

BALANCE DE CARBONO COMARCAL: PROVINCIA DE ALBACETE

CARBON BALANCE AT THE DISTRICT LEVEL: PROVINCE OF ALBACETE

Gloria M^a PÉREZ-BUSTOS MUÑOZ^{1,}*

Recibido: 6 de mayo de 2024

Aprobado: 25 de septiembre de 2024

Cómo citar este artículo:

Pérez-Bustos, G. M^a. (2024). Balance de carbono comarcal: provincia de Albacete. *Sabuco*, 18: 115-134. http://doi.org/10.37927/sabuco.18_6

RESUMEN

El balance de carbono comarcal en la provincia de Albacete mide la interacción entre emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la capacidad de absorción de carbono de la región, especialmente a través de sumideros naturales. Para ello, se analizan las emisiones de sectores claves: energético, combustible, transporte, industria, primario y residuos, en siete comarcas. El cálculo de la huella de carbono (HdC) se realiza utilizando herramientas adaptadas localmente y se evalúan los sumideros agroforestales de igual forma. Los resultados muestran que, seis comarcas mantienen un saldo de carbono negativo, es decir, absorben más carbono del que emiten. Se destacan diferencias entre comarcas: Sierra de Segura y Sierra de Alcaraz, que presentan mayores capacidades de absorción, mientras que las comarcas Almansa y Centro, muestran mayores emisiones, debido a su alta densidad poblacional y actividad económica. El estudio concluirá que la provincia de Albacete en su conjunto contribuye positivamente a la mitigación del cambio climático, pero es necesario mejorar la gestión de los sumideros, reducir las emisiones en las áreas más urbanizadas y de mayor actividad socioeconómica.

Palabras clave: balance de carbono, comarcas, huella de carbono, sumideros de carbono.

ABSTRACT

The regional carbon balance in the province of Albacete measures the interaction between greenhouse gas (GHG) emissions and the region's car-

¹ Observatorio Provincial de Sostenibilidad de Albacete (UCLM)

* Dirección para correspondencia: gloria.perezbustos@uclm.es

bon absorption capacity, particularly through natural sinks. To achieve this, emissions from key sectors such as energy, fuel, transportation, industry, primary, and waste are analysed across seven districts. The calculation of the carbon footprint (CF) is carried out using locally adapted tools, agro-forest sinks are evaluated in the same manner. The results show that six districts maintain a negative carbon balance, meaning they absorb more carbon than they emit. Differences between districts: the Sierra of Segura and the Sierra of Alcaraz, which show greater absorption capacities, while districts, like Almansa and Centro, show higher emissions due to their high population density and economic activity. The study concludes that the province of Albacete contributes positively to climate change mitigation, but it is necessary to improve the management of carbon sinks, reduce emissions in more urbanized areas with higher socioeconomic activity.

Key words: carbon balance, carbon footprint, districts, sinks

1. INTRODUCCIÓN

El balance global del carbono determina la entrada de CO₂ en la atmósfera procedente de las emisiones de las actividades humanas, compensada por su salida (almacenamiento) a los reservorios de carbono en la tierra o en el océano. (Canadell y Carlson, 2017). El balance de carbono refleja la diferencia entre las emisiones de GEI generadas por la actividad humana y la capacidad del planeta para absorberlas, a través de sumideros naturales como los bosques, los océanos y los suelos, es decir, la relación o diferencia entre los conceptos de Huella de carbono (HdC) y Sumideros.

Desde la primera Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) en 1992, la comunidad internacional ha reconocido la necesidad urgente de mitigar las emisiones de GEI. Este reconocimiento condujo al Protocolo de Kioto (1997) en su redacción del artículo 3, estableció la obligatoriedad de cuantificar el balance de carbono de las actividades directas e indirectas y al Acuerdo de París (2015) estableció metas globales para reducir las emisiones de carbono y limitar el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 °C en comparación con los niveles preindustriales (UNFCCC, 2015). Se van dando pequeños pasos para reducir, mitigar o adaptarnos a la nueva realidad climática a través de mediciones, normativas correctivas, legislación y políticas palancas, compromisos por países... para mitigación del cambio climático, es crucial medir, reducir y compensar las emisiones netas de carbono a diferentes escalas: mundial, regional y local.

En 2019 la Comisión Europea (CE) presenta el *Pacto Verde Europeo* cuyo fin es conseguir la neutralidad climática en 2050 y consolidar e impulsar la *Hoja de Ruta hacia 2050: una Europa próspera baja en carbono*, donde la

Unión Europea (UE) se comprometía a reducir sus emisiones y su ambición climática para 2030 es reducir al menos un 55 % ; y un 60 % en 2040. En 2021 se presentó el paquete “Fit for 55” de medidas para adaptar las legislaciones de clima, energía y transporte... actualizando las normas vigentes de la UE. El balance de carbono es crucial para entender y mitigar los efectos del aumento de los GEI, particularmente el dióxido de carbono (CO₂), en el calentamiento global (Masson-Delmotte *et al.*, 2021).

En 2021 en España se hay un total de 11 políticas o medidas vinculadas con la reducción de emisiones de GEI y el incremento de las absorciones en el estado, según la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA, 2023). Destacaremos en el marco normativo nacional sobre cambio climático la existencia de la Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética; el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 (BOE, 2021); el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030; la Estrategia de Transición Justa y la Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050; alineados con los compromisos europeos, buscan una reducción del 23 % de las emisiones de GEI para 2030, al tiempo que potencian la restauración de ecosistemas y la gestión forestal sostenible como mecanismos clave para aumentar los sumideros de carbono según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2020).

Castilla-La Mancha (CLM) es una región semiárida caracterizada por vastas extensiones de tierras agrícolas, fuente importante de emisiones de GEI, y superficie forestal que tiene un papel crucial en la estrategia nacional de absorción de carbono, puede contribuir a la absorción de carbono, a través de sus bosques y pastizales (MITECO, 2020). No obstante, también es un área afectada por la desertificación y la degradación del suelo, lo que pone en riesgo su capacidad de actuar como sumidero de carbono en el futuro. Por lo tanto, la gestión sostenible del territorio es esencial para maximizar su potencial como sumidero y contribuir al balance de carbono de España.

