

Desarrollo de una herramienta integral de gestión de gases de efecto invernadero para la toma de decisión contra el cambio climático a nivel regional y local en la Comunitat Valenciana

Edgar Lorenzo Sáez

Investigador. Universitat Politècnica de València (UPV)

edlosae@upv.es

Resumen

El cambio climático es uno de los mayores problemas que el ser humano ha tenido que afrontar en términos ambientales, económicos y sociales. La mitigación y la adaptación al cambio climático requiere de información y conocimientos a todas las escalas competenciales. Sin embargo, actualmente no se cuenta con herramientas rigurosas y precisas que permitan tener un diagnóstico fiable sobre la realidad de los territorios donde se tienen que concretar las acciones de mitigación y adaptación, es decir, a escala local y regional. Además, los recursos son limitados y se debe tener la capacidad para identificar oportunidades que maximicen el impacto en positivo de la utilización de los recursos disponibles para cumplir con los objetivos establecidos en acuerdos nacionales e internacionales.

Por ello esta tesis doctoral tiene como objetivo general desarrollar una herramienta integral de gestión de gases de efecto invernadero para la toma de decisión contra el cambio climático a nivel regional y local con implementación en la Comunitat Valenciana. La consecución de este objetivo implica poner a disposición de las administraciones públicas y de los tomadores de decisión, una herramienta que permite identificar los focos de emisión relevantes en términos de emisiones con alta resolución espacial y temporal. Esto permite luchar de manera activa y eficiente contra el cambio climático a diferentes escalas operativas. Para ello la tesis ha desarrollado metodologías tanto bottom-up como top-down así como un enfoque híbrido entre ambos, para la cuantificación de emisiones GEI, adaptando y ha mejorado metodologías estandarizadas internacionalmente para que sean aplicables a escala local y sectorial.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Cambio climático y gobernanza climática

1.1.1 Cambio climático

La concentración actual de CO₂ atmosférico es la más alta de los últimos tres millones de años, alcanzando un promedio mundial de 421 ppm en abril de 2021 (NOAA 2021). Este gas junto a las altas concentraciones de otros gases de efecto invernadero (GEI) como el CH₄ o el N₂O, provocan el calentamiento global observado desde mediados del siglo XX. Estas y otras variaciones del estado del clima, identificables en variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, persistentes durante largos períodos de tiempo, es lo que la comunidad científica a nivel mundial ha definido como cambio climático (IPCC 2013) que afecta tanto a los sistemas naturales como a los humanos (Hoegh-Guldberg et al. 2019).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

El cambio climático afecta a todas las regiones del mundo (Allen et al. 2018). Los casquetes polares se están derritiendo y el nivel del mar está subiendo (Hoegh-Guldberg et al. 2019). En algunas regiones, los fenómenos meteorológicos extremos y las inundaciones son cada vez más frecuentes, y en otras hay olas de calor y sequías que provocan, entre otras catástrofes naturales, incendios forestales que además retroalimentan el ciclo con la emisión de grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) que anteriormente habían fijado mediante la acción fotosintética (Binkley et al. 2002). Además, entre la comunidad científica existe un consenso a nivel mundial sobre la previsible intensificación de las consecuencias en las próximas décadas (Hoegh-Guldberg et al. 2019). Concretamente, la zona mediterránea se está convirtiendo en una región más seca que la hace todavía más vulnerable a la sequía y a los incendios (European Commission 2021a).

1.1.2 Objetivos de mitigación del Cambio Climático

Para minimizar el impacto del cambio climático, 195 países firmaron el Acuerdo de París (Paris Agreement 2016). Los firmantes acordaron “mantener el aumento de la temperatura media global en la superficie muy por debajo de los 2° C, y limitar el

aumento a 1,5° C, ya que esto reduciría significativamente la riesgos e impactos del cambio climático". Para lograr este objetivo, las emisiones globales deberían alcanzar su punto máximo lo antes posible y la neutralidad de carbono debería lograrse en la segunda mitad del siglo (EEA 2020).

La Unión Europea (UE) se alinea con estos objetivos y se ha comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 80-95% para 2050 en comparación con los niveles de 1990. Para ello se establece un objetivo a medio plazo de reducción en un 40% de emisión gases efecto invernadero (EEA 2020). Este objetivo se aplica legislativamente en tres Reglamentos:

- a) Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (Emissions Trading System o ETS): EU ETS es una de las piedras angulares de la política de lucha contra el cambio climático de la UE y un instrumento esencial para reducir de forma económicamente eficaz las emisiones de gases de efecto invernadero. Es el principal mercado de carbono del mundo y el de mayor tamaño. El régimen de comercio de derechos de emisión de la UE se aplica en todos los países de la Unión, además de Islandia, Liechtenstein y Noruega (Estados AELC del EEE). Actualmente limita las emisiones de más de 10.000 instalaciones del sector energético, de la industria manufacturera y de las compañías aéreas que operan entre esos países. En total, las instalaciones y compañías aéreas afectadas, suponen en torno al 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE (European Commission 2021b).
- b) Reglamento de reparto del esfuerzo y los objetivos de reducción de emisiones de los Estados miembros. Establece objetivos nacionales de reducción de emisiones para 2030 para todos los Estados miembros, que oscilan entre el 0% y el -40% con respecto a los niveles de 2005. España: Reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero de los Estados miembros en 2030 en relación con sus niveles de 2005 determinados de conformidad con el artículo 4, apartado 3: España -26% (European Union 2018).
- c) Reglamento sobre el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura. El 14 de mayo de 2018, el Consejo adoptó el Reglamento sobre la inclusión de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero resultantes del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (Land Use, Land-Use Change and Forestry o LULUCF) en el marco de actuación en materia de clima y energía hasta 2030, que previamente había votado el Parlamento Europeo el 17 de abril. El Reglamento establece un compromiso vinculante por el que cada Estado miembro debe asegurarse de que el cómputo de las emisiones generadas por el uso de la tierra se compense en su totalidad por una absorción equivalente de CO₂ de la atmósfera mediante la adopción de medidas en este sector. Esto es lo que se conoce como la "norma de deuda cero". Aunque los Estados miembros ya asumieron parcialmente ese compromiso de forma individual hasta 2020 dentro del Protocolo de Kioto, ahora el Reglamento lo traslada por primera vez a la legislación de la UE durante el periodo 2021-2030 (European Commission 2021c).

De este modo, todos los sectores contribuirán a la consecución del objetivo del 40% mediante la reducción de las emisiones, así como mediante el aumento de las absorciones (European Commission 2021d).

