

METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA RESOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DEL SECTOR DE COMBUSTIÓN DOMÉSTICA EN BARCELONA

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Máster en Geoinformación, 1a edición

*Departament de Geografia - Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)*

Tutores/as:

Sr. Joan Gilabert

*Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
(ICGC)*

Dra. Gara Villalba y Dra. Isabel Ribeiro

*Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals
(ICTA – UAB)*

Autora:

Maria Ripoll Ruiz

Fecha:

Julio de 2018

Abstract

The project "Quantifying the impact of Green infrastructures on (peri-) urban atmospheres" in development by *Institut de Ciència i Tecnologia ambiental* (ICTA-UAB) and funded by Marie Skłodowska-Curie Actions aims to study the air quality and urban heat island phenomenon under several green infrastructure scenarios for the city of Barcelona. Green infrastructures are currently being promoted in cities to improve thermal comfort of the citizens and air quality, among other economic, ecological and social objectives, but there is still little quantitative and qualitative evidence of how efficient they are in achieving the aforementioned sense. To fill this gap, leading methodologies are used, such for chemical climate numerical model. These models, among other data, require entry of atmospheric pollutant emissions from anthropogenic and biogenic sources to high temporal and spatial resolution. Currently, emissions inventories are available at resolution of up to 1km x 1km to Catalonia (BSC). However, it is necessary to improve the model resolution to quantify the effect of green infrastructures (that could be relatively small areas, such as green roofs and parks) and so the emissions.

The objective of this project is to create a methodology to disaggregate the emissions of domestic combustion to a geospatial resolution of 100m x 100m on the urban ecosystem of Barcelona. Recently, Cartographic and Geological Institute of Catalonia (ICGC) and University of Barcelona (UB) have developed a map of the Local Climate Zones (LCZ) of the Metropolitan Area of Barcelona (AMB). The LCZ layer is used to disaggregate domestic combustion emissions from 1km to 100m in grid size as it provides a better spatial characterization uses of urban and peri urban land. Population density is also taken into account in this project. The use of LCZ at such a high resolution has shown to be a good proxy to disaggregate emission to residential areas rather than other land use not related to domestic combustion activity.

Resum

El projecte "*Quantifying the impact of Green infrastructures on (peri-) urban atmospheres*" en desenvolupament per l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA-UAB) i finançat per Marie Skłodowska-Curie Actions té com a objectiu estudiar la qualitat de l'aire i el fenomen d'illa de la calor urbana sota escenaris d'infraestructures verdes a la ciutat de Barcelona. Actualment s'estan promovent les infraestructures verdes a les ciutats per millorar el confort tèrmic dels ciutadans i la qualitat de l'aire, entre d'altres objectius econòmics, ecològics i socials, però encara hi ha poca evidència quantitativa i qualitativa de la seva eficàcia. Per omplir aquest buit d'investigació, s'utilitzen metodologies punteres com el model numèric de clima químic. Aquests models, entre d'altres dades, requereixen l'entrada d'emissions de contaminants atmosfèrics de fonts antropogèniques i biogèniques a una alta resolució temporal i espacial. Actualment, els inventaris d'emissions estan disponibles a una resolució de fins a 1km x 1km a Catalunya (BSC). No obstant això, cal millorar la resolució del model per quantificar l'efecte de les infraestructures verdes (que podrien ser àrees relativament petites, com ara cobertes verdes i parcs) i, per tant, les emissions.

L'objectiu d'aquest projecte és crear una metodologia per a la desagregació de les emissions de combustió interna a una resolució geoespacial de 100m x 100m en l'ecosistema urbà de Barcelona. Recentment, l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) i la Universitat de Barcelona (UB) han desenvolupat un mapa de les *Local Climate Zones* (LCZ) de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB). S'utilitza la capa de les LCZ per desagregar les emissions de combustió domèstica d'1km a 100m en la mida de la quadricula ja que proporciona una millor caracterització espacial dels usos del sòl urbà i periurbà. També es té en compte, en aquest projecte, la densitat de població. L'ús de les LCZ en una alta resolució ha demostrat ser un bon *proxy* per a desagregar les emissions a zones residencials en comptes d'altres usos del sòl no relacionats amb l'activitat de combustió domèstica.