La HdC es un indicador fundamental en la evaluación del impacto ambiental de actividades humanas su cuantificación involucra un análisis profundo de las emisiones de GEI generadas directa o indirectamente por personas u organizaciones en todos los sectores. Los sumideros de carbono son sistemas que retienen más carbono del que emiten y contribuyen a reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera. La capacidad de los sumideros para mitigar el cambio climático depende de factores como la gestión forestal sostenible y la conservación de ecosistemas clave, lo cual se aborda en las políticas de mitigación y adaptación climática a nivel local y global (Griscom *et al.*, 2017).

La evaluación del balance de carbono a nivel comarcal puede proporcionar datos críticos para la planificación sostenible, la gestión de recursos naturales y estrategias de adaptación al cambio climático. Las iniciativas de “ciudades carbono neutro” son un ejemplo de cómo los datos locales sobre huella y sumideros pueden integrarse en políticas de desarrollo sostenible

(Puppim de Oliveira *et al.*, 2013). Las medidas expuestas dan el soporte normativo y de interés general sobre la necesidad de tener el conocimiento del balance de carbono comarcal del presente estudio, utilizando datos locales para analizar las interacciones entre las emisiones de carbono y los sumideros en esta región. Se pretende proporcionar una visión integral de los desafíos y las oportunidades para la gestión del carbono a nivel comarcal, y cómo pueden influir en la lucha contra el cambio climático.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Aunque no hay una comarcalización oficial, las diferencias orográficas, demográficas, climáticas y en particular el devenir histórico de los territorios albaceteños revelan un espacio muy heterogéneo en términos socioeconómicos y culturales. Existen 7 comarcas cuyas áreas varían en correspondencia de la función a la que se vean destinada, tomando de referencia la clasificación comarcal del censo agrario (MAPAMA, 2022), para el desarrollo del estudio de su balance de carbono. Las **7 comarcas agrarias** (figura 1), se corresponde con la estructura de agrupaciones de los municipios por comarcas, según especifica el Censo Agrario de 1999, de 2009 y de 2020. Para una descripción más individualizada de las comarcas, se hace referencia al “*Tomo 4. Provincia de Albacete. Caracterización de las comarcas agrarias de España*” (MAPAMA, 2011), se expone alguna información demográfica para trabajar con las comarcas.

- Comarca 01: Mancha. La parte perteneciente a la provincia de Albacete está compuesta por un total de 10 municipios: El Bonillo, Fuensanta, Lezuza, Minaya, Munera, Ossa de Montiel, La Roda, Tarazona de la Mancha, Villalgordo del Júcar y Villarrobledo. La comarca contiene el 15,3 % de la población total y el 19,8 % de la superficie total.
- Comarca 02: Manchuela. La parte perteneciente a la provincia de Albacete está compuesta por un total de 23 municipios: Abengibre, Alatoz, Alborea, Alcalá del Júcar, Balsa de Ves, Carcelén, Casas de Ves, Casas-Ibáñez, Cenizate, Fuentealbilla, Golosalvo, Jorquera, Madrigueras, Mahora, Motilleja, Navas de Jorquera, Pozo-Lorente, La Recueja, Valdeganga, Villa de Ves, Villamalea, Villatoya y Villavaliante. La comarca contiene el 6,8 % de la población total y el 10,9 % de la superficie total.
- Comarca 03: Sierra de Alcaraz. Compuesto por un total de 17 municipios: Alcaraz, El Ballester, Bienservida, Casas de Lázaro, Cotillas, Masegoso, Paterna del Madera, Peñascosa, Povedilla, Riópar, Roble-

do, Salobre, San Pedro, Vianos, Villapalacios, Villaverde de Guadali-
mar y Viveros. Es la comarca con menor población, contiene el 2,3 %
de la población total y el 12,3 % de la superficie total.

- Comarca 04: Centro. Está compuesta por un total de 17 municipios: Albacete, Alcadozo, Balazote, Barrax, Casas de Juan Núñez, Chinchilla de Montearagón, Corral-Rubio, La Gineta, La Herrera, Higuera, Hoya-Gonzalo, Montalvos, Peñas de San Pedro, Pétrola, Pozo Cañada, Pozohondo y Pozuelo. Alberga a la capital provincial (Albacete) y contiene al 50,5 % de la población total, además de ser la comarca de mayor superficie un 23,7 % .
- Comarca 05: Almansa. Compuesta por un total de 6 municipios: Almansa, Alpera, Bonete, Caudete, Fuente-Álamo y Montealegre del Castillo. La comarca contiene el 10,9 % de la población total y el 8,6 % de la superficie total.
- Comarca 06: Sierra de Segura. Compuesta por un total de 9 municipios: Ayna, Bogarra, Elche de la Sierra, Férez, Letur, Molinicos, Nerpio, Socovos y Yeste. La comarca contiene el 3,3 % de la población total y el 14,5 % de la superficie total.
- Comarca 07: Hellín. Compuesta por un total de 5 municipios: Albataña, Hellín, Liétor, Ontur y Tobarra. La comarca contiene el 10,9 % de la población total y el 10 % de la superficie total.

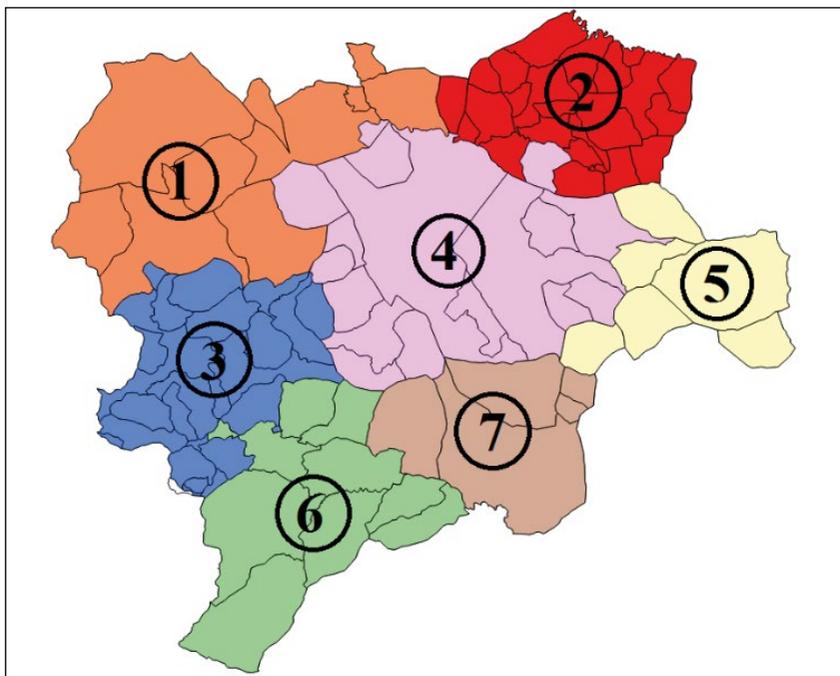


Figura 1. Distribución por comarcas agrarias de la provincia de Albacete.

