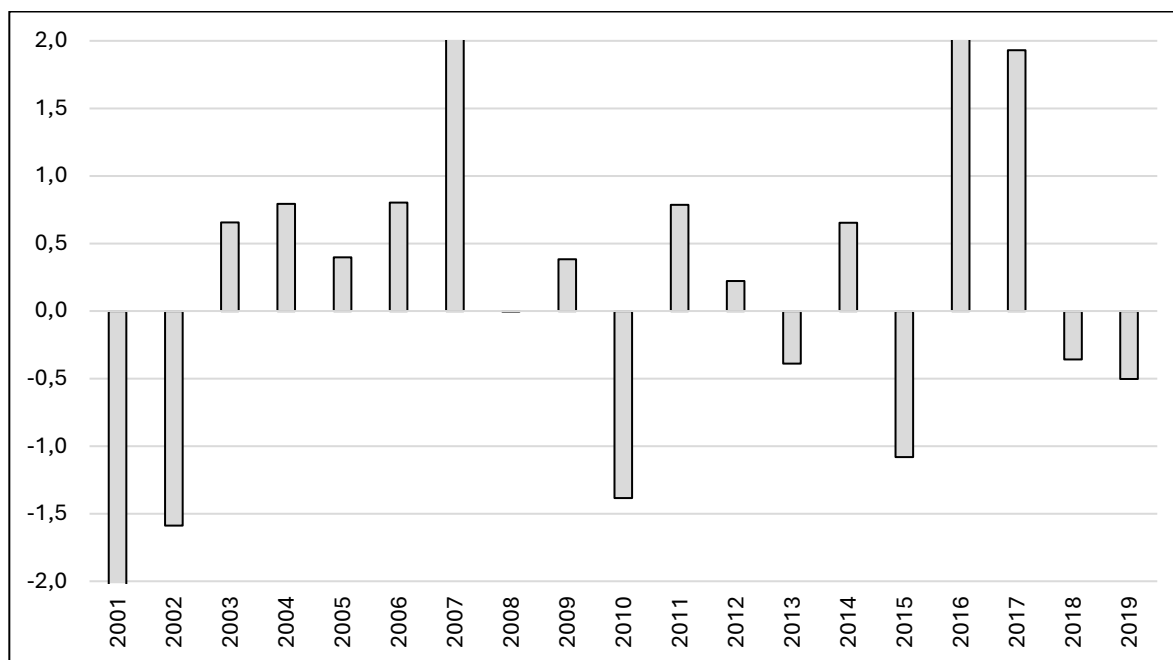
Fonte: elaboración propia a partir de UNEP (2022).

Nota: PM é a abreviación de pegada material.

³ CM indica consumo material.

Na **Figura 2** represéntase o índice de desacoplamento. Pódese apreciar como a maior parte dos períodos en que se alcanza desacoplamento absoluto ou desmaterialización concéntranse nos anos posteriores á crise. En 2001 e 2002 alcánzase a desmaterialización, coincidindo con anos de inestabilidade económica nos países da UE-15. O resto dos anos en que se observa desmaterialización concéntranse despois de 2008, intercalados con anos en que só se alcanza desacoplamento relativo ou mesmo se dá unha situación de rematerialización.

Figura 2. Índice de desacoplamento para o conxunto de países da UE-15



Fonte: elaboración propia a partir de [UNEP \(2022\)](#).

Nota: os resultados figuran limitados entre 2 e -2 para mellorar a representación, xa que valores por riba de 1 e por debaixo de 0 non proporcionan información adicional.

Na **Táboa 2** recóllese o índice de desacoplamento entre o ano 2000 e o 2019 para cada país da UE-15.

Táboa 2. Índice de desacoplamento para cada país da UE-15 (2000-2019)

País	Índice de desacoplamento
Alemaña	-0,76
Austria	0,14
Bélxica	0,41
Dinamarca	-0,47
España	-0,40
Finlandia	0,32
Francia	0,40
Grecia	-32,46
Irlanda	-0,03
Italia	-11,04

País	Índice de desacoplamento
Luxemburgo	0,31
Países Baixos	0,08
Portugal	-4,39
Reino Unido	-0,23
Suecia	0,56

Fonte: elaboración propia con datos de [UNEP \(2022\)](#).

Pódese observar que existen grandes diferenzas entre países, acadando 7 deles a desmaterialización e os 8 restantes o desacoplamento relativo.

Para complementar a análise gráfica e estudar con maior profundidade a relación entre a pegada material e o PIB, realízase a estimación do modelo descrito previamente.

Táboa 3. Resultados estimación desmaterialización, modelo cúbico

Variable	Coefficiente	Erro	R ²
PIB	62,430	20,740**	0,9453
PIB2	-2,231	0,769**	
PIB3	0,027	0,009**	

Fonte: elaboración propia con datos de [UNEP \(2022\)](#).

Nota: “*”, “**” e “***” indican significatividade ao 10%, 5% e 1% respectivamente.