Sin embargo, la Comisión Europea publicó en 2019 la Comunicación del Pacto Verde Europeo (o European Green Deal) en cuyo objetivo de reducción de emisiones de GEI

para 2030 se ha incrementado al 50-55% en comparación con los niveles de 1990 (European Commission 2019). Para monitorear el cumplimiento de este objetivo, los firmantes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) deben informar anualmente sus emisiones de GEI a través de inventarios de GEI (European Commission 2021e). Esto pone de manifiesto la importancia que tienen los inventarios de emisiones a la hora de evaluar y de actuar en la mitigación de las emisiones y por tanto la necesidad de realizar inventarios de emisiones rigurosos.

1.1.3 Gobernanza climática

El término gobernanza, hace referencia a instituciones o conjunto de normas, procedimientos y prácticas implementadas colectivamente para resolver un problema compartido u otras cuestiones que deben gestionarse de manera eficaz (European Commission 2020). En este sentido, Groff (2020) define la gobernanza climática como la gestión eficaz del sistema climático global con el objetivo de mantener a la humanidad y toda su gama de ecosistemas existentes, diversidad de especies y recursos naturales, dentro de un “espacio operativo seguro”.

La responsabilidad histórica de la Unión Europea en materia de emisiones GEI, los escenarios pronosticados por el Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático (IPCC 2014), y la voluntad de la Unión Europea de convertirse en el líder global en materia climática, propicia el escenario ideal para que la Unión Europea se atribuya un papel fundamental en la Gobernanza Climática global (Lázaro Touza 2011, European Commission 2019).

a) Elementos clave de la gobernanza climática

Los elementos necesarios de un sistema de gobernanza climática eficaz son:

- Responsabilidad climática: Identificación de la responsabilidad climática (Lázaro Touza and Gómez de Agreda 2016) mediante cuantificación de las emisiones GEI de todos los focos de emisión.
- Dominio del sujeto (cambio climático): tener en consideración todo el alcance. Tener cuantificado el escenario base para saber el punto de partida en cuanto a emisiones GEI para saber dónde tenemos las opciones de mejora. Poder contemplar diferentes escenarios para tomar decisiones eficientes argumentadas en resultados cuantitativos (WEF 2019).
- Estructura de acción: un sistema de gobernanza climática debe tener la capacidad de integrar de forma eficiente las responsabilidades climáticas en la estructura general de administración pública o del agente emisor (Harris et al. 2016).
- Evaluación de riesgos y oportunidades: tener en cuenta los riesgos (por ejemplo, riesgo de incendios forestales por la no gestión forestal) y oportunidades dentro del sistema (por ejemplo, simulación de medidas de mitigación de emisiones que generen empleo y reducción de costes) (WEF 2019).

- Integración estratégica y operativa: un sistema de gobernanza climática debe permitir la planificación táctica (a medio y largo plazo) sobre los objetivos estratégicos, así como la planificación operativa (a corto plazo) para evaluar medidas y proyectos de mitigación concretos implementados.
- Incentivación: Debe dar la oportunidad de incentivar el reporte y la mitigación de las emisiones (por ejemplo, beneficios fiscales, posibilidad de solicitar ayudas públicas, etc.). (WEF 2019)
- Presentación de Informes y divulgación: El sistema debe poder generar informes estandarizados para asegurar la interoperabilidad con los diferentes acuerdos y compromisos nacionales e internacionales establecidos, así como generar infografías que permitan la divulgación y la educación climática.
- Mejora continua y actualización: debe ser compatible con las mejores metodologías y mejores técnicas disponibles para poder actuar siempre de manera eficiente y rigurosa, sobre todo en base de herramientas digitales adaptadas a las necesidades de escala territorial o sectorial.

b) Pacto de los Alcaldes

Los compromisos internacionales de Naciones Unidas y de la Unión Europea focalizan los esfuerzos a nivel nacional donde todavía hay espacio para aumentar la eficiencia de las políticas nacionales en términos de reducción de emisiones de GEI (Niedertscheider et al. 2018). Para dar cumplimiento a las contribuciones determinadas a nivel nacional se requiere la contribución de las autoridades locales y regionales (CMNUCC 2016). En este sentido, a nivel local, las ciudades firmantes del Pacto de los Alcaldes por el Clima y la Energía (Covenant of Mayors) están comprometidas a apoyar la implementación del objetivo de reducción de emisiones de GEI del 40% de la UE para 2030 y la adopción de un enfoque conjunto para abordar la mitigación y la adaptación al cambio climático (Covenant of Mayors 2021). Con este Pacto, además, los firmantes se comprometen a presentar un Plan de Acción Climática y de Energía Sostenible (PACES) que describa las acciones clave que planean emprender (Kona et al. 2016) para reducir sus emisiones de GEI.

1.2 Estado del arte

La planificación y ejecución de los Planes de Acción Climática y de Energía Sostenible (PACES) deben basarse en los Inventarios de Emisiones de Referencia (IER o BEI, Baseline Emission Inventory) (JRC 2018). Esto significa que cualquier estrategia de compromiso de recursos destinados a la mitigación del cambio climático a nivel local se ve afectada por la calidad de los inventarios de emisiones de GEI. A pesar de esta estricta necesidad, los gestores públicos carecen de herramientas para cuantificar las emisiones de GEI con suficiente rigor, precisión y con un alcance que incluya todas las fuentes de emisión existentes en el municipio. Por ello, a menudo se utilizan inventarios simplificados con un alcance incompleto para definir estos Inventarios de Emisiones de Referencia (IER).

Esta deficiencia se debe a la falta de adaptación al contexto local/regional de los dos enfoques principales existentes para la cuantificación de emisiones de GEI, el enfoque descendente, de arriba hacia abajo (top-down), y el enfoque ascendente, de abajo hacia arriba (bottom-up).

El enfoque descendente o top-down consiste en desagregar un valor global utilizando variables específicas (definidas en este trabajo como variables atributivas al ser las variables utilizadas para atribuir a cada municipio su parte del total de las emisiones) disponibles en una escala menor para obtener los valores desagregados (Fiorillo et al. 2020). Tomando como ejemplo la industria del cemento, las emisiones nacionales totales asignadas a este sector podrían desagregarse para un municipio utilizando una variable atributiva como el número de fábricas de cemento en este municipio. La ventaja clave de este enfoque es que requiere menos datos y, por lo tanto, consume menos recursos. Sin embargo, la precisión del enfoque descendente (top-down) depende tanto de la precisión del valor global utilizado como de la calidad de la variable atributiva utilizada. En el ejemplo descrito, se puede suponer que el número de fábricas de cemento es importante, pero lo que determina sus emisiones es el combustible consumido y el flujo del material introducido en el proceso en cada una de ellas. Por lo tanto, la calidad o precisión del enfoque descendente es menor en comparación con el enfoque ascendente (Jing et al. 2016; Mateo-Pla et al. 2021). Además, este enfoque no permite monitorizar las medidas de mitigación implementadas en el municipio, como por ejemplo las medidas planificadas en los PACES locales, ya que las medidas de mitigación implementadas por los emisores locales normalmente tendrán un pequeño impacto en el agregado nacional de emisiones GEI y por tanto en el valor global utilizado para obtener el desagregado local. Tan solo si las variables específicas utilizadas recogieran el cambio producido por las medidas implementadas, este enfoque reflejaría el impacto logrado por la medida de mitigación en el municipio (por ejemplo, si la variable específica fuera proporción de coches de combustión interna respecto al total y la medida de mitigación fuera sustituir un número determinado de vehículos por vehículos eléctricos). En consecuencia, en la mayoría de los casos no será posible realizar un seguimiento de la implementación de las medidas de los PACES con el enfoque top-down.