Resumen

El proyecto "*Quantifying the impact of Green infrastructures on (peri-) urban atmospheres*" en desarrollo por el Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental (ICTA-UAB) y financiado por Marie Skłodowska-Curie Actions tiene como objetivo estudiar la calidad del aire y el fenómeno de isla de calor urbana bajo escenarios de infraestructuras verdes en la ciudad de Barcelona. Actualmente se están promoviendo las infraestructuras verdes en las ciudades para mejorar el confort térmico de los ciudadanos y la calidad del aire, entre otros objetivos económicos, ecológicos y sociales, pero todavía hay poca evidencia cuantitativa y cualitativa de su eficacia. Para llenar este vacío de investigación, se utilizan metodologías punteras como el modelo numérico de clima químico. Estos modelos, entre otros datos, requieren la entrada de emisiones de contaminantes atmosféricos de fuentes antropogénicas y biogénicas a una alta resolución temporal y espacial. Actualmente, los inventarios de emisiones están disponibles en una resolución de hasta 1km x 1km en Cataluña (BSC). Sin embargo, hay que mejorar la resolución del modelo para cuantificar el efecto de las infraestructuras verdes (que podrían ser áreas relativamente pequeñas, tales como cubiertas verdes y parques) y, por tanto, las emisiones.

El objetivo de este proyecto es crear una metodología para la desagregación de las emisiones de combustión interna a una resolución geoespacial de 100m x 100m en el ecosistema urbano de Barcelona. Recientemente, el Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya (ICGC) y la Universidad de Barcelona (UB) han desarrollado un mapa de las *Local Climate Zones* (LCZ) del Área Metropolitana de Barcelona (AMB). Se utiliza la capa de las LCZ para desagregar las emisiones de combustión doméstica de 1km a 100m en el tamaño de la cuadrícula ya que proporciona una mejor caracterización espacial de los usos del suelo urbano y periurbano. También se tiene en cuenta, en este proyecto, la densidad de población. El uso de las LCZ en una alta resolución ha demostrado ser un buen *proxy* para desagregar las emisiones a zonas residenciales en vez de otros usos del suelo no relacionados con la actividad de combustión doméstica.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Marco institucional	6
1.2 Estado del Arte.....	6
1.3 Problemática y oportunidad	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo general	10
2.2 Objetivos específicos	10
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	11
3.1 Área de estudio	11
3.2 Datos y materiales	11
3.3 Metodología	13
3.3.1 Creación de la cuadrícula 100m x 100m.....	14
3.3.2 Desagregación de emisiones 1km x 1km a 100m x 100m.....	15
3.4 Implementación.....	17
3.5 Resultados	19
4. CONCLUSIONES	22
5. BIBLIOGRAFIA	23
6. ANEXOS	26
Anexo I: Clases del <i>CORINE Land Cover</i>	26
Anexo II: Clases y parámetros de las <i>Local Climate Zones</i>	27
Anexo III: Script Python para automatizar la desagregación de emisiones...	29
Anexo IV: Resultados en formato digital	33

INDICE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Simulador del WRF online, ejemplo de pronóstico de precipitaciones. Fuente: (National Center for Atmospheric Research-2, 2018).....	8
Figura 2. Ejemplo de la concentración de NOx en el modelo de WRF-Chem. Fuente: (Earth System Research Laboratory, 2018).....	8
Figura 3. Ejemplo de la clasificación CLC de un área superior al AMB. Visualización a escala 1:180.000 (leyenda en Anexo I).....	10
Figura 4. Las LCZ de un área superior al AMB. Visualización a escala 1:180.000. Fuente: (Gilabert, et al., 2016).	10
Figura 5. Área de estudio del proyecto.....	11
Figura 6. Emisiones de CO en Catalunya (1km x 1km), visualización a escala 1:1.182.000.....	12
Figura 7. Distribución de la población de Catalunya de 2016 en algunos de los municipios del AMB. Visualización a escala 1:60.000.....	13
Figura 8. Esquema básico de la metodología para mejorar la resolución de las emisiones.	14
Figura 9. Ejemplo del cálculo del número de celdas por celda de emisión 1km ² de la grid completed_net100m.	15
Figura 10. Ejemplo de la disgregación de una celda de emisión NO de 1km ² a 10.000m ²	17
Figura 11. Ejemplo de iteración archivos NetCDF y sus variables.....	17
Figura 12. Emisión de NO a 1 km ² y 10.000 m ² respectivamente.....	19
Figura 13. Emisión de NO ₂ a 1 km ² y 10.000 m ² respectivamente.	20
Figura 14. Emisión de CO a 1 km ² y 10.000 m ² respectivamente.....	20
Figura 15. Emisión de PM2.5 a 1 km ² y 10.000 m ² respectivamente.....	20
Figura 16. Emisión de SO ₂ a 1 km ² y 10.000 m ² respectivamente.....	21
Figura 17. Emisión de PEC a 1 km ² y 10.000 m ² respectivamente.....	21
Figura 18. Emisión de POC a 1 km ² y 10.000 m ² respectivamente.	21
Tabla 1. Peso de población por cada LCZ.....	15