Os resultados da estimación do modelo, recollidos na [Táboa 3](#), amosan que todos os coeficientes son significativos ao 5%. A comparación co modelo cuadrático e lineal mediante a comparación da varianza (ANOVA en R) indica que é preferible o modelo cúbico. Na [Táboa 4](#) amósanse os intervalos de confianza ao 95% para cada un dos estimadores do modelo.

Táboa 4. Intervalos de confianza

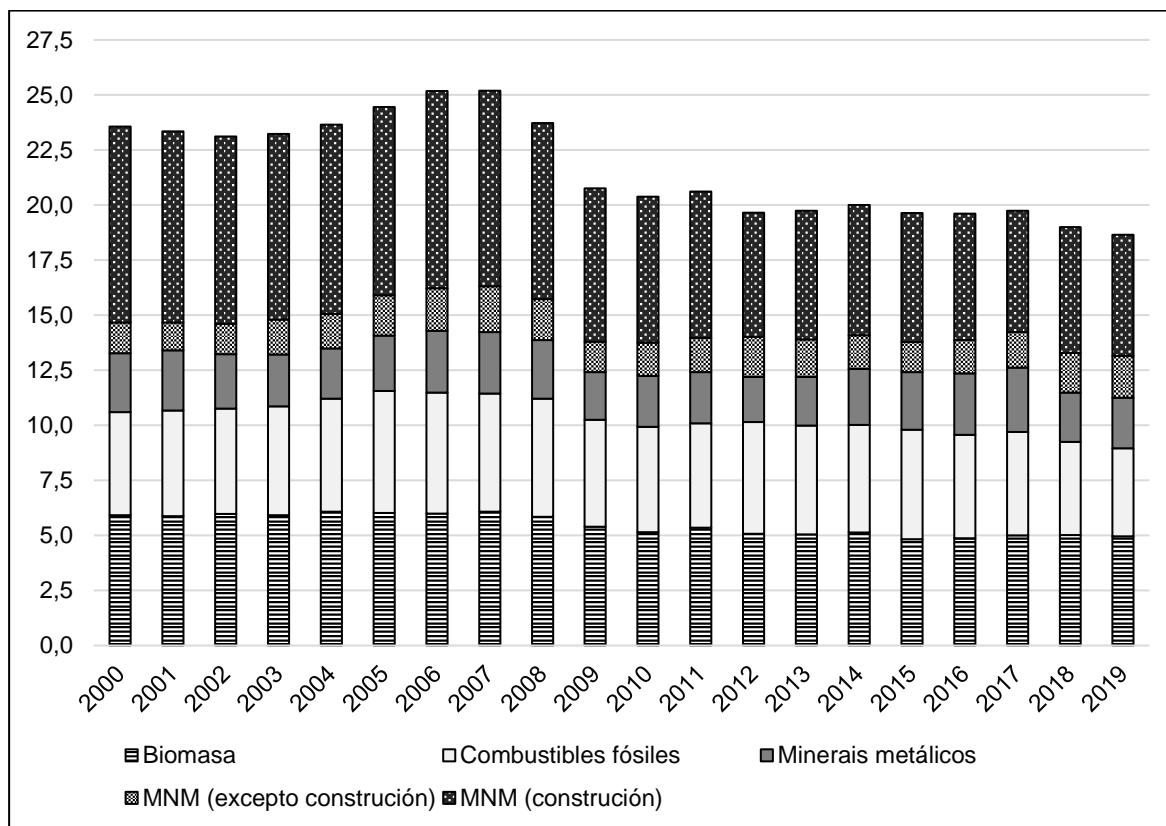
Variable	Coefficientes 95%	Coefficientes 99%
PIB	22,137 / 102,729	9,343 / 115,524
PIB2	-3,746 / -0,717	-4,227 / -0,236
PIB3	0,008 / 0,046	0,002 / 0,052

Fonte: elaboración propia con datos de [UNEP \(2022\)](#).

O signo dos coeficientes non varía independentemente do nivel de confianza utilizado. En ambos os casos, o coeficiente lineal é positivo, o cuadrático negativo e o cúbico positivo. É certo que o coeficiente cúbico toma valores moi reducidos, o que se pode relacionar coa evolución das variables nos últimos períodos. En calquera caso, a relación entre a pegada material e o PIB segue unha forma de N. Isto implica que a relación entre o PIB per cápita e o consumo material non segue unha forma lineal, senón que atravesa diferentes fases.

Mediante a análise gráfica, pódese intuír que a desmaterialización coincide coa crise de 2008. Neste contexto, resulta de interese estudar a evolución das diferentes categorías materiais que compoñen a pegada material. Na [Figura 3](#) represéntase a pegada material da UE-15 por categorías materiais entre 1990 e 2019.