2.2. Metodología

La comarca es una entidad administrativa compuesta por una pluralidad de municipios en el seno de una provincia y se identifica por determinadas características físicas o culturales (RAE, 2023). El Título III del Estatuto de Autonomía de CLM establece la organización territorial de la región (Estatuto de Autonomía de Castilla-La Mancha, 1982), se dispone el reconocimiento de comarcas, sin embargo, no se ha reconocido ninguna a lo largo del tiempo. La diputación provincial de Albacete no ha establecido ninguna división comarcal y, por tanto, mantendremos las Comarcas Agrarias. Para establecer el balance de carbono de cada comarca, se llevará a cabo el cálculo de la HdC y de los sumideros de las comarcas como el sumatorio del total de los datos individuales de sus municipios.

Tras la revisión de estudios comparativos de herramientas disponibles para el cálculo de emisiones de GEI para municipios (Álvarez, 2010; Cobo *et al.*, 2020; Pérez-Bustos, 2016), se determina que la más sencilla, objetiva y comprensible es la metodología de la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP, 2009) porque en ella se explican con detalle los pasos del cálculo, es bastante flexible y tiene en cuenta algunas medidas de reducción de CO₂ como los sumideros o la producción local de energías renovables (Sala *et al.*, 2010). En base a dicho estudio la herramienta incluye las 3 categorías de fuentes de emisiones GEI asociadas a una organización, actividad o territorio, establecidas por el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol). Estos alcances permiten medir de manera integral el impacto climático, que son:

- **Alcance 1:** emisiones directas, son las emitidas directamente por las actividades. Asociadas al sector de consumos de combustibles petrolíferos y consumos en transportes.
- **Alcance 2:** emisiones indirectas por el consumo de energía. Asociadas al sector de consumo de energía eléctrica.
- **Alcance 3:** otras emisiones indirectas, son las emitidas por la atribución de consumo de productos, bienes y materiales es su proceso de fabricación. Asociadas a consumo de recursos por industrias, la agricultura y ganadería, la gestión y tratamiento de residuos.

Se combinarán dos herramientas: FEMP como principal por su metodología de cálculo y MITECO como secundaria para la actualización de parámetros, que nos mostrarán una HdC per cápita por comarca y el total emisiones en toneladas de CO₂-eq que incluye los tres alcances y aporta más información sobre las emisiones del territorio de estudio, que las calculadoras estandarizadas existentes, que solamente incluye el Alcance 1+2.

Herramienta Principal: *Herramienta de Cálculo para Sistemas de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático* (FEMP, 2009), creada para el cálculo de las emisiones de GEI en el municipio, con una metodología que facilita la adquisición de los datos. Con adaptaciones locales a las fuentes disponibles y estructurada en 6 apartados, nos centramos en el A2. *Contribución Local al Cambio Climático Global*, que es un indicador común europeo y base para la realización del inventario de HdC, cuyo cálculo permite obtener una aproximación cuantitativa del volumen total de GEI que se emiten a la atmósfera anualmente. Los límites de recopilación son:

- En energía eléctrica, los datos corresponden al consumo por habitante extraído del consumo provincial de energía eléctrica del Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha.
- En energía de combustibles, los datos se corresponden al consumo por habitante extraído del consumo de combustibles petrolíferos (Gasolina 95 I.O., Gasolina 98 I.O., Gasóleo A, B y C) de la provincia del Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha.
- En transportes los datos del parque municipal de vehículos procedentes del Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha, se separan según categoría de vehículos según clasificación de los vehículos según Directivas 2002/24/CE, 2003/37/CE, y 2007/46/CE, así como por el Real Decreto 750/2010 (Unión Europea, 2002, 2003, 2007; Gobierno de España, 2010) y se obtiene el consumo medio por categorías de vehículos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2023), se obtiene el factor de emisión por categorías ($\text{kg CO}_2/\text{l}$) de la base de datos de la Calculadora de HdC de alcance 1 + 2 del MITECO. La distancia recorrida, se extrae del número de desplazamientos y distancia de desplazamientos del estudio “Calculo de los Indicadores 10, 19 y 20 de la Red de Ciudades y Pueblos Sostenibles de CLM” (Diputación Provincial de Albacete, 2010).
- En Agricultura, los datos proceden de la Delegación de la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM) y del Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha, en relación con el censo ganadero y la superficie agrícola útil.
- En Residuos, los datos proceden del Consorcio de Medio Ambiente de la Diputación Provincial de Albacete y Consejería de Desarrollo Sostenible de JCCM, vinculados a residuos sólidos urbanos, peligrosos y reciclaje.
- En Industria, datos del registro de emisiones y fuente contaminantes (PRTR) de la Agencia Regional de Protección del Medio Ambiente de la JCCM y MITECO.

Herramienta Secundaria: *Calculadora de HdC de alcance 1 + 2* (MITECO, 2022), como herramienta de apoyo para actualizar los factores emisivos anualmente de su apartado específico. Nace derivada del Real Decreto 163/2014 para poder llevar a cabo el registro de las HdC de organizaciones.

Para el estudio de los sumideros o la superficie comarcal que tiene capacidad de absorción de dióxido de carbono, se utilizará la combinación de la información desarrollada y las metodologías de dos herramientas:

- a. *Herramienta de cálculo para el Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático* (FEMP, 2009). En el apartado A2. *Contribución local al cambio climático global* incluye el estudio de los sumideros, donde atribuye una captación media de carbono a diversas especies (sobre todo agrícolas) desde el mismo momento en que son plantados.
- b. *Calculadora de Absorciones Ex Ante de Dióxido de Carbono de las Especies Forestales Arbóreas Españolas* (MITECO 2022), en el apartado de Factores de Absorción, se extrae la absorción de CO₂ asociada a la biomasa arbórea según especies forestales.