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Marco institucional

Este proyecto se ha desarrollado en el *Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA-UAB)* concretamente en el grupo de investigación *Sostenibilidad y Prevención Ambiental (SosteniPrA)* dentro del convenio de prácticas externas del Máster en Geoinformación con la conformidad del artículo 75 de los Estatutos de la Universitat Autònoma de Barcelona y la resolución de la Rectora de autorización con signatura a fecha del 7 de julio de 2016.

La creación de una **metodología para mejorar las emisiones de la combustión interna en Barcelona** forma parte del proyecto *Quantifying the impact of Green infrastructures on (peri-) urban atmospheres (GUrbs)* en desarrollo por la Dra. Isabel Ribeiro dentro del proyecto europeo *P-SHPERE* coordinado por la *Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)* y financiado por el programa *COFUND* que forma parte del programa europeo *Horizon 2020 Marie Skłodowska-Curie Actions*.

1.2 Estado del Arte

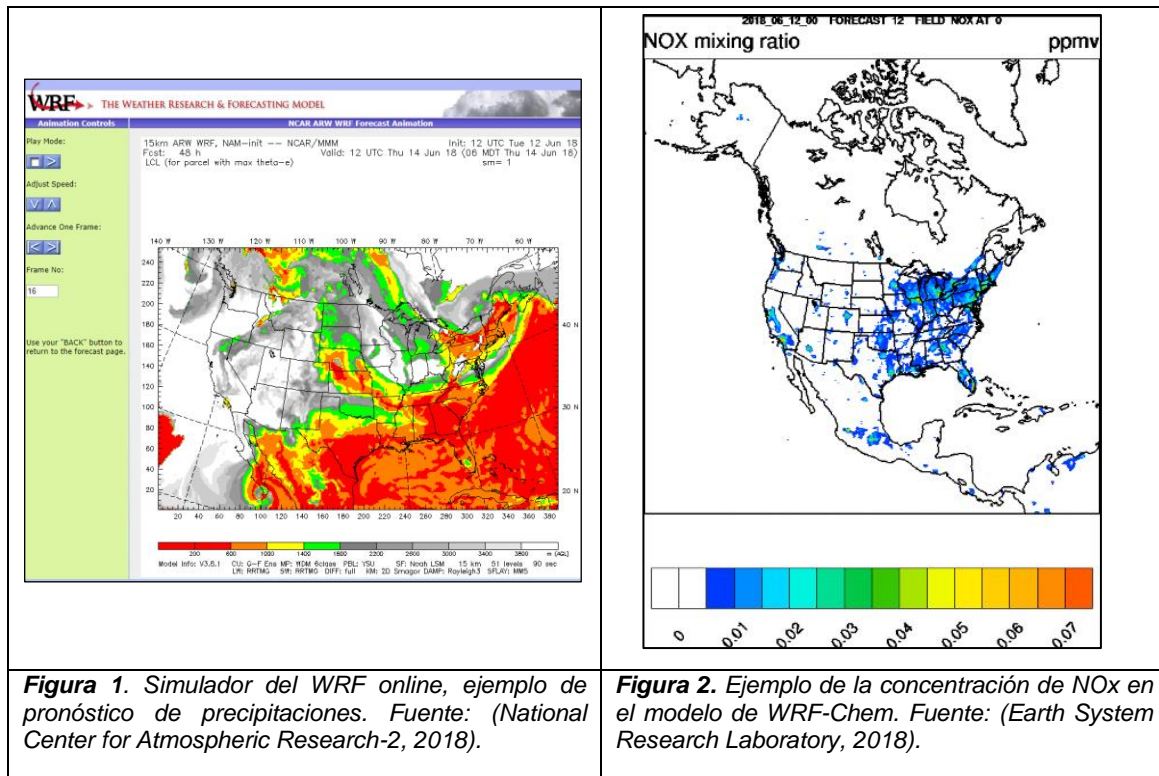
La población urbana del mundo ha crecido rápidamente en las últimas décadas, de 751 millones de habitantes en 1950 se ha llegado a los 4,2 billones en 2018. Actualmente el 55% de la población mundial vive en áreas urbanas y para el año 2050 se prevé que aumente hasta el 68%, es decir, dos tercios de la población vivirá en las ciudades (Department of Economic and Social Affairs - United Nations, 2018). El entorno urbano se está convirtiendo en la norma para la mayoría del planeta. Las ciudades tienen un impacto profundo sobre el clima en una jerarquía de escalas que se extiende desde la microescala (por ejemplo, la construcción y la calle), la meso-escala (ciudad y alrededores) hasta la macro-escala (regional y global) (Brousse, et al., 2016). Estos impactos incluyen la isla de calor urbana (UHI por sus siglas en inglés *Urban Heat Island*) y la calidad del aire en las ciudades, contaminación atmosférica regional y las emisiones globales de CO₂. Muchos de estos cambios tienen efectos dañinos directos e indirectos sobre la salud, el suministro de agua y el consumo de energía (Tan, et al., 2009; Salamanca, et al., 2012; Álvarez, et al., 2017).