Figura 3. Evolución da pegada material por categorías, UE-15, toneladas per cápita (2000-2019)

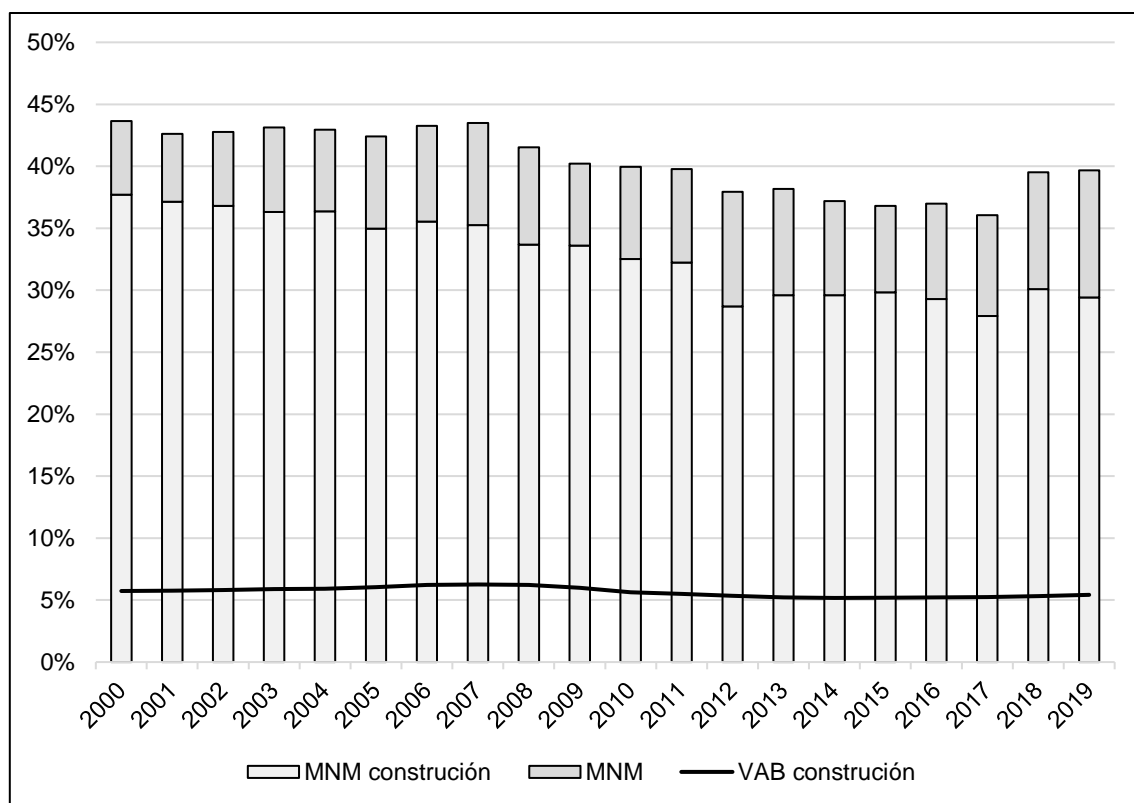


Fonte: elaboración propia con datos de [UNEP \(2022\)](#).

MNM: Minerais non metálicos.

A caída da pegada material a raíz da crise de 2008 non se distribúe de forma igualitaria entre as diferentes categorías materiais. Pódese apreciar que a categoría máis afectada é a dos minerais non metálicos, especialmente os destinados á construción. Tendo en conta as características da crise de 2008, na que o sector inmobiliario tivo un papel moi destacado, este resultado non é sorprendente. Porén, permite relacionar a importante redución da pegada material coa evolución deste sector. A caída da construción non se reflicte dunha forma tan marcada no PIB debido a que o seu Valor Agregado Bruto é notablemente menor ao seu peso sobre a pegada material, como se pode observar na [Figura 4](#).

Figura 4. Porcentaxe da construción sobre o VAB total e dos minerais non metálicos sobre a pegada material (2000-2019)

