

¿Crece la economía sin crecer los residuos?

**Desacoplamiento, eficiencia de reciclaje y cumplimiento de la Directiva UE
en el Área Metropolitana de Barcelona (2008–2023)**

Autora: Marot Arroyo De la Cruz

Fecha: Febrero 2026

Tutora: Alana Olivieri

Programa: Especialización en Data Analytics, IT Academy

RESUMEN

¿Puede una ciudad crecer económicamente y generar menos basura al mismo tiempo? Esta pregunta guía el presente estudio, que analiza la relación entre riqueza y residuos en 31 municipios del Área Metropolitana de Barcelona (AMB) entre 2008 y 2023, evaluando si la región cumple con los objetivos de reciclaje de la Directiva europea 2018/851/UE. Con datos públicos de la AMB, Idescat, INE y Eurostat, se aplicaron modelos econométricos de panel y segmentación por grupos. Los resultados muestran que el AMB ha logrado desacoplar parcialmente economía y residuos: el índice de desacoplamiento fue negativo en 13 de los 15 años estudiados. La Curva de Kuznets Ambiental, que predice una reducción de residuos una vez superado cierto umbral de riqueza, se confirma con un punto de inflexión en 16.383 € de PIB per cápita. El factor más asociado a la generación per cápita no es la renta, sino el tamaño del hogar (elasticidad $-3,45$). La eficiencia de reciclaje del AMB alcanzó el 53,2% en 2023, aún por debajo de la meta del 55% para 2025, con una brecha de más de 12 puntos respecto a los líderes europeos. El análisis identifica cinco perfiles municipales con necesidades de intervención diferenciadas.

Palabras clave: desacoplamiento económico, Curva de Kuznets Ambiental, gestión de residuos, Área Metropolitana de Barcelona, Directiva 2018/851/UE

1. INTRODUCCIÓN

Imagina que cada euro de crecimiento económico viniese acompañado, inevitablemente, de más bolsas de basura. Durante décadas, esa fue la realidad de las ciudades industrializadas. Hoy, sin embargo, hay evidencia de que esta relación puede romperse: es lo que los investigadores llaman desacoplamiento. La teoría de la Curva Ambiental de Kuznets (EKC) propone que, por encima de cierto nivel de riqueza, las sociedades empiezan a generar menos residuos, aunque sigan creciendo económicamente, gracias a mayor conciencia ambiental, mejor tecnología y servicios más eficientes (Grossman y Krueger, 1995; Stern, 2004).

El Área Metropolitana de Barcelona es un laboratorio ideal para contrastar esta hipótesis: reúne 36 municipios con perfiles económicos muy distintos, desde la gran metrópoli hasta pequeños municipios rurales, todos ellos obligados a cumplir la Directiva 2018/851/UE, que exige reciclar al menos el 55% de los residuos en 2025 y el 65% en 2035 (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018).

Pregunta de investigación:

¿Se ha desacoplado el crecimiento económico de la generación de residuos en el AMB entre 2008 y 2023? ¿Existen diferencias entre municipios que permitan diseñar políticas adaptadas a cada realidad?

Los objetivos específicos son:

- Cuantificar el índice de desacoplamiento (DI).
- Contrastar la hipótesis EKC e identificar el punto de inflexión.
- Identificar los factores socioeconómicos más asociados a la generación de residuos.
- Evaluar el cumplimiento de la Directiva UE.

- Segmentar los municipios que evidencien la necesidad de estrategias diferenciadas.

2. METODOLOGÍA

Se trabajó con bases de datos públicas de la AMB, Idescat, INE y Eurostat para el período 2008–2023. La unidad de análisis es el municipio-año. Para medir los residuos por persona se utilizó la población ETCA (Equivalente a Tiempo Completo Anual)¹, que incorpora residentes, trabajadores y turistas, un reflejo más real de la presión sobre el sistema de recogida.

El dataset original contaba con 576 observaciones. Se excluyeron 5 municipios con más del 30% de datos ausentes en variables clave (El Papiol, El Prat de Llobregat, La Palma de Cervelló, L'Hospitalet de Llobregat y Sant Climent de Llobregat), con omisiones sistemáticas, no aleatorias, cuya imputación habría distorsionado los resultados. Los datos dispersos de tamaño del hogar se completaron mediante interpolación lineal intra-municipio. La base de datos final abarca 31 municipios y 496 observaciones. La principal herramienta empleada fue Python.