Por otro lado, el enfoque ascendente o bottom-up consiste en agregar los resultados calculados para obtener el resultado global de una escala mayor (Fiorillo et al. 2020). Siguiendo nuestro ejemplo anterior, este enfoque consiste en la agregación de emisiones de cada una de las fábricas de cemento del municipio calculadas individualmente para obtener las emisiones totales de la actividad industrial cementera de este municipio. La ventaja clave es la mayor precisión que permite monitorizar las medidas de mitigación realizadas por cada agente de manera individual, requiriendo, por otro lado, de mucha mayor cantidad de datos, esfuerzo de cómputo y recursos (Mateo Pla et al. 2021). Hay experiencias en las que se ha aplicado un enfoque bottom-up a nivel subnacional, como en la provincia de Siena en Italia (Bastianoni et al. 2014). Sin embargo, en las experiencias mencionadas, el enfoque bottom-up ha conllevado dos grandes desventajas: 1) no permiten obtener valores desagregados a nivel local para desarrollar PACES locales, tan solo los resultados globales de la región, y 2) requieren un gran consumo de recursos para recolectar y tratar los datos específicos de la región.

Las debilidades mencionadas de cada uno de los dos enfoques descritos, propician que los inventarios de emisiones de referencia en los que se basan los PACES de los municipios suelen tener las siguientes limitaciones:

1. Se trata de inventarios basados en enfoques top-down con pocas variables atributivas (población, número de automóviles, etc.) que dan como resultado inventarios de baja calidad que no permiten un seguimiento adecuado de las medidas de mitigación implementadas en sus PACES. Este enfoque es el más utilizado para desarrollar inventarios de emisiones de referencia (Dai et al. 2016).
2. Inventarios basados en enfoques bottom-up limitados a unos pocos agentes de los cuales los municipios tienen datos fácilmente disponibles, lo que deja la mayoría de los indicadores sin cuantificar debido a la dificultad de acceso a los datos necesarios. Este enfoque conlleva el riesgo de realizar un diagnóstico erróneo de las emisiones reales. Así, los PACES planificados con base en estos inventarios son muy poco rigurosos y conducen a una inversión de los recursos disponibles en medidas de bajo impacto como se puede observar al comparar la eficiencia de sus medidas de mitigación planificadas. Por ejemplo, en el PACES de la ciudad de Palermo, una medida adoptada sobre coches y bicicletas compartidas tuvo un coste de implementación por tonelada de CO₂ reducido de 2,587 € (Covenant of Mayors Palermo 2015), mientras que una medida similar del PACES de la ciudad de València (servicio de bicicletas compartidas) tiene un coste de implementación de 34 € por tonelada de CO₂ reducida (Covenant of Mayors Valencia 2019).

Finalmente, a parte de estos enfoques aplicables a diferentes metodologías, existe una metodología ampliamente utilizada y aceptada internacionalmente (IPCC 2006), desarrollada por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (o IPCC por sus siglas en inglés Intergovernmental Panel on Climate Change). El IPCC fue creado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1988. El IPCC es un panel compuesto por expertos internacionales que se encarga de determinar el estado de los conocimientos sobre el cambio climático. Por tanto, la metodología propuesta por el IPCC (IPCC 2006) es la que utilizan los diferentes países para realizar sus inventarios de emisiones anuales y la que cuenta con el mayor reconocimiento internacional. Sin embargo, esta metodología está pensada para aplicación a nivel nacional, por lo que tanto la estructura de implementación como los datos necesarios para su aplicación no siempre están disponibles a escala local o requiere de diferentes adaptaciones (Bastianoni et al. 2014).

1.3 Justificación de la investigación

La consecución o no de los objetivos de mitigación de emisiones descritos dependen de invertir de manera eficiente los recursos disponibles en materia de cambio climático. Para ello, los tomadores de decisión deben disponer de herramientas adecuadas con capacidad de realizar diagnósticos de emisiones de GEI a nivel local y regional rigurosos, precisos y con un alcance total de los focos de emisión. Además, es necesario contar con herramientas que permitan realizar un seguimiento del impacto de las medidas implementadas por cada municipio o de poder evaluar el impacto de programas estratégicos llevados a cabo a nivel regional.

Debido a que los recursos disponibles son limitados, estas herramientas deben permitir optimizar el enfoque utilizado en función de las necesidades específicas del municipio, para lograr también la máxima eficiencia en la monitorización y gestión de las emisiones. Así, podríamos sensorizar cada metro cuadrado del municipio para cuantificar sus emisiones, pero no sería eficiente. Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), como tecnologías Big Data y GIS permiten mejorar

significativamente la gestión de emisiones, ya que permiten sistematizar y digitalizar metodologías para poder abordar la recopilación y el tratamiento de los datos de manera más eficiente. Esto nos permite trabajar y analizar patrones a partir de grandes cantidades de datos (Big Data) que permiten una definición de los BEI mucho más precisa y permiten al mismo tiempo monitorear estas emisiones de un modo constante pudiendo ofrecer al tomador de decisiones la información más precisa de la que se dispone, así como de información sobre qué medidas de mitigación tienen más potencial para contribuir a la reducción de emisiones de GEI. Por tanto, esta tesis muestra el desarrollo de una herramienta de gestión de emisiones que da respuesta a estas necesidades, a fin de ser una herramienta que proporcione a los decisores públicos de información rigurosa y precisa para poder definir e implementar las medidas más adecuadas y eficaces contra el cambio climático a nivel local y regional.

Los capítulos de la investigación incluidos en esta tesis describen el desarrollo metodológico de la herramienta, su estructura informática y la aplicación de la herramienta desarrollada en sectores clave en la mitigación del cambio climático como son la edificación, el transporte y la fijación de carbono en el sector forestal y en las zonas verdes urbanas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo general de la investigación es desarrollar una herramienta integral de gestión de gases de efecto invernadero (con nombre SITE, por sus siglas de Sistema de Información Territorial de Emisiones) para la toma de decisión contra el cambio climático a nivel regional y local con implementación en la Comunitat Valenciana.