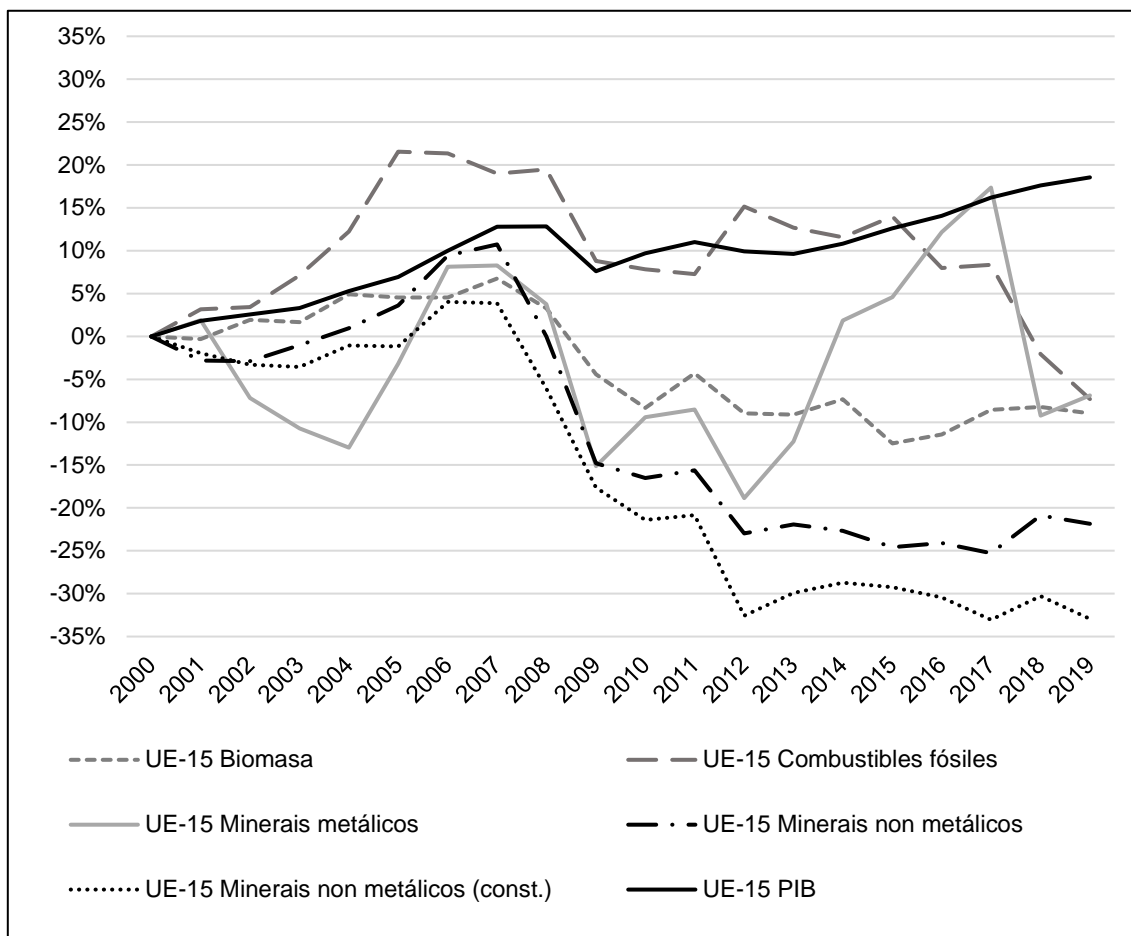


Fonte: elaboración propia con datos de UNEP (2022).

Os recursos materiais consumidos en actividades de construción representan máis dun 35% do total da pegada material antes da crise e o total dos minerais non metálicos supera o 40%. En cambio, o VAB da construción apenas supera o 6% no mesmo momento. En termos de PIB, a construción resulta moito menos importante, polo que o efecto da caída do sector non se estende demasiado no tempo. En cambio, a pegada material reséntese de forma moito máis profunda, especialmente porque nunca se recupera o consumo de recursos.

Na Figura 5 pódese apreciar a gran redución dos minerais non metálicos. Nesta categoría teñen un gran peso os minerais non metálicos destinados á construción, que decrecen en proporcións aínda maiores. É evidente que a evolución da pegada material está marcada polo que ocorre cos minerais non metálicos. Por outra parte, a biomasa tamén parece aproximarse á desmaterialización nalgúns períodos, mentres que os MM manteñen unha traxectoria variable. A pesar de que o seu consumo cae bastante coa crise de 2008, posteriormente recuperan o crecemento para volver caer nos últimos períodos. Os combustibles fósiles son a categoría que sofre en menor medida os efectos da crise. É un resultado esperable, tendo en conta a elevada dependencia que teñen destes materiais os sistemas enerxéticos da maior parte dos países da UE-15. Só nos dous últimos anos se rexistra unha caída importante que se poida aproximar á desmaterialización.

Figura 5. Taxa de variación desde o ano 2000 do PIB e da pegada material per cápita por categorías (2000-2019)



Fonte: elaboración propia con datos de [UNEP \(2022\)](#).

A pegada material evoluciona de forma moi diferente en función da categoría que se analice. Estas diferenzas fan especial interesante replicar o modelo estimado para a pegada material total en cada unha das categorías materiais consideradas. Na [Táboa 5](#) preséntanse os resultados da estimación do modelo para a biomasa, os minerais metálicos, os minerais non metálicos e os combustibles fósiles.

Táboa 5. Resultados estimación desmaterialización, modelo para a pegada material de cada categoría material

Variable	Coefficiente (B)	Coefficiente (MM)	Coefficiente (MNM)	Coefficiente (CF)
Intercepto	-52,382 (6,662)***	-60,247 (8,132)***	-73,779 (11,108)***	-950,406 (266,239)***
PIB	4,306 (0,494)***	4,282 (0,604)***	6,013 (0,825)***	105,618 (30,066)***
PIB ²	-0,062 (0,009)***	-0,072 (0,011)***	-0,096 (0,015)***	-3,867 (1,130)***
PIB ³	Non significativo	Non significativo	Non significativo	0,0476 (0,014)***
R ²	0,9558	0,9367	0,869	0,8982

Fonte: elaboración propia con datos de [UNEP \(2022\)](#).