Los límites de recopilación son:

- Cómputo de arbolado del territorio que se definirá por especies agroforestales y que pertenecen al territorio bajo una clasificación del Departamento de Producción Vegetal de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes y Biotecnología (ETSIAMB), con un valor de absorción en toneladas de CO₂ por hectárea anuales.
- Información del centro cartográfico de CLM, visores temáticos para la determinación de las diferentes capas o especies agroforestales representadas en la Web Mapping Application: Sistema de Información de Ocupación del Suelo a escala 1:25000 (SIOSE, 2015) o SIOSE 2018 AR, las capas de estudio (211-Arroz, 212/210-Cultivos herbáceos, 222-Frutales Cítricos, 223-Frutales No Cítricos, 231-Viñedo, 232-Olivar, 241-Otros Leñosos u Otros Cultivos permanentes, 251-Viñedo-Olivar, 252-Viñero-Frugal, 253-Fruto Seco-Viñedo, 255-Fruto Seco-Olivar, 256-Olivar-Frugal, 290-Prados, 300-Pastizal, 312-Frondosas Caducifolias, 313-Frondosas Perennifolias, 316-Coníferas y 320-Matorral, 224-Frutos Secos, 232-Olivar), tanto para la superficie como para la absorción de los sumideros.
- En el estudio de los sumideros por comarca y su absorción media por hectárea, concluimos que los plazos de publicación de datos oficiales de información llevan a saltos cuantitativos y cualitativos de los resultados. Las variaciones que muestra este estudio en

los datos comarcales del secuestro de carbono por hectáreas son el reflejo de las transformaciones del suelo agrícola (por especies arbóreas como frutal seco y olivo en expansión) además de las variaciones sufridas en la superficie agroforestal debido a diversos incendios; que cada vez son más recurrente y de mayor severidad. A pesar de ello, los resultados son óptimos, ya que todas las comarcas disponen de grandes superficies captadoras de carbono, independientemente de su categoría (forestal o agrícola).

- La superficie consumida por el fuego en los incendios no es tenida en cuenta, fuente de incendios JCCM. Las tierras forestales quemadas tienen una capacidad reducida para capturar carbono en el corto plazo y no deben contabilizarse como sumideros hasta que el proceso de regeneración forestal esté lo suficientemente avanzado para garantizar una captura neta de CO₂ (FAO, 2020). Según el IPCC (2019), cuando los ecosistemas forestales son perturbados, como en el caso de incendios, su capacidad para actuar como sumideros de carbono se reduce significativamente hasta que la regeneración del bosque permite la reabsorción del carbono emitido.
- Información del Indicador 15. Superficie Ambiental del panel de Indicadores de Sostenibilidad Local (ISL) de la provincia de Albacete del Observatorio Provincial de Sostenibilidad de Albacete (OPSA).

En periodo temporal seleccionado del 2012 al 2021, se mostrarán los resultados de forma trianual para los años 2012, 2015, 2018 y 2021 para todos los parámetros del cálculo de la HdC, los sumideros y el balance de carbono de las siete comarcas agrarias.

3. RESULTADOS

Se exponen las emisiones de GEI de seis sectores (Alcance 1: combustibles y transportes; Alcance 2: energía eléctrica; Alcance 3: industria, agricultura y residuos), para las 7 comarcas. En la tabla 1, se observan las emisiones totales de GEI por comarca y su reparto porcentual por sectores emisivos al 2012. La comarca de Almansa, Centro y Hellín tienen los mayores porcentajes de emisiones totales vinculadas al Alcance 1+2, un 87 %. En contraposición la comarca de la Sierra de Alcaraz tiene el menor porcentaje de emisiones totales vinculadas al Alcance 1+2, un 67 %. Si analizamos las emisiones de GEI por habitante, las mayores emisiones por habitante vinculadas al Alcance 3 pertenecen a la comarca de Sierra de Alcaraz y las menores a la comarca Centro.

Tabla 1. Porcentajes de emisiones totales por sectores de GEI de las comarcas al 2012.

Comarcas							Total emisiones de GEI
	Energía	Combustible	Transporte	Industria	Agricultura	Residuos	t CO ₂ eq
01.Mancha	23%	23%	26%	12%	14%	2%	631.201,63
02.Manchuela	25%	26%	31%	0%	16%	2%	256.721,81
03.Sierra de Alcaraz	20%	21%	26%	0%	31%	2%	115.653,55
04.Centro	30%	30%	27%	3%	8%	2%	1.489.805,31
05.Almansa	29%	30%	28%	3%	9%	2%	344.985,75
06.Sierra del Segura	22%	23%	28%	6%	17%	4%	155.267,58
07. Hellín	28%	29%	30%	1%	10%	2%	347.595,36
Año de estudio el 2012							

En la tabla 2, se observan las emisiones totales de GEI por comarca y su reparto porcentual por sectores emisivos al 2015. La comarca Centro y Hellín tiene el mayor porcentaje de emisiones totales vinculadas al Alcance 1+2, un 86 % y la comarca de Almansa tiene el menor porcentaje de emisiones totales vinculadas al Alcance 1+2, un 65 % . Si analizamos las emisiones de GEI por habitante, las mayores emisiones por habitante vinculadas al Alcance 3, pertenecen a la comarca de Sierra de Alcaraz y las menores a la comarca de Centro.

Tabla 2. Porcentajes de emisiones totales por sectores de GEI de las comarcas al 2015.

Comarca							Total emisiones de GEI
	Energía	Combustible	Transporte	Industria	Agricultura	Residuos	t CO ₂ eq
01.Mancha	18%	21%	32%	13%	13%	3%	683.461,56
02.Manchuela	21%	26%	33%	1%	16%	3%	254.262,64
03.Sierra de Alcaraz	17%	21%	28%	0%	31%	3%	113.533,74
04.Centro	26%	31%	29%	1%	8%	4%	1.486.067,69
05.Almansa	18%	22%	25%	27%	6%	3%	473.384,65
06.Sierra del Segura	20%	24%	29%	6%	18%	3%	140.800,75
07. Hellín	24%	29%	33%	0%	10%	4%	352.335,68
Año de estudio el 2015							

En la tabla 3, se observan las emisiones totales de GEI por comarca y su reparto porcentual por sectores emisivos estudiados al 2018. La comarca Centro y Hellín tiene el mayor porcentaje de emisiones totales vinculadas al Alcance 1+2, un 86 % y la comarca de Almansa y Sierra de Alcaraz tiene el

menor porcentaje de emisiones totales vinculadas al Alcance 1+2, un 62 %. Si analizamos las emisiones de GEI por habitante, las mayores emisiones por habitante vinculadas al Alcance 3, pertenecen a la comarca de Sierra de Alcaraz y las menores emisiones provienen de la comarca Centro.