Para ello es necesario desarrollar enfoques metodológicos para diferentes escalas, sectores y disponibilidad de datos. Por ello, a continuación se describen los diferentes desarrollos metodológicos, tanto generales como específicos de sectores clave del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPPC) (edificación, transporte, sector forestal, etc.), un desarrollo informático para la parte de SITE que se ejecuta del lado del servidor, que de ahora en adelante se denominará back-end del sistema, y siete implementaciones como casos de estudio representativos, a diferentes escalas y aplicados sobre diferentes sectores.

3. DESARROLLOS REALIZADOS EN LA TESIS DOCTORAL

Los desarrollos descritos en la sección de objetivos se realizan y estructuran en 6 capítulos donde se describen las metodologías desarrolladas y la aplicación piloto de cada metodología implementada a diferentes escalas y sectores de la Comunitat Valenciana.

3.1 Capítulo 1: Enfoque Top-Down, Escala regional y local, Todos los sectores

En el primer capítulo se expone el desarrollo metodológico general de los tres enfoques del sistema (descendente, ascendente y enfoque híbrido). Además, se describe la implementación del enfoque descendente sobre todos los sectores emisivos de la Comunitat Valenciana y la implementación local de este mismo enfoque sobre todos los sectores emisivos del municipio de València. Así, los 162 indicadores cuantificados en los 542 municipios de la región emitieron un total de 30Mt CO₂ eq. y fijaron un total de 6Mt CO₂ eq. durante el año 2019. Además, el enfoque territorial del sistema individual ha permitido identificar que tan solo 10 municipios (el 1,8% del total) emiten el 34% del total mientras que 185 municipios (34% del total) fijaron más emisiones de las que emitieron (figura 1). Por último, el enfoque sectorial del sistema permitió identificar el 20% de indicadores de las actividades sectoriales que son responsables del 85% del total de emisiones (figura 2).

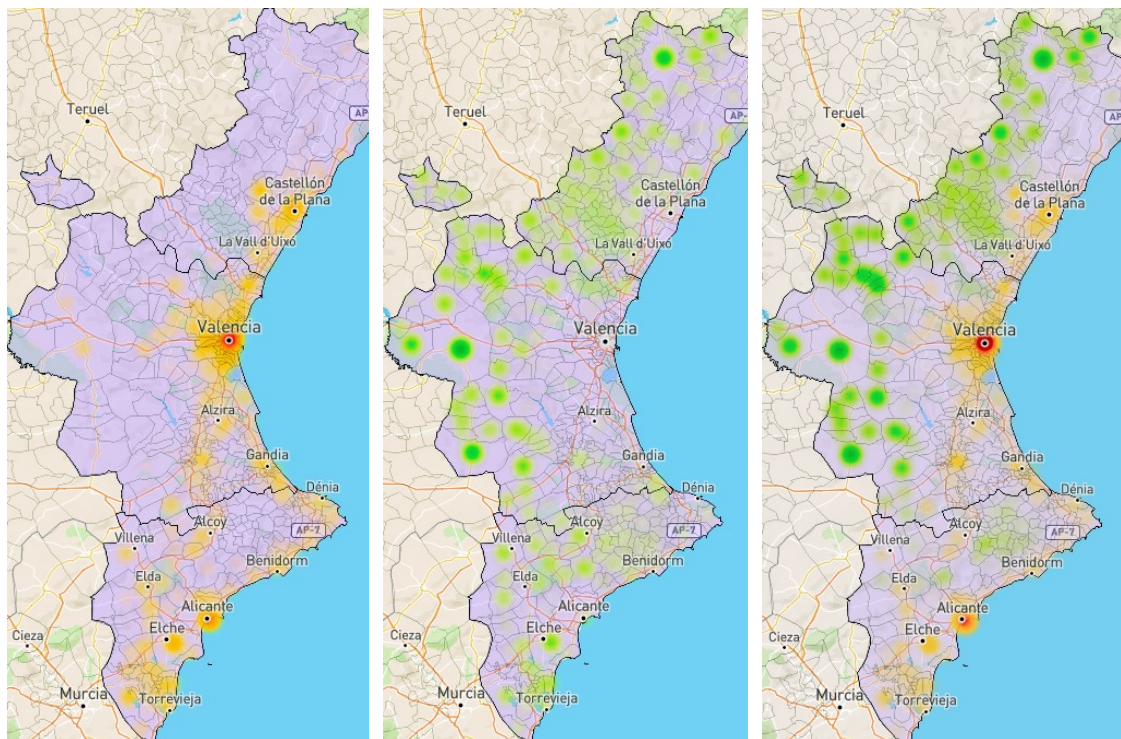


Figura 1. Izquierda: Distribución territorial de las emisiones brutas de GEI de la Comunidad Valenciana. Centro: Distribución territorial de la fijación de GEI en Valencia. Derecha: Distribución territorial de emisiones netas de GEI y fijación por municipio (Rojo: Emisiones netas de GEI; Verde: Fijación neta de GEI).

Por otro lado, el resultado de la aplicación metodológica desarrollada a escala urbana en la ciudad de Valencia cuantificó un total de 3.8 M de tCO₂ eq. brutas. La distribución sectorial de las emisiones de GEI muestra que “Energía (sin transporte)” es el sector más emisor con el 50% de las emisiones totales, seguido del “Transporte” con un 35%. Luego los “Procesos Industriales y Uso de Productos” representan el 8% y “Agricultura, Ganadería y Uso de Suelo (sin Forestal)” y “Residuos” emiten el 3% y el 5% del total de emisiones brutas. Además, la priorización de los indicadores más relevantes muestra que solo 25 de los indicadores (20% del total de indicadores) son responsables del 92% del total de emisiones en la ciudad de Valencia. Esta priorización adaptada al nivel y las condiciones locales se puede utilizar para desarrollar planes de acción locales altamente eficientes.