Nota: “*”, “**” e “***” indican significatividade ao 10%, 5% e 1% respectivamente. O erro na estimación dos coeficientes amósase entre parénteses. B: Biomasa, MM: Minerais metálicos, MNM: Minerais non metálicos, CF: Combustibles fósiles

Estimouse o modelo completo para todas as categorías, obtendo resultados peores para o modelo que inclúe o coeficiente cúbico no caso da biomasa, dos minerais metálicos e dos minerais non metálicos. Polo tanto, para estas categorías selecciónase o modelo que non conta co coeficiente cúbico. Nos tres casos, o resultado indica que se alcanza a desmaterialización, verificando a CKA en forma de U invertida. A desmaterialización alcánzase con maior profundidade no caso dos minerais non metálicos, mentres que é menos intensa na biomasa. Para estas dúas variables, os resultados correspóndense co que se podía deducir de forma gráfica. No caso dos minerais metálicos, graficamente podíase apreciar que a súa traxectoria é máis irregular, pero alcanzan igualmente a desmaterialización. O resultado do modelo estimado para estas variables mostra que a crise de 2008 supón un punto de inflexión na evolución do consumo de determinados materiais. No ámbito dos minerais non metálicos, é evidente que o factor determinante é a caída da construción. Con todo, o efecto da crise non se limita a este sector senón que tamén afecta en gran medida ao sector industrial, principal consumidor de minerais metálicos. Relacionada con este sector está tamén a biomasa, que inclúe elementos como a madeira, o papel, o cartón ou os alimentos. A caída xeneralizada da actividade económica e do consumo final, como consecuencia da recesión, transmítese de forma directa á pegada material a través destes sectores.

Por outra parte, os resultados do modelo estimado para os combustibles fósiles mostran un coeficiente cúbico significativo. A distribución dos signos indica que a relación entre a pegada material dos combustibles fósiles e o PIB segue unha forma de N, polo que non se alcanza a desmaterialización nesta categoría. Como se podía apreciar na [Figura 4](#), os combustibles fósiles son a categoría material menos afectada pola crise de 2008. Estes recursos condicionan a evolución da pegada material total ata o punto de que son a categoría responsable de que non exista desmaterialización. Debe sinalarse que o consumo de combustibles fósiles non é independente do ciclo económico senón que está estreitamente vinculado co nivel de actividade económica e adoita ser un factor determinante para o crecemento económico ([Kan et al., 2019](#); [Pirlogea & Cicea, 2012](#)). Como na maior parte de países do mundo, o sector enerxético da UE-15 é altamente dependente do consumo de combustibles fósiles ([Kan et al., 2019](#)), o que imposibilita a desmaterialización deste tipo de recursos.

A forma de N que se deduce da interpretación dos coeficientes do modelo estimado para a pegada material total indica que hai unha fase da curva en que a relación entre o PIB per cápita e a pegada material se volve negativa. Esta fase pode corresponderse coas irregularidades xurdidas da crise de 2008, cando existen períodos nos que aumenta a pegada material e diminúe o PIB per cápita, e viceversa. Por outra parte, cómpre ter en conta que unha proporción importante da redución da pegada material se produce polo descenso no consumo de minerais non metálicos. Posto que o motivo principal da redución do consumo destes materiais é o descenso da actividade no sector da construción, pódese establecer unha conexión bastante clara entre a recesión e a desmaterialización. A gran deterioración deste sector nalgúns países favorece unha acusada redución do consumo material, se consideramos a importancia que teñen os materiais relacionados con este sector sobre a pegada material total. De feito, a caída do consumo material é notablemente máis aguda en países como España, Irlanda, Italia, Grecia, Portugal ou Reino Unido. En cambio, nos países centroeuropeos, con excepcións como Alemaña ou Dinamarca, a evolución do consumo material é moito máis estable, a pesar de que tamén tende a certo decrecemento. En termos xerais, parece que os países máis afectados pola crise e cun sector da construción máis relevante están máis próximos á desmaterialización.

Unha condición que acostuma demandárselles aos procesos de desmaterialización é que estes ocorran por un cambio estrutural da economía cara a actividades de menores

requirimentos materiais e sen que isto afecte negativamente ás condicións de vida da poboación. A crise de 2008 implicou cambios substanciais na estrutura económica dos países da UE-15. Non obstante, parece que estes cambios non se producen por unha mellora na xestión dos recursos senón por unha abrupta caída da actividade económica. Por unha parte, non se produce o cambio estrutural necesario, sendo unha proba diso a ausencia de desmaterialización nos combustibles fósiles. Resulta difícil formular un proceso de desmaterialización independente dunha transición enerxética (Kemp-Benedict, 2018), e é evidente que esta non se produce ao se manter a dependencia dos recursos fósiles, a pesar da caída dos dous últimos anos analizados. Por outra parte, aínda que o PIB se recupera rapidamente tras a crise, as condicións de vida da poboación restablécense dunha forma moito máis lenta (Gutiérrez-Barbarrusa, 2016; Halkos & Gkampoura, 2021; Oliveras *et al.*, 2021), polo que nos anos nos que ocorre a desmaterialización a calidade de vida aínda non se recuperara a niveis previos á crise. As limitacións do PIB per cápita como medida do benestar da poboación implican que o máis adecuado sexa buscar outras variables para contextualizar a evolución do consumo material. Considerando tanto estas limitacións como a relación positiva que existe entre o PIB per cápita e o consumo de recursos materiais, deben gañar importancia alternativa medidas como o decrecemento, capaces de integrar o benestar social coa xestión da natureza, desbotando as disposicións económicas máis limitadas.