Tabla 3. Porcentajes de emisiones totales por sectores de GEI de las comarcas al 2018.

Comarca							Total emisiones de GEI t CO ₂ eq
	Energía	Combustible	Transporte	Industria	Agricultura	Residuos	
01.Mancha	18%	24%	25%	13%	17%	3%	669.690,71
02.Manchuera	19%	24%	27%	1%	27%	3%	291.116,82
03.Sierra de Alcaraz	17%	21%	25%	0%	34%	3%	111.962,41
04.Centro	26%	34%	26%	2%	8%	4%	1.521.499,32
05.Almansa	17%	22%	22%	30%	6%	2%	497.139,95
06.Sierra del Segura	19%	24%	26%	9%	19%	3%	142.723,54
07. Hellín	24%	32%	30%	1%	10%	4%	348.676,65
Año de estudio el 2018							

En la tabla 4, podemos observar las emisiones totales de GEI por comarca y su reparto porcentual por sectores emisivos al 2021. La comarca Centro tiene el mayor porcentaje de emisiones totales vinculadas al Alcance 1+2, un 84 % y la comarca de Almansa tiene el menor porcentaje de emisiones totales vinculadas al Alcance 1+2, un 55 % . Si analizamos las emisiones de GEI por habitante, se observa que las mayores emisiones por habitante vinculadas al Alcance 3, corresponden a la comarca de la Manchuela y las menores emisiones provienen de la comarca de Centro.

Tabla 4. Porcentajes de emisiones totales por sectores de GEI de las comarcas al 2021.

Comarca							Total emisiones de GEI t CO ₂ eq
	Energía	Combustible	Transporte	Industria	Agricultura	Residuos	
Mancha	13%	25%	36%	3%	22%	1,0%	578.203
Manchuera	11%	21%	30%	2%	35%	0,8%	300.780
Sierra de Alcaraz	11%	20%	31%	0%	37%	0,9%	105.945
Centro	18%	33%	32%	4%	12%	1,2%	1.418.093
Almansa	11%	20%	25%	37%	7%	0,7%	513.846
Sierra del Segura	11%	21%	30%	9%	27%	0,8%	145.717
Hellín	15%	27%	33%	1%	24%	0,9%	374.699

En la figura 2, se muestran las emisiones totales por comarca, donde la comarca con mayores variaciones en el periodo 2012-2021 es Almansa, cuyas emisiones han ido en aumento, un 49 % en 2021 respecto al 2012. Se han reducido las emisiones a lo largo del periodo 2012-2021 en la comarca Centro, que mitigó sus emisiones en un 5 %; en la Sierra de Segura que se redujeron sus emisiones en un 6 % y en la comarca Sierra de Alcaraz, que mitigó sus emisiones en un 8 %, todas en el año 2021 respecto al 2012.

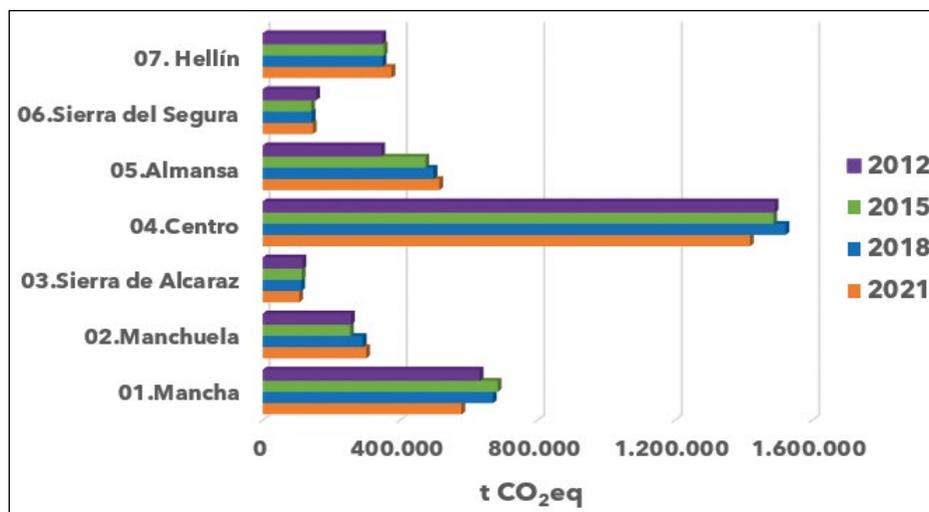


Figura 2. Emisiones totales por comarcas de la provincia en los años de estudio.

En la figura 3, la HdC por habitante de las comarcas muestran una mayor información al incluir los tres alcances, junto con la HdC provincial como referencia. La comarca de Almansa ha ido incrementando su HdC por habitante gradualmente, superando los valores provinciales desde 2015. La HdC por habitante de la comarca Mancha ha ido fluctuando a lo largo de los años situándose por debajo del valor de la HdC provincial en 2021. Las comarcas de Manchuela, Sierra de Alcaraz y Sierra de Segura han mantenido una HdC por habitante superiores a los valores provinciales entre 2012-2021. Las comarcas Centro y Hellín se mantiene del 2012 al 2021 con valores inferiores a la HdC per cápita de la provincia.

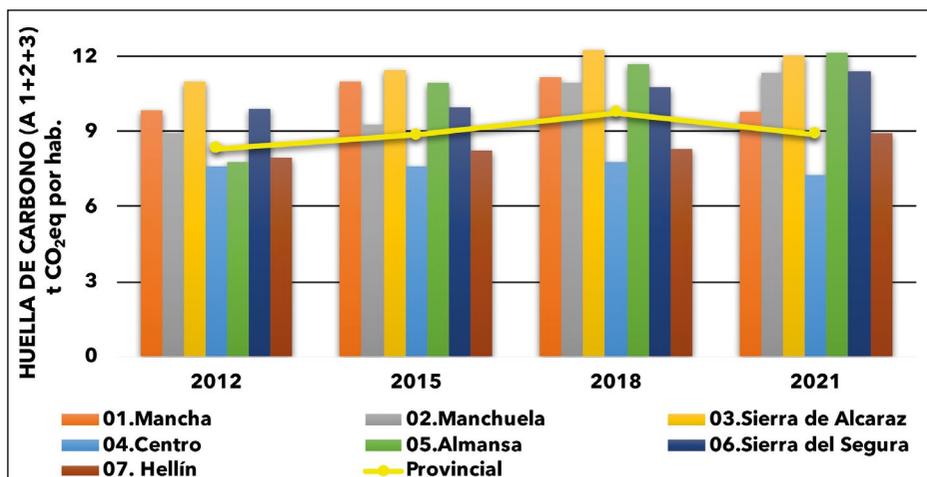


Figura 3. HdC (Alcance 1+2+3) de las 7 comarcas en 2012, 2015, 2018 y 2021.