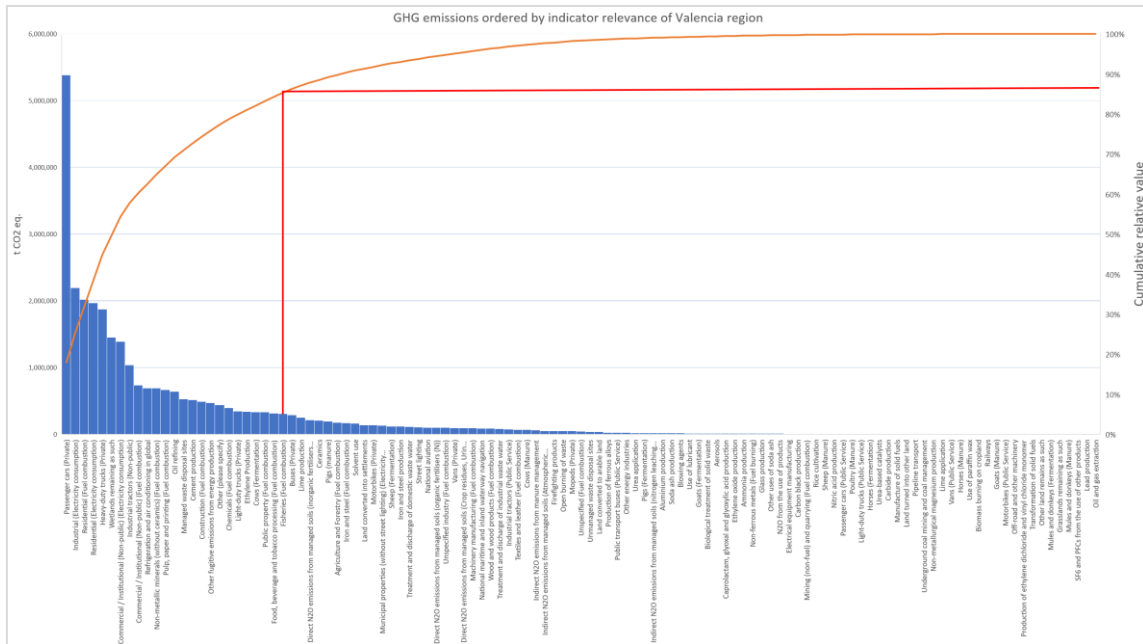


Figura 2. Emisiones de GEI ordenadas por relevancia del indicador en la Comunitat Valenciana (año 2019). Las emisiones de GEI del 20% de los indicadores más relevantes se indican con la línea roja.

3.2 Capítol 2: Enfoque Bottom-Up (simplificado), Escala local, Todos los sectores.

En el segundo capítulo se expone una propuesta informática para el back-end del sistema basado en agentes (figura 3) para la cuantificación de emisiones y una aplicación local simplificada sobre todos los sectores mediante un enfoque ascendente en un municipio representativo de tamaño medio de aproximadamente 25.000 habitantes (Llíria, España) (figura 4). El sistema basado en agentes propuesto ha permitido la gestión automática de grandes volúmenes de datos e información necesaria para el cálculo de emisiones.

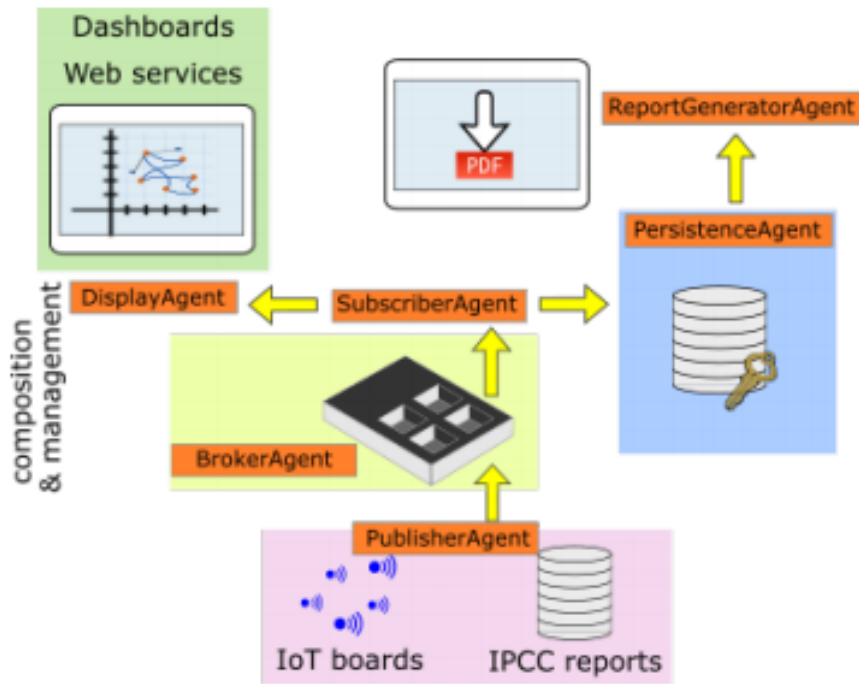


Figura 3. Arquitectura General Informàtica basada en agents cooperatius.

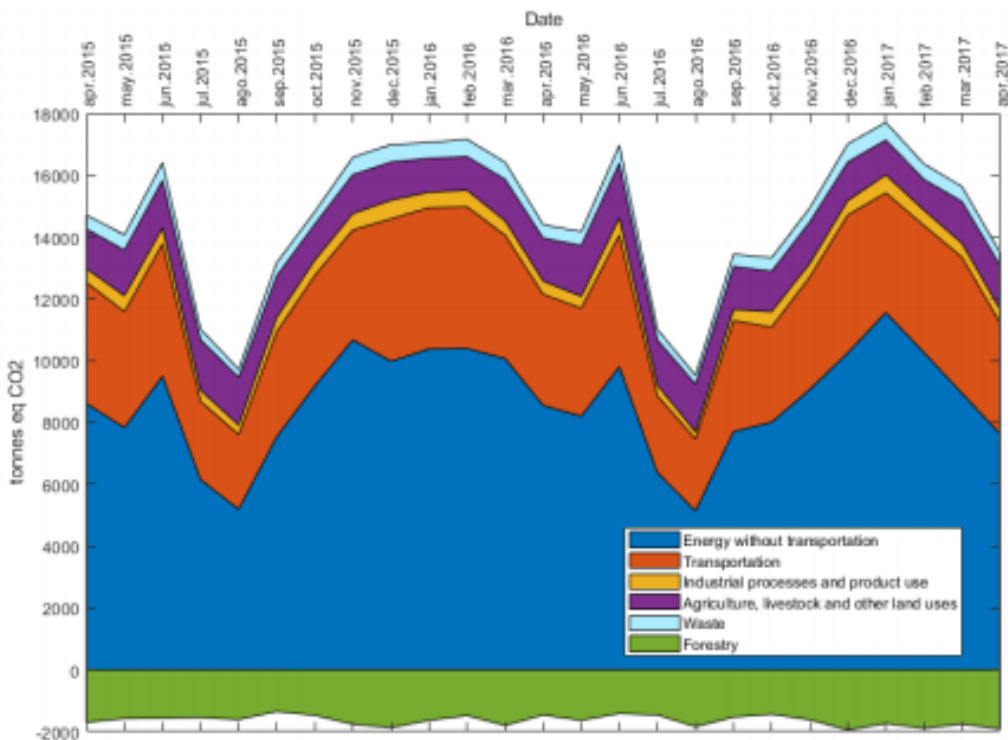


Figura 4. Emisiones dinámicas de GEI por sectores en Lliria en el año 2016.