4. CONCLUSIÓNS

A desmaterialización é un proceso no que se reduce a cantidade de recursos materiais que consome unha economía, mantendo o crecemento económico e as condicións de vida da poboación. Neste traballo estudouse o conxunto de países da UE-15 entre o ano 2000 e 2019 co obxectivo de comprobar se se produce desmaterialización neste período. Para iso, utilizouse a pegada material como indicador de consumo material, xa que presenta a vantaxe de recoller todos os materiais que necesita unha economía, independentemente do lugar no que se consuman.

Os resultados para a pegada material total indican que a súa relación co PIB per cápita segue unha forma de N. Esta forma indica que non existe desmaterialización en termos xerais, aínda que se atravesa unha fase en que a relación entre o PIB per cápita e a pegada material é invertida, o que se pode relacionar cos efectos da crise de 2008. No contexto da crise, a relación pode volverse negativa debido a que poidan existir caídas do PIB que coincidan con aumentos da pegada material, o que implicaría que non se produza desmaterialización. En calquera caso, a desmaterialización só sería unha fase transitoria para o conxunto da pegada material.

A estimación do modelo, utilizando a pegada material da biomasa, os minerais metálicos, os minerais non metálicos e os combustibles fósiles, achega matices aos resultados xerais. Atópase unha relación en forma de U invertida para as tres primeiras categorías materiais, o que indica que existe desmaterialización en todas elas. Porén, a categoría que máis se reduce é a dos minerais non metálicos, estreitamente vinculada ó sector da construción. Ademais, esta categoría conta cun gran peso sobre a pegada material total, polo que é o principal factor que impulsa o seu decrecemento. Ao mesmo tempo, a construción non ten unha relevancia tan destacada sobre o PIB. Por iso, a importante caída deste sector ten efectos asimétricos entre o PIB e a pegada material, o que facilita a desmaterialización. Respecto aos combustibles fósiles, é a única categoría na que non se alcanza desmaterialización. O sistema enerxético da maioría dos países da UE-15 mantén unha dependencia moi elevada dos recursos fósiles, ata o punto de que a evolución do consumo destes recursos marca a evolución xeral da pegada material,

mesmo co contrapeso da caída dos minerais non metálicos. Paradoxalmente, esta categoría de recursos materiais é a que xera maiores problemas tanto no ámbito da escaseza de recursos coma no do impacto ambiental.

Por conseguinte, a relación entre o PIB per cápita e a pegada material segue unha estrutura incompatible coa desmaterialización na Unión Europea 15. A caída da pegada material nos anos posteriores á crise pódese considerar unha fase de axuste do nivel de produción especialmente acusada no ámbito da construción, de grande intensidade material. Porén, a relación co PIB per cápita mantense positiva, polo que non se pode considerar que se producise aínda un cambio estrutural que permita acadar a desmaterialización. A introdución de principios como a economía circular na xestión dos recursos pode favorecer os procesos de desmaterialización, pero os efectos son aínda moderados, condicionados pola recesión e polo recente da súa aplicación nos países analizados. Neste sentido, cómpre agardar para determinar se os cambios que se aprecian desde 2008 se deben á conxuntura económica ou se se manteñen no tempo e modifican a estrutura económica o suficiente como para que a economía se desmaterialice.

A principal limitación deste traballo é a dispoñibilidade dun nivel de desagregación de datos maior para a pegada material. Ao mesmo tempo, é importante considerar que a pegada material é o resultado dunha estimación a través de datos procedentes de múltiples fontes estatísticas, polo que o seu nivel de precisión non sempre é homoxéneo entre países e categorías materiais (Eurostat, 2018; UNEP, 2022).

Por outra parte, sería interesante dispoñer de datos ata 2022 nos que se puidese analizar os efectos da pandemia da Covid-19 sobre a desmaterialización. Ademais, débese considerar que as estratexias de corte ecolóxico desenvolvidas pola Unión Europea son demasiado recentes como para que os seus efectos se poidan recoller adecuadamente no período analizado. Nos próximos anos poderanse realizar análises máis precisas da eficacia destas políticas.

Autoría do traballo

Conceptualización, P.A.F., R.M.R.F., X.R.D.G.; Metodoloxía, P.A.F., X.R.D.G.; Software, P.A.F.; Adquisición de datos, P.A.F.; Análise e interpretación, P.A.F., R.M.R.F., X.R.D.G.; Supervisión, R.M.R.F., X.R.D.G.; Redacción-Preparación do borrador, P.A.F.; Redacción-Revisión & Edición, P.A.F., R.M.R.F., X.R.D.G. Todos os autores leron e están de acordo coa versión publicada do manuscrito.