Los procesos que dan lugar a los efectos del clima urbano pueden vincularse a aspectos de su forma y su función. La forma urbana describe aspectos de la cobertura superficial como sería por ejemplo la fracción impermeable, los materiales de construcción utilizados (características térmicas y/o radiativas) y la morfología tridimensional, es decir, las alturas de los edificios o árboles y el ancho de las calles. La función urbana describe las actividades en las ciudades que se sustentan en la producción de energía, materiales y agua, lo que genera desperdicios como consecuencia (Brousse, et al., 2016). La forma y la función están fuertemente correlacionadas y producen un paisaje urbano heterogéneo que habitualmente se representa utilizando mapas de cobertura de la tierra y uso de la tierra. Sin embargo, existe una gran variación en la información disponible sobre las ciudades (tanto en términos de cobertura, escala y consistencia) que presenta un impedimento para el progreso en los estudios climáticos urbanos. Respondiendo a tales problemáticas, ha emergido una nueva clasificación llamada Local Climate Zones (Stewart & Oke, 2012) que establece un sistema de estandarización de las zonas urbanas y también rurales según sus respuestas térmicas y radiativas. Cada categoría de LCZ está descrita por

parámetros geométricos, térmicos, radiativos y metabólicos que constituirán un mapa más detallado y más real dónde los modelos meteorológicos y climáticos podrán representar de forma más óptima los resultados de sus salidas (Ching, et al., 2018).

La urbanización, es decir, la transformación del paisaje natural en paisajes urbanos antropogénicos ha generado muchas consecuencias que han sido y son estudiadas extensamente y gran parte del conocimiento adquirido se ha codificado en una variedad de modelos de clima urbano. Estos modelos varían en su enfoque y sofisticación, pero todos requieren descripciones numéricas (parámetros) del carácter físico del paisaje urbano para simular el efecto de la urbanización (de la Paz, et al., 2016; Santiago, et al., 2017; Wang, et al., 2018). Algunos de estos parámetros son la superficie pavimentada, las áreas planificadas de los edificios, sus cubiertas y dimensiones entre otros elementos de rugosidad. Estos modelos se anidan en modelos de mayor escala que permiten interacciones entre diferentes procesos atmosféricos. Por ejemplo, el efecto de la parametrización de los edificios (BEP por sus siglas en inglés *Building Effect Parameterization*) y el modelo de energía de los edificios (BEM por sus siglas en inglés *Building Energy Model*) (Salamanca, et al., 2011) son modelos que se crearon para incluir procesos de escala urbana dentro del modelo de mesoescala *Weather Research Forecasting* (WRF). En el proyecto *GUrbs* el sistema de modelo usado es el modelo de transporte químico (WRF-Chem) con BEP.