3.3 Capítulo 3: Enfoque Híbrido, Escala local, Sector Edificación.

En el tercer capítulo se expone el desarrollo metodológico de un enfoque híbrido basado en un sistema de información geográfica (SIG) para mapear el consumo de energía primaria y las emisiones de GEI en el sector de la edificación a nivel local en base a los certificados energéticos disponibles (figura 5). Además, la aplicación de la metodología desarrollada a nivel local en un municipio representativo de tamaño medio de aproximadamente 25.000 habitantes (Quart de Poblet, España) ha permitido calcular un total de 32.000 t CO₂ eq. emitidas derivadas de un consumo de energía primaria de 140 GWh en edificios residenciales con alta resolución espacial.

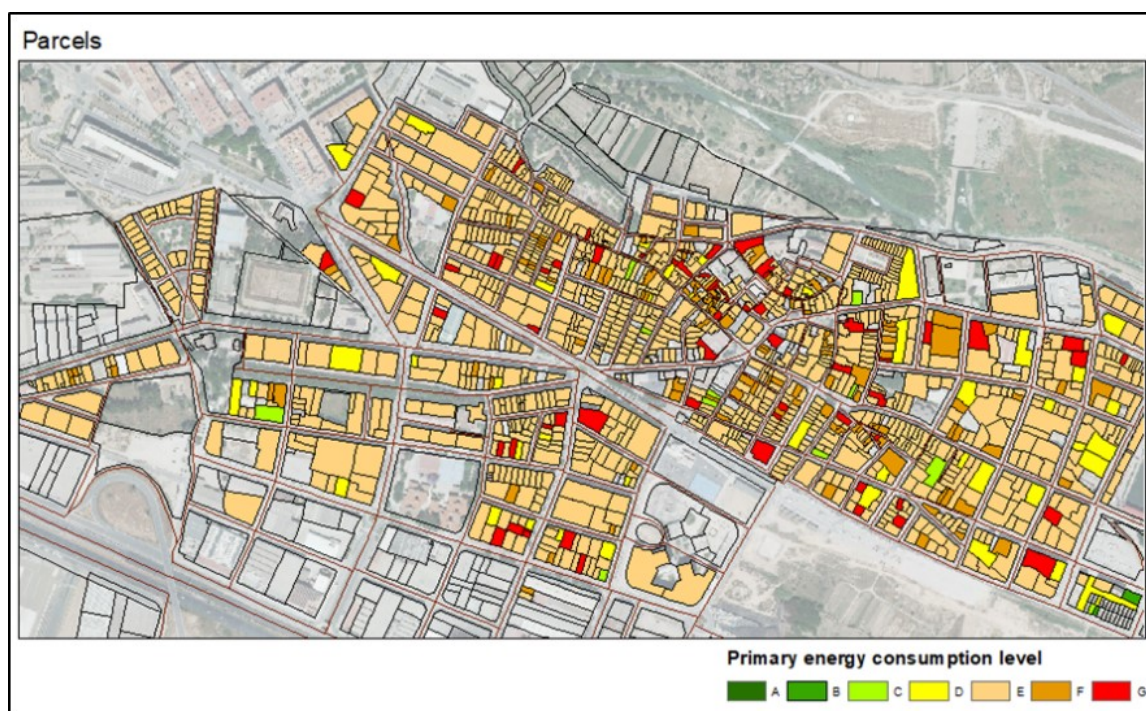


Figura 5. Distribución espacial del consumo de energía primaria en la implementación piloto en Quart de Poblet (España) con resolución a escala edificio.

3.4 Capítulo 4: Enfoque bottom-up, Escala local, Sector Tráfico.

En el cuarto capítulo se describe el desarrollo de una metodología ascendente (bottom-up) para cuantificar las emisiones de GEI del tráfico urbano con alta resolución espacial y temporal a nivel local. La metodología desarrollada utiliza datos de los sistemas de control y monitoreo del tráfico urbano (espiras electromagnéticas) para calcular las emisiones de GEI. Además, su implementación en el municipio de València (España) ha permitido obtener resultados con gran resolución de las emisiones de GEI en los más de 1.400 tramos sensorizados de la ciudad con una resolución temporal horaria y una resolución espacial a nivel de calle. Los patrones de emisión obtenidos de la aplicación de la metodología desarrollada en los años 2016-

2019 permeten analitzar les emissions GEI de un agent emissor clau, com és el tràfic, así como de la dinàmica de la ciutat i su mobilitat ciutadana (figura 6).

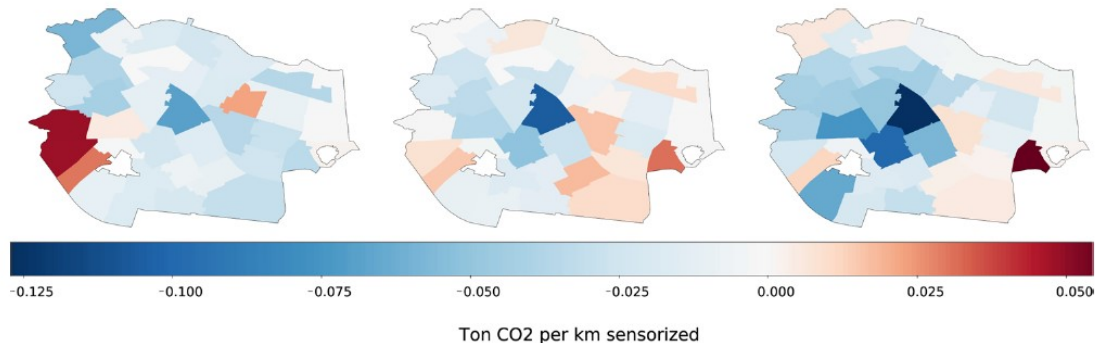


Figura 6. Evolució de les emissions totals de CO2 total per quilòmetre sensoritzat para les distintes zones de València en 2017 (izquierda), 2018 (centro) y 2019 (derecha), en comparació con las emisiones de 2016.

3.5 Capítol 5: Enfoque híbrid, Escala regional, Sector Forestal.

En el quinto capítulo se describe la implementación del sistema en el sector forestal de la Comunitat Valenciana para el cálculo de fijación anual y del stock de carbono acumulado mediante un enfoque metodológico híbrido (figura 7). Los resultados obtenidos de esta implementación se utilizan para alimentar una metodología propia para valorizar el carbono fijado por el sector forestal en la Comunitat Valenciana, como región representativa de la Europa mediterránea. La metodología propia desarrollada permite calcular bonos de compensación de emisiones por gestión forestal sostenible teniendo en cuenta el riesgo de emisión por incendios forestales para que se ajuste a la realidad forestal mediterránea. Los resultados obtenidos muestran un potencial de compensación voluntaria de emisiones en la región de entre el 1,2 y el 5,6% del total de las emisiones no consideradas en el Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU ETS).