Referencias

- Agboola, M. O., & Bekun, F. V. (2019). Does agricultural value added induce environmental degradation? Empirical evidence from an agrarian country. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(27), 27660-27676. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05943-z>
- Allard, A., Takman, J., Uddin, G. S., & Ahmed, A. (2018). The N-shaped environmental Kuznets curve: An empirical evaluation using a panel quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5848-5861. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0907-0>
- Ansari, M. A., Haider, S., & Khan, N. A. (2020). Environmental Kuznets curve revisited: An analysis using ecological and material footprint. *Ecological Indicators*, 115, 106416. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106416>

- Ayres, R. U., & Ayres, L. (1998). *Accounting for Resources: Economy-wide applications of mass-balance principles to materials and waste*. Edward Elgar.
- Bithas, K., & Kalimeris, P. (2018). Unmasking decoupling: Redefining the Resource Intensity of the Economy. *Science of The Total Environment*, 619-620, 338-351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.061>
- Carpintero, Ó. (2003). Los costes ambientales del sector servicios y la nueva economía: Entre la desmaterialización y el efecto rebote. *Economía Industrial*, 352(IV), 59-76.
- Carpintero, Ó. (2015). *El metabolismo económico regional español: Glosario de términos*. FUHEM Ecosocial.
- Comisión Europea. (2014). *Hacia una economía circular: Un programa de cero residuos para Europa* [Comunicación de la Comisión].
- Comisión Europea. (2018). *Un planeta limpio para todos. La visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra* [Comunicado de la Comisión].
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology'. *Human Ecology Review*, 1, 277-300. <https://www.jstor.org/stable/24706840>
- Dittrich, M., Bringezu, S., & Schütz, H. (2012). The physical dimension of international trade, part 2: Indirect global resource flows between 1962 and 2005. *Ecological Economics*, 79, 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.014>
- Dittrich, M., Giljum, S., Lutter, S., & Polzin, C. (2012). *Green economies around the world? Implications of resource use for development and the environment*. Sustainable Europe Research Inst. (SERI).
- Dong, F., Li, J., Zhang, X., & Zhu, J. (2021). Decoupling relationship between haze pollution and economic growth: A new decoupling index. *Ecological Indicators*, 129, 107859. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107859>
- Eurostat. (2018). *Economy-wide material flow accounts handbook: 2018 edition*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2785/158567>
- Fischer-Kowalski, M., & Amann, C. (2001). Beyond IPAT and Kuznets Curves: Globalization as a Vital Factor in Analysing the Environmental Impact of Socio-Economic Metabolism. *Population and Environment*, 23(1), 7-47. <https://doi.org/10.1023/A:1017560208742>
- Fischer-Kowalski, M., & Haberl, H. (2015). Social metabolism: A metric for biophysical growth and degrowth. En J. Martínez-Alier y R. Muradian (Eds.), *Handbook of Ecological Economics* (pp. 100-138). Edward Elgard. <https://doi.org/10.4337/9781783471416>
- Fischer-Kowalski, M., & Weisz, H. (1999). Society as hybrid between material and symbolic realms: Toward a theoretical framework of society-nature interaction. *Advances in Human Ecology*, 8, 215-251.
- Fitoussi, J.-P., Sen, A. K., & Stiglitz, J. E. (2011). *Mismeasuring Our Lives: Why GDP Doesn't Add Up*. ReadHowYouWant.
- Fix, B. (2019). Dematerialization Through Services: Evaluating the Evidence. *BioPhysical Economics and Resource Quality*, 4(2), 6. <https://doi.org/10.1007/s41247-019-0054-y>

- Frodyma, K., Papież, M., & Śmiech, S. (2022). Revisiting the Environmental Kuznets Curve in the European Union countries. *Energy*, 241, 122899. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122899>
- Giannetti, B. F., Agostinho, F., Almeida, C. M. V. B., & Huisingh, D. (2015). A review of limitations of GDP and alternative indices to monitor human wellbeing and to manage eco-system functionality. *Journal of Cleaner Production*, 87, 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.051>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement* (Working Paper 3914). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment*. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Gutiérrez-Barbarrusa, T. (2016). The growth of precarious employment in Europe: Concepts, indicators and the effects of the global economic crisis. *International Labour Review*, 155(4), 477-508. <https://doi.org/10.1111/ilr.12049>
- Gyamfi, B. A., Adedoyin, F. F., Bein, M. A., & Bekun, F. V. (2021). Environmental implications of N-shaped environmental Kuznets curve for E7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), 33072-33082. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12967-x>
- Halkos, G. E., & Gkampoura, E.-C. (2021). Evaluating the effect of economic crisis on energy poverty in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110981. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110981>
- Kallis, G. (2017). Radical dematerialization and degrowth. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 375(2095), 20160383. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0383>
- Kan, S., Chen, B., & Chen, G. (2019). Worldwide energy use across global supply chains: Decoupled from economic growth? *Applied Energy*, 250, 1235-1245. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.104>
- Kemp-Benedict, E. (2018). Dematerialization, Decoupling, and Productivity Change. *Ecological Economics*, 150, 204-216. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.020>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Krausmann, F., Schandl, H., Eisenmenger, N., Giljum, S., & Jackson, T. (2017). Material Flow Accounting: Measuring Global Material Use for Sustainable Development. *Annual Review of Environment and Resources*, 42(1), 647-675. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060726>
- Kubiszewski, I., Costanza, R., Franco, C., Lawn, P., Talberth, J., Jackson, T., & Aylmer, C. (2013). Beyond GDP: Measuring and achieving global genuine progress. *Ecological Economics*, 93, 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.04.019>
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. En M. A. Seligson (Ed.), *The Gap between Rich and Poor* (pp. 25-37). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429311208-4>