Si analizamos los resultados del estudio de los sumideros de carbono para las 7 comarcas de la provincia de Albacete, por años (2012, 2015, 2018 y 2021) dentro del periodo 2012-2021 en la tabla 5. Las variaciones producidas en las emisiones absorbidas entre 2015-2018, vienen marcadas principalmente por una reducción de la superficie agroforestal considerada sumidero, sobre todo referente a la superficie de matorral y de prados según las fuentes SIOSE 2015 y SIOSE 2018 AR; entre el periodo 2018-2021 las variaciones se producen principalmente por la actualización de los parámetros de absorción media anual por especie, especialmente las relacionadas con árboles frutales, frutales no cítricos y frutos secos, según la calculadora del MITECO.

Tabla 5. Absorción total y por hectárea de las 7 comarcas al 2012, 2015, 2018 y 2021.

Comarca	Emisiones retenidas (t CO ₂ eq)	Absorción media de la superficie total (t CO ₂ /ha)	Emisiones retenidas (t CO ₂ eq)	Absorción media de la superficie total (t CO ₂ /ha)	Emisiones retenidas (t CO ₂ eq)	Absorción media de la superficie total (t CO ₂ /ha)	Emisiones retenidas (t CO ₂ eq)	Absorción media de la superficie total (t CO ₂ /ha)
01.Mancha	1.095.508	3,71	1.292.435	4,38	701.561	2,38	590.366	2,00
02.Manchuela	687.412	4,22	881.276	5,41	562.153	3,45	365.810	2,25
03.Sierra de Alcaraz	1.173.692	6,40	1.238.605	6,75	652.171	3,50	397.831	2,13
04.Centro	1.327.889	3,75	1.610.252	4,55	1.010.337	2,88	797.972	2,27
05.Almansa	581.935	4,52	680.111	5,28	376.545	2,92	254.619	1,98
06.Sierra del Segura	1.549.669	7,14	1.856.382	8,55	1.006.756	4,64	481.311	2,22
07. Hellín	862.424	5,74	14.420.593	7,55	586.664	3,90	359.961	2,40
	Año de estudio el 2012		Año de estudio el 2015		Año de estudio el 2018		Año de estudio el 2021	

Las emisiones retenidas para el año 2012, muestran que las comarcas de Sierra de Segura y de Alcaraz tienen la mayor absorción 7,1 y 6,4 toneladas de CO₂ por hectárea cada una, ya que disponen del 91 % y 97 % respectivamente, de superficie que es considerada de captura de CO₂ o sumidero de carbono. La comarca Mancha es la que tiene una menor absorción, tan solo 3,7 toneladas de CO₂ por hectárea, a pesar de disponer de cerca del 92 % de su superficie captadora de CO₂.

Las emisiones retenidas al 2015 muestran que la comarca de Sierra de Segura y Hellín tiene la mayor absorción, unas 8,5 y 7,5 toneladas de CO₂ por hectárea, respectivamente. La comarca Mancha es la que tiene una menor absorción, con tan solo 4,4 t CO₂ por hectárea, a pesar de tener cerca del 97 % de su superficie considerada como sumidero de carbono.

Las emisiones retenidas al 2018 muestran leves variaciones en los resultados de las comarcas, manteniendo a la comarca de Sierra de Segura y Hellín con la mayor absorción, unas 4,6 y 3,9 toneladas de CO₂ por hectárea, respectivamente. Y la comarca Mancha sigue siendo la de menor absorción, con tan solo 2,4 toneladas de CO₂ por hectárea.

Las emisiones retenidas al 2021 muestran leves variaciones en los resultados, la comarca de Hellín y Sierra de Segura tienen la mayor absorción, unas 2,4 y 2,3 toneladas de CO₂ por hectárea. Y la comarca Mancha y Almansa con la menor absorción, tan solo 2 t CO₂ /ha., a pesar, de que el 70 % y 74 % de su superficie es considerada como sumidero de carbono.

Teniendo en cuenta la figura 3 de HdC (Alcance 1+2+3) de las 7 comarcas en 2012, 2015, 2018 y 2021; y la figura 4 de Balance de carbono por habitante de las 7 comarcas en 2012, 2015, 2018 y 2021, se observa que, en el 2012, el saldo del balance de carbono para todas las comarcas (excepto comarca Centro) tiene un valor negativo, su superficie fija más CO₂ del que emite con sus actividades de forma anual. Las comarcas de Sierra de Alcaraz y Sierra de Segura tienen los valores más altos de absorción de GEI, a pesar de tener las huellas de carbono más elevadas. A nivel provincial el saldo es de -9,8 toneladas de CO₂ por habitante, ya que los sumideros totales retienen más emisiones de GEI que las que generan las actividades a nivel provincial.

En el 2015, se observa en la figura 3 y 4, que el saldo del balance de carbono para todas las comarcas tiene un valor negativo, su superficie fija más CO₂ del que emite con sus actividades de forma anual. Hay un aumento generalizado de los valores de huella y balance de carbono en todas las comarcas, destacan las comarcas de Sierra de Segura y Sierra de Alcaraz tienen los valores más altos en captura de GEI, pero esta última tiene la huella más elevada de CO₂ por habitante.

En el 2018, se observa en la figura 3 y 4, que el saldo del balance de carbono para todas las comarcas (excepto Centro y Almansa) tienen un valor negativo, su superficie fija más CO₂ del que emite con sus actividades de forma anual. Hay un aumento generalizado de los valores de huella y una

reducción significativa en el balance de carbono de todas las comarcas, destacando Sierra de Segura y Sierra de Alcaraz que tienen los valores más altos en captura de GEI, en contraposición, la comarca Centro y la comarca Almansa que emiten más GEI que pueden capturar sus sumideros. A nivel provincial el balance de carbono tiene un saldo de -2,8 toneladas de CO₂ por habitante ya que los sumideros totales retienen más emisiones de GEI que las que genera las actividades a nivel provincial.