Se calcularon 13 indicadores derivados, siendo los tres principales:

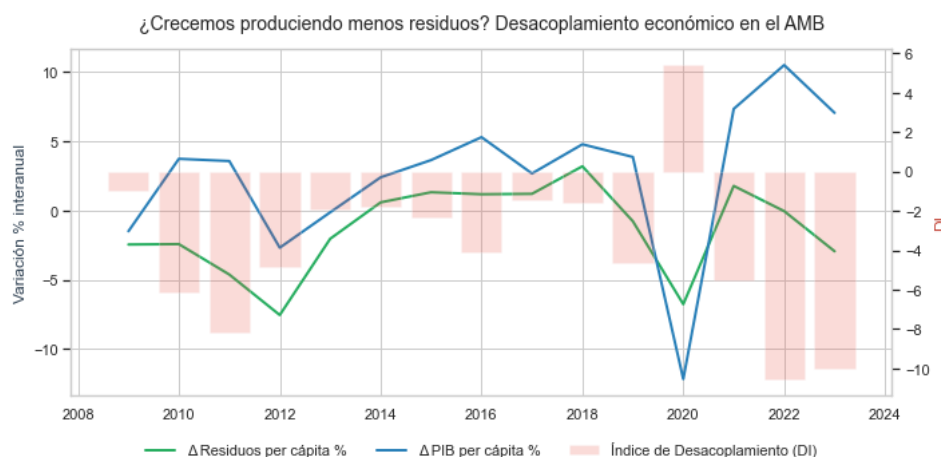
- Índice de Desacoplamiento (DI): diferencia entre la variación anual de residuos per cápita y la del PIB per cápita. Valores negativos indican que la economía crece más rápido que los residuos.
- Generación per cápita ETCA: kg de residuos por habitante ETCA (variable dependiente de los modelos).
- Eficiencia de reciclaje: porcentaje del total de residuos que entra en circuitos de recogida selectiva (vidrio, papel, envases, orgánica, voluminosos y puntos limpios)², medido frente a la meta del 55% de la Directiva UE.

Los modelos analíticos aplicados fueron:

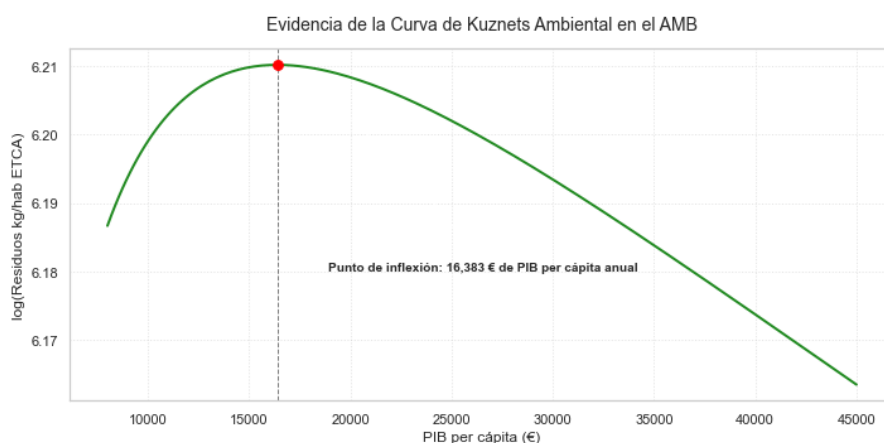
- Curva de Kuznets Ambiental (EKC): regresión OLS con efectos fijos de municipio y año, con el logaritmo de la generación per cápita ETCA como variable dependiente y el logaritmo del PIB per cápita y su término cuadrático como independientes. La EKC se confirma si $\beta_1 > 0$ y $\beta_2 < 0$, obteniéndose el umbral de inflexión como $PIB^* = \exp(-\beta_1 / 2\beta_2)$. Busca determinar si existe un nivel de renta a partir del cual el crecimiento económico reduce la generación de residuos.
- Modelo de panel (PanelOLS): regresión con efectos fijos de municipio y año, errores estándar clusterizados por municipio, para corregir la correlación entre observaciones consecutivas de una misma localidad, garantizando la validez estadística de los resultados, y variables independientes en logaritmos (PIB per cápita, tamaño del hogar y presión poblacional ETCA), lo que permite interpretar los coeficientes como elasticidades. Busca identificar los factores socioeconómicos más asociados a la generación de residuos.
- Segmentación por grupos (K-means, k=5): clasifica los 31 municipios en cinco grupos según su perfil histórico de generación de residuos, renta media y eficiencia de reciclaje. El número óptimo de grupos se determinó mediante el coeficiente de silueta, medida que evalúa cuán bien separados y cohesionados están los grupos. El objetivo es identificar patrones municipales diferenciados para proponer estrategias de política adaptadas a cada realidad.