- **WRF:** es un sistema numérico de predicción meteorológica a mesoescala de nueva generación diseñado para la investigación atmosférica y las aplicaciones de predicción operativa (National Center for Atmospheric Research, 2018). En la **Figura 1** se muestra un ejemplo online del modelo WRF.
 - **BEP:** es un modelo que captura las variaciones espaciales tanto en la forma como en la función urbana, es decir, captura aspectos de la morfología y propiedades del material de los edificios entre otros parámetros.
 - **BEM:** es un modelo que vincula los efectos del clima urbano con el uso de la energía del edificio y viceversa.
- **WRF-Chem:** simula simultáneamente, la mezcla turbulenta, el transporte, la transformación y el destino de gases traza y aerosoles (Pacific Northwest National Laboratory, 2018) teniendo como datos de entrada las emisiones de contaminantes atmosféricos, provenientes de actividades antropogénicas (tráfico, industria, tratamientos de residuos, agricultura, etc.) y biogénicas (vegetación, volcanes, fuegos forestales, etc.) . En la **Figura 2** se muestra un ejemplo.



A pesar de que las áreas urbanas solo cubren el 2% de la superficie de la Tierra, son las responsables de entre el 40% y el 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG por sus siglas en inglés *greenhouse gas*) según un estudio realizado por las Naciones Unidas (UN Habitat for a better urban future, 2011). Por este motivo las soluciones para mitigar el cambio climático residen, en gran parte, en las ciudades y es donde se deben aplicar. Actualmente ya se están promoviendo y aplicando políticas para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero, por ejemplo, mejorando la gestión de la movilidad incrementando el transporte público de calidad (autobuses eléctricos, tranvías...), creando más carriles para las bicicletas y promoviendo soluciones basadas en la naturaleza como las infraestructuras verdes y azules (Middel, et al., 2014). La ampliación de la cobertura verde urbana se propone como una estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático no solo para reducir los gases de efecto invernadero sino también para reducir el albedo, reducir la isla de calor urbana y mejorar la calidad de vida de los residentes. A pesar de que hay estudios que abalan que crecer en zonas urbanas con más presencia de infraestructuras verdes podría tener efectos beneficiosos en la salud (Dadvand, et al., 2018) y que hay menos efecto de la isla de calor (por el aumento de sombras y la reducción de área de pavimento entre otros muchos aspectos) (Reducing Urban Heat Islands, 2017) hay muy poca evidencia cuantitativa de la efectividad o eficiencia. Dependiendo del tipo de cubierta verde y el clima de la región, los impactos podrían cambiar cuantitativa y cualitativamente (Zölch, et al., 2016).

Las infraestructuras verdes tienen muchos impactos positivos: controlan las variaciones del microclima mediante la regulación de la humedad y la temperatura ambiente, disminuyen la temperatura de la superficie y reducen la huella del carbono a través de la absorción fotosintética de CO₂ (Lin, et al., 2011). También mejoran la calidad del aire urbano reduciendo la presencia de contaminantes como el O₃, PM10, NO₂, CO y SO₂ (Nowak, et al., 2006). Pero se necesita más evidencia científica para