En el 2021, se observa en la figura 3 y 4, que el saldo del balance de carbono se ha reducido de forma generalizada y a nivel provincial el saldo es de 0,5 toneladas de CO₂ por habitante, ya que sus actividades generan más emisiones de GEI anuales de las que sus sumideros pueden fijar a nivel provincial. Por comarcas, destacamos Sierra de Segura y Sierra de Alcaraz tienen los saldos negativos como territorios más capturadores que emisores de GEI, mientras que Almansa y Centro tienen los saldos positivos como territorios más emisores que capturadores de GEI.

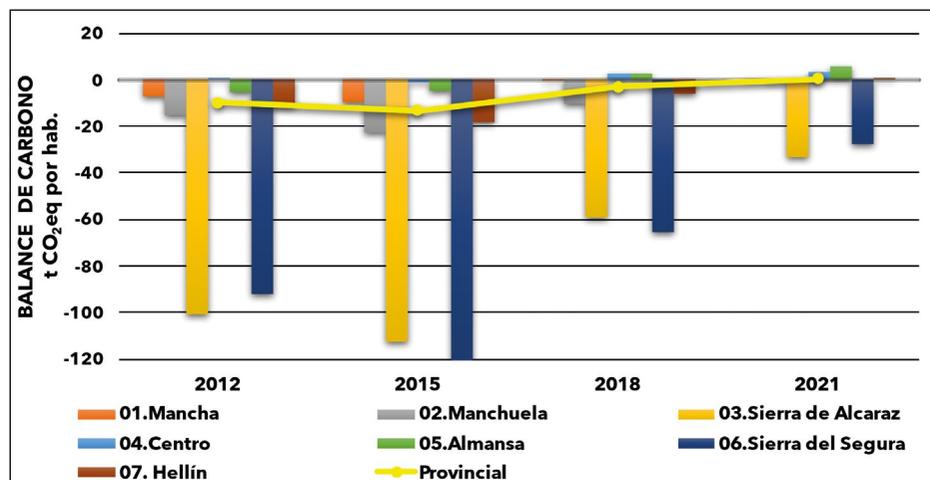


Figura 4. Balance de carbono por habitante de las 7 comarcas en 2012, 2015, 2018 y 2021.

En la figura 4, se presentan el balance de carbono de las 7 comarcas, junto con el balance de carbono provincial (calculado bajo la misma metodología para su comparabilidad). Durante el 2012, 2015 y 2018 las comarcas de Mancha, Centro y Almansa se mantienen por debajo del valor provincial en relación con el balance de carbono. En todo el periodo 2012-2021 destacan las comarcas Sierra de Segura y Sierra de Alcaraz que han mantenido un balance de carbono por habitante muy superior a los valores provinciales, como los territorios de mayor fijación de GEI. Los resultados globales del balance de carbono son negativos ya que pueden fijar más emisiones por habitante de las que son capaces de producir con sus actividades directas e indirectas las comarcas. Seis comarcas tienen unos valores medios nega-

tivos entre 2012-2021, fijan más que emiten y la comarca Centro tiene unos valores medios positivos en el periodo de 2012 a 2021, emitiendo más GEI de los que puede capturar.

4. DISCUSION Y CONCLUSIONES

El estudio del balance de carbono en las siete comarcas agrarias de la provincia de Albacete revela importantes diferencias en las emisiones de GEI y la capacidad de absorción de carbono de cada una. A nivel provincial, se observa una tendencia positiva en términos de mitigación del cambio climático, con seis de las siete comarcas logrando un balance de carbono negativo en los años del período estudiado (2012-2021). Esto indica que absorben más carbono del que emiten, contribuyendo favorablemente a los objetivos climáticos tanto a nivel regional como nacional. La gestión sostenible del territorio es un aspecto crucial que debe abordarse, especialmente ante las variaciones de la superficie forestal, cambios de usos del suelo y las transformaciones de tierras agrícolas, que pueden amenazar a la capacidad de las comarcas para funcionar como sumideros de carbono.

Existen disparidades notables entre comarcas, las comarcas de Sierra de Segura y Sierra de Alcaraz destacan por su alta capacidad de fijación de carbono, gracias a su superficie agroforestal y menores emisiones vinculadas a la actividad socioeconómica comparada con otras comarcas. Por otro lado, las comarcas más pobladas como Centro, Almansa y Hellín presentan mayores niveles de emisiones, principalmente derivadas de actividades industriales, del sector energético y del transporte.

El análisis de las emisiones vinculadas a los tres alcances del Protocolo de GEI o GHG Protocol, muestra que las comarcas con mayor actividad en el sector industrial y sector primario generan una mayor huella de carbono per cápita, lo que plantea la necesidad de adoptar estrategias de gestión sostenible que prioricen la restauración y conservación de los ecosistemas. La huella de carbono per cápita ha aumentado en cinco comarcas durante el periodo 2012-2021, particularmente en Almansa, que mostró un incremento significativo de sus emisiones y la comarca con mayor huella de carbono a nivel provincial en 2021.

A nivel provincial, el balance de carbono experimentó una evolución negativa hacia el año 2021, con un saldo de 0,5 toneladas de CO₂ por habitante, lo que refleja que las emisiones superaron la capacidad de absorción de los sumideros de carbono provinciales. Los resultados ponen de manifiesto la importancia de una gestión territorial diferenciada y enfocada en fortalecer las capacidades de los sumideros de carbono, especialmente en zonas rurales con gran potencial de absorción y en zonas vulnerables a la desertificación o degradación del suelo. Así como la necesidad de políticas de reduc-

ción de emisiones en las áreas más urbanizadas con la implementación de estrategias más robustas para la reducción de emisiones en sectores clave, como el transporte, primario e industria. La clave para un futuro sostenible reside en la combinación de políticas de conservación, gestión territorial e impulsar acciones para la reducción de emisiones a nivel local, alineadas con las metas nacionales y europeas de neutralidad climática para 2050.