3. RESULTADOS

En cuanto al desacoplamiento económico, el DI fue negativo en 13 de los 15 años del período, confirmando desacoplamiento relativo: la economía creció más rápido que los residuos. El análisis revela dos etapas: durante la crisis (2008–2013), tanto el PIB como los residuos cayeron, el desacoplamiento fue en parte forzado; ; en la recuperación (2014–2023), el PIB creció de forma sostenida mientras los residuos lo hicieron más lentamente o incluso disminuyeron, revelando un desacoplamiento genuino.



En esa misma línea de análisis, el modelo OLS con efectos fijos (R^2 ajustado = 0,859) confirma la forma de U invertida y la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (EKC): $\beta_1 = 0,888$ ($p = 0,012$) y $\beta_2 = -0,046$ ($p = 0,011$). El punto de inflexión se sitúa en 16.383 € de PIB per cápita³: los municipios por encima de esta renta tienden a generar menos residuos al crecer; los que aún no la alcanzan siguen en la fase ascendente.



Entonces, si no es la riqueza, ¿qué factores se asocian a la generación de residuos? El modelo PanelOLS ($R^2 = 0,186$; F-robusto = 7,96; $p < 0,0001$; 496 observaciones, 31 municipios, 16 períodos) confirma que el PIB per cápita no presenta asociación significativa con la generación de residuos (elasticidad = 0,007; $p = 0,834$). Los dos factores con asociación real son el tamaño del hogar (elasticidad = $-3,452$; $p = 0,052$)⁴ y la presión poblacional ETCA (elasticidad = $-1,169$; $p < 0,001$).

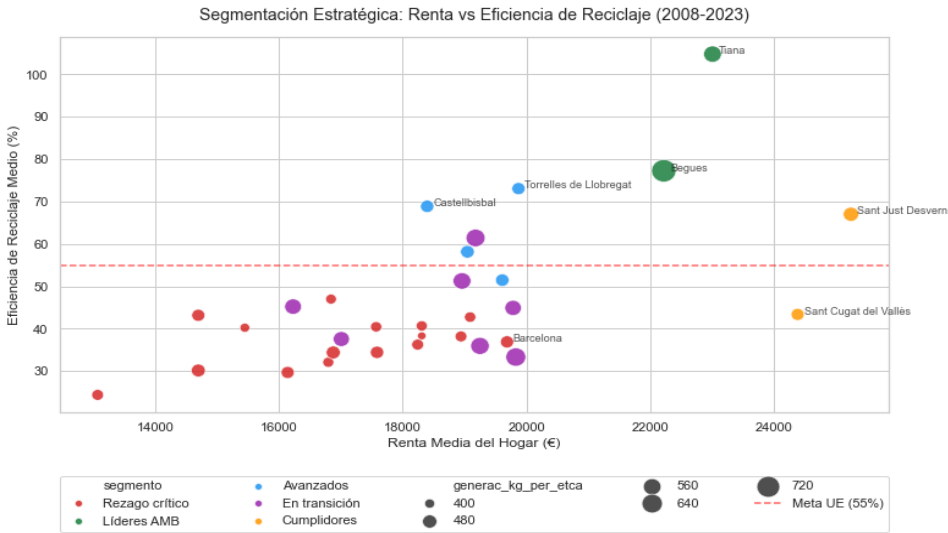
Los municipios con hogares más pequeños se asocian con una generación desproporcionadamente mayor de residuos por persona; los municipios con mayor actividad económica y turística presentan menor intensidad de residuos por habitante.

Tabla 1. Factores asociados a la generación de residuos per cápita

Variable	Elasticidad	p-valor	Interpretación
PIB per cápita	0,007	0,834	Sin asociación significativa (desacoplamiento absoluto)
Tamaño del hogar	-3,452	0,052	hogares más pequeños se asocian con mayor generación de residuos
Presión poblacional (ETCA)	-1,169	0,001	mayor actividad económica y turística se asocian con menor generación de residuos