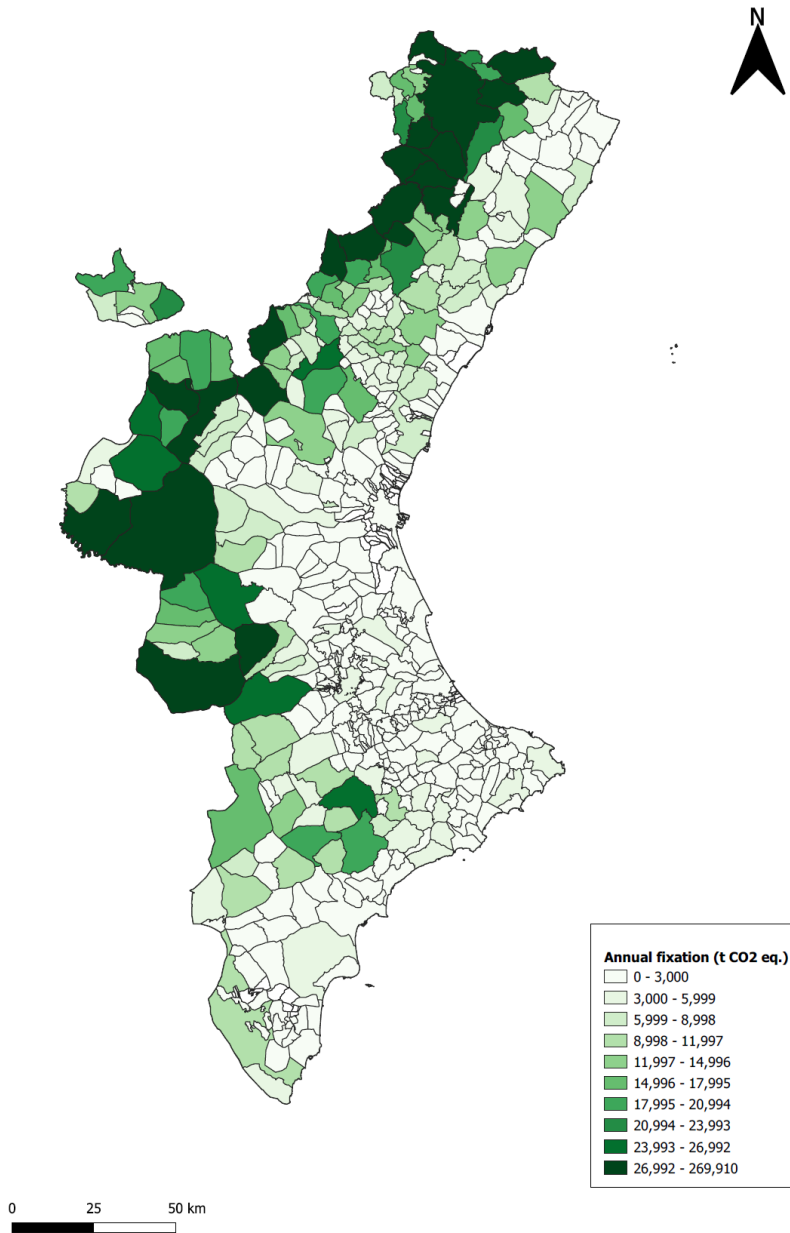


Figura 7. Distribución espacial del CO2 eq anual (mediante enfoque híbrido). Fijación a nivel local en Valencia (España).

3.6 Capítulo 6: Enfoque bottom-up, Escala local, Sector Áreas verdes urbanas.

En el sexto capítulo evalúa la contribución directa de Áreas Verdes Urbanas (AVU) a la consecución del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS): ODS 11 "Ciudades y comunidades sostenibles", ODS 13 "Acción climática" y ODS 15 "Vida terrestre", con alta resolución espacial en el caso de estudio de la ciudad de Valencia (España). La evaluación realizada ha permitido realizar un diagnóstico de la cantidad y accesibilidad de AVU a nivel sub-barrial. Los resultados para el ODS 11 muestran que solo el 9,23% de la población no tiene un acceso deseable a AVU y el 2,73% vive en

áreas sin fácil acceso a pie a AVU. Por otro lado, la evaluación del ODS 15 muestra que cada habitante tiene a su disposición 10 m² de AVU, por debajo de la media de las ciudades de más de 250.000 habitantes en España. La alta resolución espacial de la evaluación también ha permitido identificar las zonas de la ciudad con peor acceso a AVU y menor cantidad de AVU por habitante. En consecuencia, los resultados permiten determinar zonas con alto potencial de mejora. Adicionalmente, la cuantificación del CO₂ fijado por la AVU realizada para la evaluación del ODS 13, muestra que el carbono fijado equivale al 0,04% de las emisiones brutas totales de GEI de la ciudad y es un 36% superior a las emisiones totales del consumo anual de combustible de la flota total de la ciudad (figura 8). Finalmente, el seguimiento de los indicadores aplicados permite evaluar la evolución de la AVU para mejorar el desarrollo sostenible de la ciudad.



Figura 8. Localización de las Áreas Verdes Urbanas con extrusión proporcional a su valor fijo de carbono de la ciudad de Valencia.

4. POTENCIALIDAD DE LOS DESARROLLOS LOGRADOS:

Estas implementaciones a diferentes escalas y sectores demuestran el potencial del sistema como herramienta de apoyo en la toma de decisión contra el cambio climático a nivel regional y local. Las diferentes implementaciones en casos piloto representativos, tanto a nivel regional en la Comunitat Valenciana como a nivel local en municipios grandes (València) y medianos (Quart de Poblet y Lliria) muestran el potencial de adaptación territorial y sectorial que tiene la herramienta. Las metodologías desarrolladas para los sectores específicos de tráfico rodado, edificación o sector forestal, ofrecen cuantificaciones con una resolución espacial con gran capacidad de optimizar las políticas locales y regionales. Por tanto, la herramienta cuenta con un gran potencial de escalabilidad y gran capacidad de mejora continua