Las calculadoras o herramientas estandarizadas, comparables y de acceso público, en líneas generales tienen en cuenta los Alcances 1 y 2 (herramienta del MITECO), cuyos resultados de huella y balance de carbono de las 7 comarcas incluyendo solamente los Alcances 1+2 son más estables e inferiores y con menores variaciones per cápita entre periodos de estudio, ya que dejarían fuera las emisiones vinculadas a las actividades económicas de cada territorio que se incluye en el Alcance 3. La combinación de herramientas de cálculo utilizadas en este estudio proporciona una visión detallada de las interacciones entre emisiones y sumideros de carbono a nivel comarcal, ofreciendo más información de múltiples sectores claves para el territorio, generando datos cruciales para la planificación sostenible y la toma de decisiones orientadas a mitigar el cambio climático en la provincia de Albacete.

AGRADECIMIENTOS

Al personal investigador del Observatorio Provincial de Sostenibilidad de Albacete, por los aportes, apoyos e información facilitada, al igual que al personal de todas las fuentes de información consultadas, locales y regionales (ayuntamientos y JCCM).

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2023). *Base de datos de la AEMA sobre políticas y medidas nacionales integradas en materia de clima y energía en Europa*. <https://pam.apps.eea.europa.eu>
- Agencia Regional de Protección del Medio Ambiente. (2023). *Registro de emisiones y fuentes contaminantes (PRTR)*. <https://prtr-es.es/>
- Álvarez Peláez, S. (2010). *Huella de Carbono Municipal*. Ponencia de Congreso Nacional de Medio Ambiente.
- Boletín Oficial del Estado. (2021). “*Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*”. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447
- Canadell J. y Carlson D. (2017). “*El balance anual global del carbono*” Vol. 66 (1) – 2017. Clima. Organización Mundial Meteorológica.

- Cobo, C. A. R., Castro, E. J. J., & Zamudio, C. A. (2020). *Análisis y comparación de las metodologías de cálculo de GEI en el contexto urbano*. La Técnica: Revista de las Agrociencias. ISSN 2477-8982, (23), 45-54.
- Comisión Europea (2019) “Pacto Verde Europeo”. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es
- Diputación Provincial de Albacete. (2010). *Cálculo de los indicadores 10, 19 y 20 de la Red de Ciudades y Pueblos Sostenibles de CLM*. Observatorio Provincial de Sostenibilidad de Albacete.
- Estatuto de Autonomía de Castilla-La Mancha. (1982). *Título III: Organización territorial de la Región*. Ley Orgánica 9/1982, 10 de agosto. B.O.E., núm. 195, de 16 de agosto de 1982, pp. 21627-21632
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2020) “*The Global Forest Resources Assessment*”. Informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP, 2009). “*Herramienta de cálculo para el Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático*”. Red Española de Ciudades por el Clima y Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y Marino.
- Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP, 2009). “*Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático*”. Ed. FEMP, 2009.
- Gobierno de España. (2010). Real Decreto 750/2010, de 4 de junio, sobre homologación de vehículos de motor, remolques y semirremolques. B.O.E, núm. 159, 1 de julio de 2010, pp. 58486-58559.
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., *et al.* (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645-11650.
- Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha. (2024). *Energía eléctrica. Combustibles petrolíferos Censo Ganadero. Superficie Agrícola*. <https://estadistica.castillalamancha.es/>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2023). *Guía de consumos y emisiones por año*. <https://www.idae.es>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019) Informe Especial sobre el Cambio Climático y la Tierra (2019), Informes del IPCC.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2(1), 2391.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, MAPAMA (2011). “*Tomo 4. Provincia de Albacete. Caracterización de las comarcas agrarias de España*”. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/servicios/publicaciones/TOMO%204%20Albacete%20primeras%20p%C3%A1ginas_tcm30-101352.pdf
- Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, MAPAMA (2022). “*Censo Agrario 2020*”. INE. <https://www.ine.es/daco/daco42/agricultura/CA20Municipiosycomarcas.xlsx>

- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico (2020). “Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050”. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/ELP_2050.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico (2021). “Estrategia de Transición Justa”. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/transicion-justa/Estrategia_Transicion_Justa_Def.PDF
- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico (2021). “Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030”. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico (2021). “Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030”. <https://www.boe.es/boe/dias/2021/03/31/pdfs/BOE-A-2021-5106.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2022). *Calculadora de Absorciones Ex Ante de Dióxido de Carbono de las Especies Forestales Arbóreas Españolas*. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.html>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2022). *Calculadora de huella de carbono de alcance 1 + 2*. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.html>
- Pérez-Bustos, G. M. (2016). “Aplicación y evaluación de indicadores de desarrollo sostenible en el territorio. Provincia de Albacete”. Cap II: Contribución al Cambio Climático (pp. 109-133) Eds. Académica Española.
- Puppim de Oliveira, J. A., Balaban, O., Doll, C. N. H., et al. (2013). Cities and climate change: Responding to an urgent agenda. *Journal of Cleaner Production*, 58, 1-11.
- Sala, Á. G., Hitos, V. M., Collado, F. M., & Manzano, J. V. (2010). Estudio de herramientas adecuadas para medir las emisiones de GEI municipales. Congreso Nacional de Medio Ambiente. Madrid.
- Sistema de Información de Ocupación del Suelo (SIOSE, 2015 y 2018). *Usos de suelo*. Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España. <https://www.siose.es/usos-de-suelo>
- Sustainable Development Solutions Network (SDSN) y Fondazione Eni Enrico Mattei (SDSN y FEEM, 2019). “Hoja de Ruta hacia 2050: una guía práctica para una Europa próspera baja en carbono”. <https://roadmap2050.report/static/files/roadmap-to-2050.pdf>
- UNFCCC. (1997). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change- <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/cop3/107a01.pdf#page=24>
- UNFCCC. (2015). *Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change.

- Unión Europea. (2002). Directiva 2002/24/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 18 marzo de 2002, relativa a la homologación de vehículos de motor de dos o tres ruedas. Diario Oficial UE, L 124, 9 de mayo de 2002, pp. 1-44.
- Unión Europea. (2003). Directiva 2003/37/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 26 mayo de 2003, relativa a la homologación de tractores agrícolas o forestales. Diario Oficial UE, L 171, 9 de julio de 2003, pp. 1-94.
- Unión Europea. (2007). Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 septiembre de 2007, se establece un marco para la homologación de los vehículos de motor y sus remolques. Diario Oficial UE, L 263, 9 de octubre de 2007, pp. 1-160.