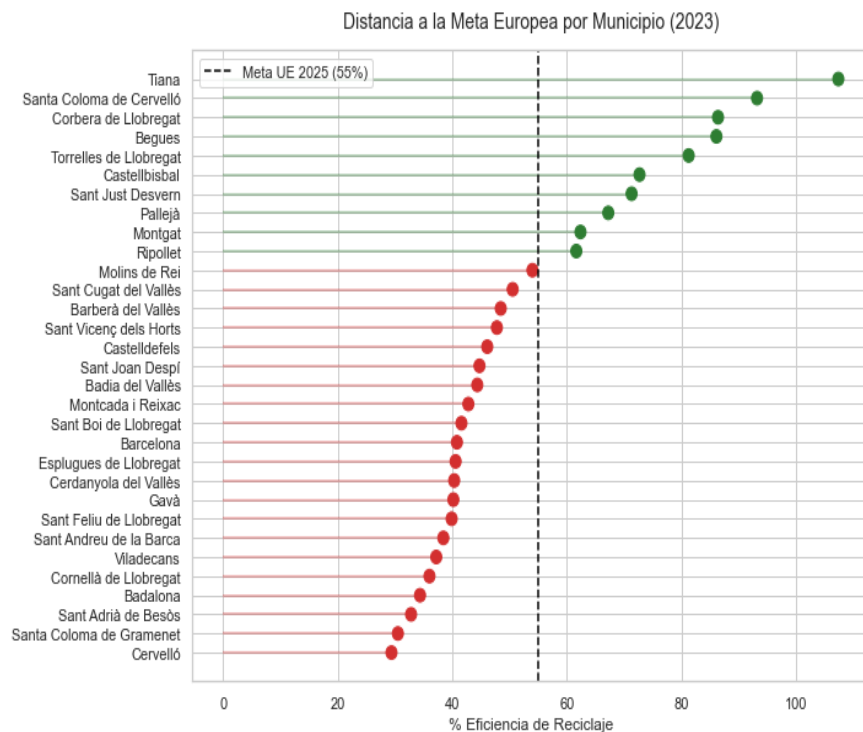
Por otro lado, para evaluar el cumplimiento de la Directiva 2018/851/UE, el análisis ofrece una visión completa en tres niveles progresivo: primero se identifican los perfiles estratégicos de los municipios (segmentación), luego se concreta quién cumple y quién no en 2023 (ranking), y finalmente se examina cómo ha evolucionado el conjunto del AMB a lo largo del tiempo (boxplot).

La segmentación estratégica revela que los 31 municipios no forman un grupo homogéneo, sino cinco perfiles claramente diferenciados según renta media, generación de residuos y eficiencia de reciclaje. Los Líderes AMB, Tiana, Begues y Torrelles de Llobregat, son municipios de perfil residencial, renta media-alta y baja densidad que superan holgadamente el 55%. En el extremo opuesto, el grupo de Rezago crítico agrupa municipios de menor renta y alta densidad, entre ellos Barcelona, que se mantienen por debajo del 40%. Esta dispersión confirma que una política única para todo el AMB sería ineficaz.

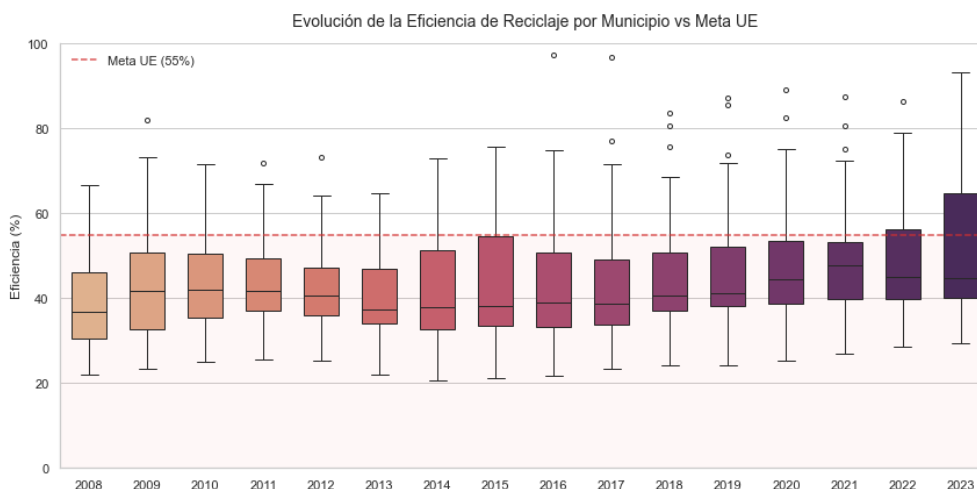


El ranking municipal de 2023 concreta ese diagnóstico: solo 10 de los 31 municipios superan la meta del 55%, todos de perfil residencial y baja densidad. Los 21 restantes no alcanzan el umbral, varios por debajo del 35%, con Cervelló como el más alejado del objetivo. Barcelona, pese a su

mayor capacidad institucional, aparece en la zona roja, ilustrando cómo la densidad urbana y el volumen de residuos son barreras estructurales.