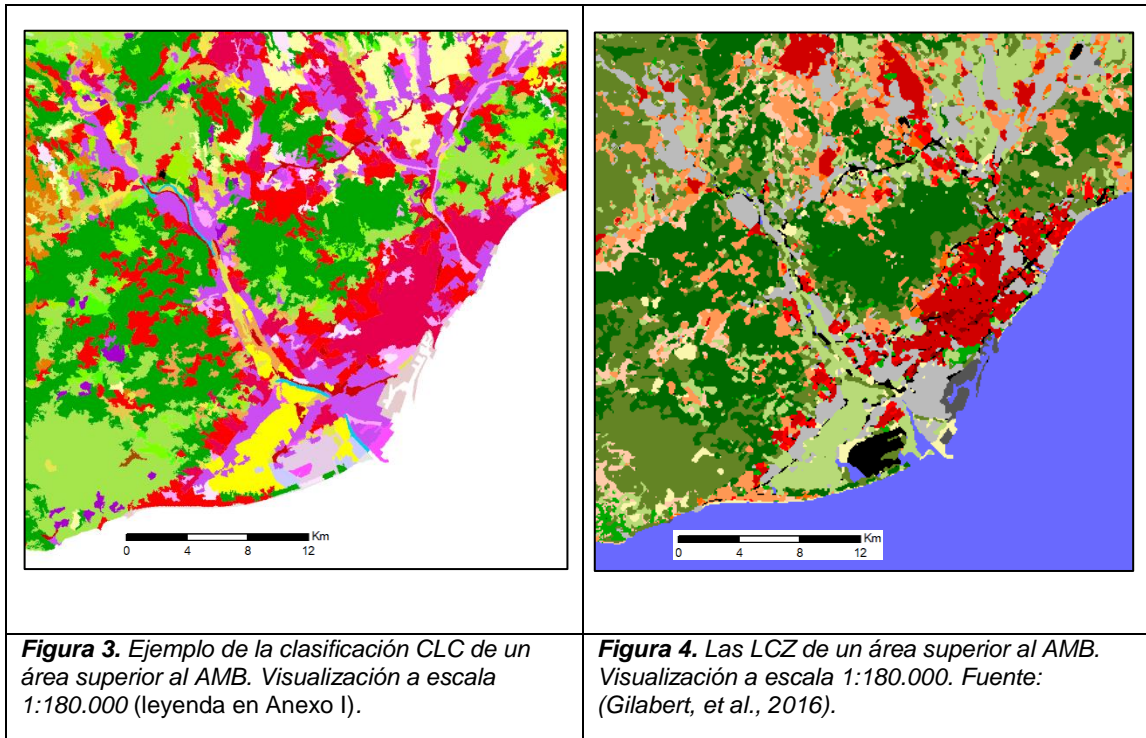
tomar mejores decisiones en la planificación urbana y la gestión de los espacios verdes.

Poder cuantificar el impacto de las infraestructuras verdes en las atmósferas (peri-) urbanas (proyecto *GUrbs* mencionado en el apartado 1.1) es necesario obtener los inventarios de emisión de alta resolución y conocer bien el territorio a través de capas de usos del suelo.

1.3 Problemática y oportunidad

Actualmente los inventarios de emisiones proporcionadas por el Centro de Supercomputación de Barcelona (BSC) tanto a nivel estatal como local (de Catalunya) están a una resolución espacial de 1km² y se obtienen a través del modelo HERMES v2.0 (Guevara, et al., 2013). No se puede cuantificar ni cualificar la eficacia de las infraestructuras verdes respecto la posible reducción de los niveles de contaminantes atmosféricos, que provienen de la combustión doméstica, si las emisiones están a una escala de 1km² ya que, en los entornos urbanos, las zonas verdes son generalmente áreas relativamente pequeñas. Por lo tanto, es necesario crear una metodología que permita desglosar espacialmente las emisiones en función de la densidad de población y el uso del suelo (Maes, et al., 2008). La metodología descrita en el artículo *Spatial surrogates for the disaggregation of CORINAIR emission inventories* (Maes, et al., 2008) utiliza como capa de usos del suelo del proyecto *CORINE Land Cover (CLC)* dirigido por la Agencia Europea de Medio Ambiente. CLC es una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio de todos los países que forman la Unión Europea que se creó a través de imágenes recogidas por satélites *LandSat* y *SPOT* (European Environment Agency, 2007), tiene una nomenclatura de 44 clases (ver Anexo I) y la resolución de la versión de 2012 es de 100m x 100m (**Figura 3**).

Actualmente existen iniciativas para dotar las áreas metropolitanas de una geoinformación que nos aporte una zonificación, no administrativa, vinculada a la resiliencia o respuesta climática. Por ejemplo, *World Urban Database and Access Portal Tools (WUADPT)* es un proyecto internacional que busca adquirir y almacenar datos urbanos utilizando un marco común y vincular estos datos con los métodos disponibles para el análisis climático y para el desarrollo de escenarios actuales y futuros (WUDAPT, 2012). Se utiliza la metodología conocida como *Local Climate Zones (LCZ)* una nueva clasificación que constituye una estandarización y generalización de zonas urbanas y rurales que tienen características térmicas similares (Stewart & Oke, 2012). Se fundamenta en que la zonificación, es decir, cada categoría de la leyenda (ver anexo I) está asociada a diferentes parámetros. Esta capa tiene un nivel de resolución muy elevado en las áreas urbanas y puede contribuir a elaborar indicadores de riesgo que ayudará a tomar decisiones de planificación urbana (Gilabert et al., 2018 – en revisión). *l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)* y la *Universitat de Barcelona (UB)* han creado la clasificación de las LCZ (**Figura 4**) para un área superior a la que corresponde al Área Metropolitana de Barcelona a una resolución de 100m x 100m (Gilabert, et al., 2016). Las LCZ se clasifican en 17 clases teniendo en cuenta no solo el uso del suelo sino también parámetros climáticos para conseguir mayor resolución (ver Anexo II).