- Li, W., Qiao, Y., Li, X., & Wang, Y. (2022). Energy consumption, pollution haven hypothesis, and Environmental Kuznets Curve: Examining the environment–economy link in belt and road initiative countries. *Energy*, 239, 122559. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122559>
- Maneejuk, N., Ratchakom, S., Maneejuk, P., & Yamaka, W. (2020). Does the Environmental Kuznets Curve Exist? An International Study. *Sustainability*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/su12219117>
- Martínez-Alier, J. (2004). Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 1, 21-30.
- Martínez-Alier, J., Pascual, U., Vivien, F.-D., & Zaccai, E. (2010). Sustainable de-growth: Mapping the context, criticisms and future prospects of an emergent paradigm. *Ecological Economics*, 69(9), 1741-1747. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.04.017>
- Matthews, E., Amann, C., Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Hüttler, W., Kleijn, R., Moriguchi, Y., Ottke, C., Rodenburg, E., Rogich, D., Schandl, H., Schütz, H., van der Voet, E., & Weisz, H. (2000). *The weight of nations. Material outflows from industrial economies*. <https://www.wri.org/research/weight-nations>
- Mishan, E. J. (1980). El crecimiento de la abundancia y la disminución del bienestar. En H. Daly (Ed.), *Economía, ecología, ética. Ensayos hacia una economía en estado estacionario*. (1ª ed.). Fondo de Cultura Económica.
- Oliveras, L., Peralta, A., Palència, L., Gotsens, M., López, M. J., Artazcoz, L., Borrell, C., & Marí-Dell'Olmo, M. (2021). Energy poverty and health: Trends in the European Union before and during the economic crisis, 2007–2016. *Health & Place*, 67, 102294. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102294>
- Özokcu, S., & Özdemir, Ö. (2017). Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 639-647. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.059>
- Panayotou T. 1993. *Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development*. Geneva: ILO.
- Pirlogea, C., & Cicea, C. (2012). Econometric perspective of the energy consumption and economic growth relation in European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5718-5726. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.010>
- Roca, J. (2002). The IPAT formula and its limitations. *Ecological Economics*, 42(1), 1-2. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00110-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00110-6)
- Saqib, M., & Benhmad, F. (2021). Does ecological footprint matter for the shape of the environmental Kuznets curve? Evidence from European countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), 13634-13648. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11517-1>
- Sarkodie, S. A., & Ozturk, I. (2020). Investigating the Environmental Kuznets Curve hypothesis in Kenya: A multivariate analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109481>
- Schaffartzik, A., & Duro, J. A. (2022). 'Dematerialization' in times of economic crisis: A regional analysis of the Spanish economy in material and monetary terms. *Resources Policy*, 78, 102793. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102793>
- Schandl, H., Fischer-Kowalski, M., West, J., Giljum, S., Dittrich, M., Eisenmenger, N., Geschke, A., Lieber, M., Wieland, H., Schaffartzik, A., Krausmann, F., Gierlinger, S., Hosking, K., Lenzen,

- M., Tanikawa, H., Miatto, A., & Fishman, T. (2018). Global Material Flows and Resource Productivity: Forty Years of Evidence: Global Material Flows and Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 22(4), 827-838. <https://doi.org/10.1111/jiec.12626>
- Scheel, C., Aguiñaga, E., & Bello, B. (2020). Decoupling Economic Development from the Consumption of Finite Resources Using Circular Economy. A Model for Developing Countries. *Sustainability*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/su12041291>
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). *Economic growth and environmental quality, time series and cross-country evidence* [Working Papers]. World Development Report.
- Shao, Q., Schaffartzik, A., Mayer, A., & Krausmann, F. (2017). The high 'price' of dematerialization: A dynamic panel data analysis of material use and economic recession. *Journal of Cleaner Production*, 167, 120-132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.158>
- Steinberger, J. K., Krausmann, F., & Eisenmenger, N. (2010). Global patterns of materials use: A socioeconomic and geophysical analysis. *Ecological Economics*, 69(5), 1148-1158,. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.12.009>
- Steinberger, J. K., Krausmann, F., Getzner, M., Schandl, H., & West, J. (2013). Development and Dematerialization: An International Study. *PLOS ONE*, 8(10), 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070385>
- Tapio, P. (2005). Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*, 12(2), 137-151. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.001>
- UNEP. (2022). *Global Material Flows Database*. <https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database>
- Vence, X. (2023). Bases conceptuales para una economía circular transformadora. En X. Vence (Ed.), *Economía circular transformadora y cambio sistémico. Retos, modelos y políticas* (1ª ed., pp. 54-108). Fondo de Cultura Económica.
- Wiedmann, T. O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., & Kanemoto, K. (2015). The material footprint of nations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20), 6271-6276. <https://doi.org/10.1073/pnas.1220362110>
- Wu, R., Wang, J., Wang, S., & Feng, K. (2021). The drivers of declining CO2 emissions trends in developed nations using an extended STIRPAT model: A historical and prospective analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111328. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111328>
- York, R., Rosa, E. A., & Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351-365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)