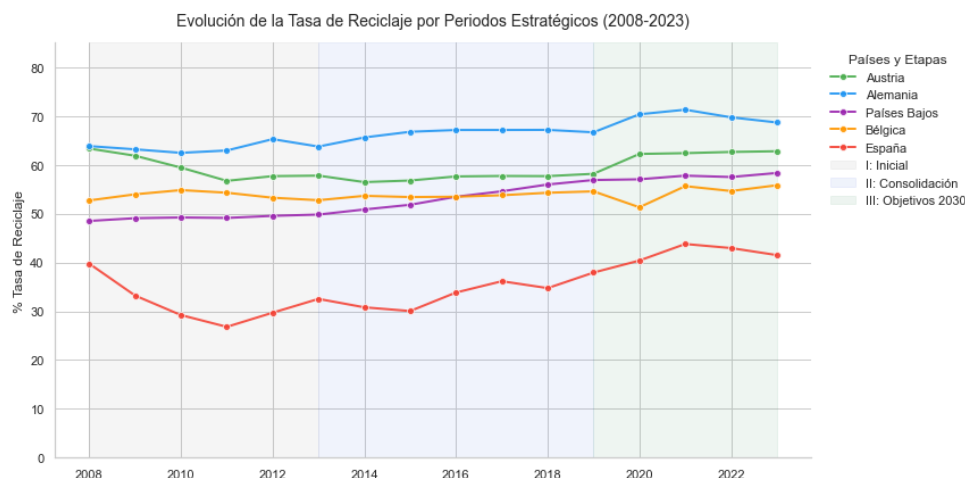


La evolución temporal muestra, sin embargo, una tendencia positiva sostenida: la mediana del AMB ha subido progresivamente desde el 38% en 2008 hasta el 53% en 2023, acercándose a la línea del 55% pero sin cruzarla todavía. La dispersión entre municipios se mantiene elevada a lo largo de todo el período, lo que refuerza la necesidad de intervenciones diferenciadas.



Por último, es preciso hacer una comparación con países líderes en logros medioambientales ubicar, la situación del AMB muestra una mejora sostenida, pero la comparación europea revela que esa mejora no es suficiente ni suficientemente rápida. Países como Austria y Alemania llevan

más de 15 años por encima del 60%, con sistemas de recogida que ni la crisis de 2008 logró deteriorar. España, en cambio, cayó hasta el 28% durante la crisis y solo ha recuperado niveles del 40–42% en la fase más reciente, impulsada por la Directiva 2018/851/UE. La brecha con los líderes —que llegó a ser de 35 puntos— no se ha cerrado en ninguna de las tres etapas del período analizado, lo que evidencia que el problema no es coyuntural: alcanzar el 65% exigido para 2035 requerirá cambios estructurales en los sistemas de recogida, no solo mejoras incrementales.



4. DISCUSIÓN

Los resultados son consistentes con la literatura internacional sobre la EKC en gestión de residuos (Grossman y Krueger, 1995; Stern, 2004; Wu y Li, 2025): a partir de cierto umbral de riqueza, el crecimiento económico deja de ser el motor de la generación de residuos. Sin embargo, el hallazgo más relevante no es el que confirma la teoría, sino el que la matiza. El modelo identifica una jerarquía clara: el tamaño del hogar (elasticidad $-3,45$) es el factor más asociado a la generación per cápita, la atomización familiar y el aumento de hogares unipersonales explican más que la renta, mientras que el PIB resulta estadísticamente irrelevante una vez controladas estas variables ($p = 0,834$). Esto desplaza el foco de las políticas ambientales desde la renta hacia la demografía y la estructura territorial.

La aparente contradicción entre modelos, el PIB sí importa en la EKC pero no en el PanelOLS, no es un error metodológico sino un hallazgo en sí mismo: Los dos modelos se complementan, mientras el modelo EKC demuestra que la relación entre PIB y residuos tiene forma de U invertida, el modelo PanelOLS demuestra que, controlando factores como tamaño del hogar y presión ETCA simultáneamente, esa relación desaparece. Este resultado amplía los hallazgos de estudios previos sobre economías de escala en el consumo doméstico (Wu y Li, 2025) y sugiere que las políticas centradas solo en el crecimiento económico son insuficientes para reducir la generación de residuos.