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Como se ha expuesto anteriormente, hay una necesidad de cualificar la eficacia de las infraestructuras verdes en entornos urbanos respecto la posible reducción de los niveles de contaminantes atmosféricos para dotar a la administración de suficiente información y poder mejorar las políticas de gestión y planificación urbana. Por lo tanto, es necesario obtener un inventario de emisiones a una escala con una resolución más precisa para que se puedan aplicar modelos urbanos.

El objetivo de este proyecto es crear una metodología para desglosar las emisiones de combustión doméstica a una resolución geoespacial de 100 m x 100 m sobre el ecosistema urbano de Barcelona a partir del inventario de emisiones proporcionado por el Centro de Supercomputación de Barcelona (BSC) que actualmente está a una resolución espacial de 1 km x 1 km.

2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este proyecto se basan en la creación de la metodología para mejorar la resolución de las emisiones:

- Familiarizarse con los archivos de emisiones, como visualizarlos en diferentes *softwares* de sistemas de información geográfica (SIG).

- Procesar datos como la densidad de población y la clasificación de las LCZ para reasignar las emisiones de combustión doméstica sobre las posibles fuentes emisoras.
- Desarrollar un *script* mediante el lenguaje *Python* con tal de automatizar el proceso de la metodología creada.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Área de estudio

Las LCZ marcan el área de estudio de este trabajo (**Figura 5**) y corresponde a un área superior al Área Metropolitana de Barcelona que se encuentra en la Comunidad Autónoma de Catalunya (España). El AMB es una zona delimitada geográficamente para facilitar la planificación del territorio y está compuesta por Barcelona y 35 municipios adyacentes ocupando una superficie total de 636 km². La zona se encuentra entre los ríos Llobregat y Besós y entre la cordillera litoral y el mar Mediterráneo. El AMB se distingue por las altas temperaturas en verano (de entre 23-26°C) caracterizadas por las situaciones anticiclónicas y de pantano barométrico que propician fuertes episodios de contaminación. Actualmente residen más de 3,2 millones de personas, es decir, el 42,8% de la población catalana y se considera una de las áreas metropolitanas más grandes de Europa (AMB, 2018). El área de estudio de este trabajo tiene una extensión aproximada de 1.175 km².

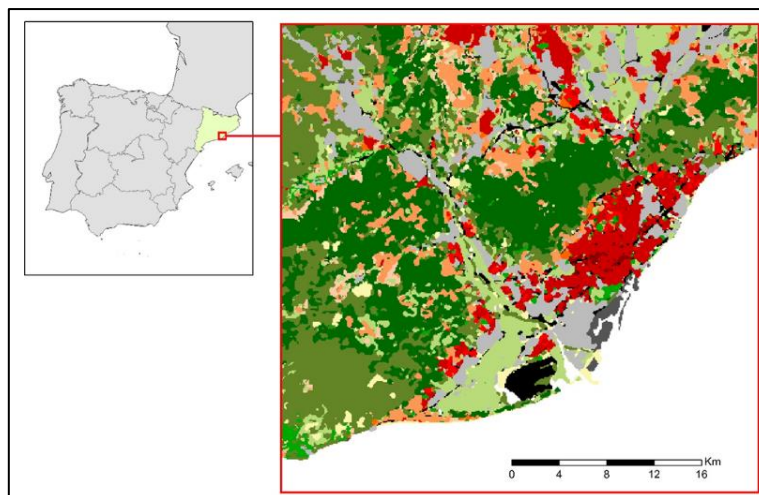


Figura 5. Área de estudio del proyecto.

3.2 Datos y materiales

La creación de la metodología de este proyecto precisa de diferentes datos y un software para desarrollar el proceso:

- ArcGIS de ESRI es el sistema de información geográfica (SIG) utilizado para el desarrollo de este proyecto, más concretamente se ha utilizado el *software* ArcMap. Esta plataforma se usa para analizar, visualizar, editar y crear información georreferenciada (ESRI, 2018).