mediante la inclusión de nuevos enfoques metodológicos, adaptación de las metodologías a la disponibilidad de datos, metodologías concretas para sectores clave y actualización a las mejores metodologías disponibles derivadas de actividades de investigación de la comunidad científica.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, M. R., Babiker, M., Chen, Y., Coninck, H. D., Connors, S., Diemen, R. V., Dube, O. P., Ebi, K. L., Engelbrecht, F., Ferrat, M., Ford, J., Forster, P., Fuss, S., Guillén, B. T., Harold, J., Hoegh-Guldberg, O., Hourcade, J-C., Huppmann, D., Jacob, D., ... Zickfeld, K. (2018). Summary for Policymakers. In *Global Warming of 1.5: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* IPCC. <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>
- Bastianoni, S., Marchi, M., Caro, D., Casprini, P. and Pulselli, F.M. (2014). The connection between 2006 IPCC GHG inventory methodology and ISO 14064-1 certification standard – A reference point for the environmental policies at sub-national scale, *Environmental Science and Policy*, 44, 97-107, ISSN 1462-9011, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.07.015>.
- Binkley, C.S., Brand, D., Harkin, Z., Bull, G., Ravindranath, N.H., Obersteiner, M., Nilsson, S., Yamagata, Y. and Krott, M. (2002). Carbon sink by the forest sector—options and needs for implementation. *Forest Policy and Economics*, 4 (1) 65-77, [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(02\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(02)00005-9).
- Covenant of Mayors Palermo (2015). Sustainable energy Action Plan of Palermo. Available online: https://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/18173_1441009669.pdf (Consultado el 27/03/2024).
- Covenant of Mayors Valencia (2019). Action Plan for Climate and Sustainable Energy of the city of Valencia. Annex 1: Mitigation actions description. Available online: https://mycovenant.eumayors.eu/storage/web/mc_covenant/documents/9/0m3scZPPh3PqXtBYGy2B-hn8yx8VAJ3S.pdf (Consultado el 27/03/2024).
- Dai, H., Mischke, P., Xie, X., Xie, Y. and Masui, T. (2016). Closing the gap? top-down versus bottom-up projections of China's regional energy use and CO₂ emissions. *Applied Energy*, 162, 1355–1373.
- EEA (2020). European Environmental Agency. Climate change mitigation. Disponible online: <https://www.eea.europa.eu/themes/climate/intro> (Consultado el 27/03/2024).
- European Commission (2019a). The European Green Deal. Communication from the commission to the European parliament, the European council, the council,

the European economic and social committee and the committee of the regions. COM/2019/640 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&anduri=CELEX:52019DC0640>

European Commission (2020). Glossary of summaries EU Governance. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/summary/glossary/governance.html> (Consultado el 27/03/2024).

European Commission (2021a). Climate change consequences. Disponible online: https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_en (Consultado el 27/03/2024).

European Commission (2021b). EU Emissions Trading System (EU ETS). Disponible online: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en (Consultado el 27/03/2024).

European Commission (2021c). Land use and forestry regulation for 2021-2030. Disponible online: https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_en (Consultado el 27/03/2024).

European Commission (2021d). 2030 climate and energy framework. Disponible online: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en (Consultado el 27/03/2024).

European Commission (2021e). Emissions monitoring & reporting. Disponible online: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/monitoring_en (Consultado el 27/03/2024).

Fiorillo, D., Creaco, E., De Paola, F. and Giugni, M. (2020). Comparison of Bottom-Up and Top-Down Procedures for Water Demand Reconstruction. *Water*, 12(3):922. <https://doi.org/10.3390/w12030922>

Groff, M (2020). What is Climate Governance?. Global Changes Fundation. Disponible online: <https://globalchallenges.org/what-is-climate-governance/> (Consultado el 27/03/2024).

Harris, J. Revecó, C and Guerra, F. (2016). Gobernanza climática y respuestas locales al cambio climático: Comparación de Estudios de Casos para Ciudades de la Alianza del Pacífico https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=1e10c0b3-aaea-443c-12ba-b338b88982c7&groupId=252038

Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Guillén Bolaños, T., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I. A., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Hope, C. W., Payne, A. J., Pörtner, H. O., Seneviratne, S. I., Thomas, A., Warren, R. and Zhou, G. (2019). The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5°C. *Science* 365, <https://doi.org/10.1126/science.aaw6974>

IPCC (2006). Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI). <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

- IPCC (2013): Intergovernmental Panel on Climate Change. Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- IPCC (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- Jing, B., Wu, L., Mao, H., Gong, S., He, J., Zou, C., Song, G., Li, X. and Wu, Z. (2016). Development of a vehicle emission inventory with high temporal-spatial resolution based on NRT traffic data and its impact on air pollution in Beijing – Part 1: Development and evaluation of vehicle emission inventory, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 3161–3170. , <https://doi.org/10.5194/acp-16-3161-2016>.
- JRC (2018). Guidebook 'How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) – Part 2 - Baseline Emission Inventory (BEI) and Risk and Vulnerability Assessment (RVA), EUR 29412 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-96929-4. , doi:10.2760/118857, JRC112986
- Kona, A., Melica, G., Koffi, B., Iancu, A., Zancanella, P., Rivas Calvete, S., Bertoldi, P., Janssens-Maenhout, G. and Monforti-Ferrario, F. (2016). Covenant of Mayors: Greenhouse Gas Emissions Achievement and Projections. EUR 28155 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. ; doi:10.2790/11008
- Lázaro Touza, L. (2011). “El Papel De La Unión Europea En La Gobernanza Global En Materia climática”. Cuadernos Europeos De Deusto, n.º 45 (octubre), 117-48. <https://doi.org/10.18543/ced-45-2011pp117-148>.
- Lázaro Touza, L. and Gómez de Agreda, A. (2016). Gobernanza climática y empresa. Disponible online: [https://plataforma2030.org/es/numeros-anteriores/hemeroteca-rse?task=callelement&format=raw&item_id=242&element=72761cd6-1f30-467c-aa95-10230942b669&method=download&args\[0\]=0](https://plataforma2030.org/es/numeros-anteriores/hemeroteca-rse?task=callelement&format=raw&item_id=242&element=72761cd6-1f30-467c-aa95-10230942b669&method=download&args[0]=0) (Consultado el 02/01/2024)
- Mateo Pla, M. A., Lorenzo-Sáez, E., Luzuriaga, J. E., Prats, S. M., Moreno-Pérez, J. A., Urchueguía, J. F., Oliver-Villanueva, J.V. and Lemus, L. G. (2021). From traffic data to GHG emissions: a novel bottom-up methodology and its application to

Valencia city. *Sustainable Cities and Society*, [66](https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102643), 102643.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102643>

Niedertscheider, M., Haas, W. and Görg, C. (2018). Austrian climate policies and GHG-emissions since 1990: What is the role of climate policy integration?. , *Environmental Science and Policy*, 81, 10-17, ISSN 1462-9011. ,
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.12.007>.

NOAA (2021). NOAA Earth System Research Laboratories (ESRL). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Disponible Online:
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/graph.html> (Consultado el 27/03/2024).

Paris Agreement (2016). Official Journal of the European Union, L 282, 19 October 2016, 4-18.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_2016.282.01.0004.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2016%3A282%3ATOC

WEF (2019). World Economic Forum. How to Set Up Effective Climate Governance on Corporate Boards Guiding principles and questions. Disponible online:
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Creating_effective_climate_governance_on_corporate_boards.pdf (Consultado el 27/03/2024).