La brecha sostenida de más de 12 puntos respecto a Alemania o Austria indica que el problema no es coyuntural: requiere cambios estructurales en los sistemas de recogida, como la implantación de la recogida puerta a puerta o las tasas variables por generación (pay-as-you-throw), que ya

funcionan con éxito en los países líderes (European Environment Agency, 2024). La segmentación en cinco perfiles añade valor operativo: demuestra que las políticas uniformes son ineficaces y que cada grupo municipal requiere una intervención adaptada a su realidad de renta, densidad e infraestructura.

Limitaciones: la exclusión de 5 municipios limita la cobertura territorial; el análisis identifica asociaciones consistentes, pero correlación no implica causalidad; variables no observadas, como la calidad de la infraestructura local o el impacto de campañas específicas de concienciación, quedan fuera del alcance de los datos disponibles.

5. CONCLUSIÓN

El Área Metropolitana de Barcelona ha demostrado que crecer económicamente y reducir residuos al mismo tiempo es posible, especialmente desde 2014. Ese progreso, sin embargo, no es automático ni suficiente. Los cuatro hallazgos principales del estudio son:

- Existe desacoplamiento relativo genuino: el DI fue negativo en 13 de los 15 años analizados, con un desacoplamiento cada vez más auténtico en la fase de recuperación post-crisis.
- Hay un umbral de riqueza (16.383 € de PIB per cápita) a partir del cual el crecimiento económico se asocia con una reducción de residuos, validando la hipótesis EKC.
- El tamaño del hogar y la actividad económica territorial (presión ETCA) son los principales factores asociados a la generación per cápita. El PIB, una vez controladas estas variables, resulta estadísticamente irrelevante.
- El AMB alcanzó el 53,2% de eficiencia de reciclaje en 2023, a menos de 2 puntos de la meta del 55% para 2025, pero a más de 12 puntos de los líderes europeos y sin garantía de cumplimiento sin intervenciones urgentes.

A partir de estos hallazgos, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Priorizar inversión en infraestructura de recogida selectiva para los grupos de rezago crítico y en transición.
- Diseñar campañas específicas orientadas a hogares pequeños y unipersonales (compra a granel, envase sostenible, reparación).
- Estudiar la viabilidad de sistemas de recogida puerta a puerta y tasas variables (pay-as-you-throw), inspirados en los modelos alemán y austriaco.
- Establecer un sistema de monitoreo continuo del DI y la eficiencia de reciclaje por municipio para detectar desviaciones tempranas.

REFERENCIAS

1. Grossman, G. M. y Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
2. Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
3. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2018). Directiva 2018/851/UE por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. *Diario Oficial de la Unión Europea*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>
4. Área Metropolitana de Barcelona. (2024). Datos municipales de generación y tratamiento de residuos 2008–2023. AMB Open Data. <https://www.amb.cat/web/amb/dades-obertes> [Consulta: febrero 2026]
5. Institut d'Estadística de Catalunya. (2024). Indicadores socioeconómicos municipales. Idescat. <https://www.idescat.cat> [Consulta: febrero 2026]
6. Eurostat. (2024). Waste statistics, European comparison. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics [Consulta: febrero 2026]
7. European Environment Agency. (2024, diciembre). Waste generation and decoupling in Europe. Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/waste-generation-and-decoupling-in-europe> [Consulta: febrero 2026]
8. Wu, H. y Li, M. (2025). Testing the existence of waste Kuznets curve hypothesis in 45 emerging economies: Evidence from an e-waste panel data survey. *Journal of Environmental Management*, 373, 123456. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123456>

NOTAS

¹ Estimación del número de personas que 'usan' el municipio a tiempo completo equivalente durante un año. Considera residentes y la fracción proporcional de turistas, trabajadores y estudiantes, ponderados por el tiempo que pasan en el municipio.

² Las fracciones incluidas son: vidrio, papel, envases, fracción orgánica, voluminosos y puntos limpios, en línea con el numerador utilizado por Eurostat para calcular la tasa de reciclaje municipal.

³ En el punto de inflexión (PIB = 16.383 €), el efecto marginal del PIB sobre los residuos es exactamente cero: por encima de ese umbral, crecer se asocia con menos residuos.

⁴ Un 1% de aumento en el tamaño del hogar se asocia con una reducción del 3,452% en residuos per cápita, los hogares más grandes generan proporcionalmente menos residuos por persona.