- Inventario de emisiones de Catalunya del 2016 proporcionado por el Centro de Supercomputación de Barcelona (BSC) a una resolución espacial de 1 km x 1 km obtenidos a través del modelo HERMES v2.0. Los ficheros están en formato *NetCDF* (formulario de datos comunes en red) destinado a almacenar datos científicos multidimensionales que, en este caso, contiene diferentes contaminantes como el CO, NO, NO₂, PM2.5, SO₂, etc, y se pueden representar en diferentes dimensiones. Cada archivo contiene los datos de todas las variables (contaminantes) de un día y las unidades son **moles · s⁻¹ · 1 km⁻²** (para CO, NO, NO₂ y SO₂) o **g · s⁻¹ · 1 km⁻²** (para las partículas como PM2.5, POC y PEC). Las emisiones atmosféricas están clasificadas en las categorías SNAP 1 - 11 (*Selected Nomenclature for Air Pollution*) según sector de actividad. Esta metodología solo se puede aplicar en la categoría SNAP 2, correspondiente a emisiones de plantas de combustión no industriales. Se muestra en la **Figura 6** un ejemplo de la visualización de la contaminación por CO de Catalunya el día 1 de enero de 2016.

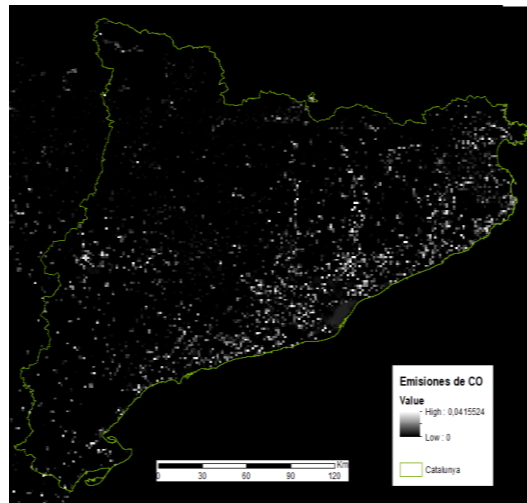


Figura 6. Emisiones de CO en Catalunya (1km x 1km), visualización a escala 1:1.182.000.

- Local Climate Zones: es la clasificación que constituye una estandarización y generalización de zonas urbanas y rurales que tienen características térmicas similares. En la **Figura 4** se muestran las LCZ de la zona del AMB. El mapa de LCZ se ha obtenido del proyecto *Climate Services Design for Urban Environments* (CLUES) del ICGC (2015-DI-038), siguiendo una metodología propia resumida a continuación:
 - Para la zona puramente del AMB las LCZ se han obtenido mediante la conversión de las leyendas del Urban Atlas, del Mapa de Cobertes del Sol de Catalunya y del Corine Land Cover acoplándolas sobre un modelo 3D de la zona (Gilabert, et al., 2016). Para rellenar los contornos del *plot* (fuera del AMB) se ha usado la metodología internacional WUDAPT basada en teledetección (Bechtel, et al., 2015). Una vez acoplados ambos métodos se han rasterizado a la misma resolución y se le ha aplicado un filtro para suavizar la muestra.

- Capa de población georreferenciada obtenida en la web del Instituto de Estadística de Cataluña (Idescat), proporciona variables de sexo, edad, nacionalidad y lugar de nacimiento (del registro de población de Catalunya a 1 de enero de 2016) en una cuadrícula multiresolución (de 62,5m, 125m y 250m) compatible con el *grid* estándar europeo (IDESCAT, 2018). La agregación se realiza con una estructura jerárquica conocida como *quadrees*, es decir, los elementos de un nivel pueden tener como máximo cuatro descendientes. El proceso de subdivisión está determinado por la población y esto permite optimizar la resolución en función de la densidad, es decir, ofrecer más resolución en las zonas donde se encuentra una elevada densidad de población (Behnisch, et al., 2013). La capa de puntos derivada de la geocodificación de las direcciones postales se agrega espacialmente utilizando un *quadtree* de resolución máxima 62,5 metros con un umbral mínimo de 17 habitantes. Los casos en que la población es inferior a ese valor se produce una agregación a los niveles superiores de 125 m o 250 m (ver **Figura 7**). Para este proyecto solo es necesario conocer la distribución geográfica de la población total.

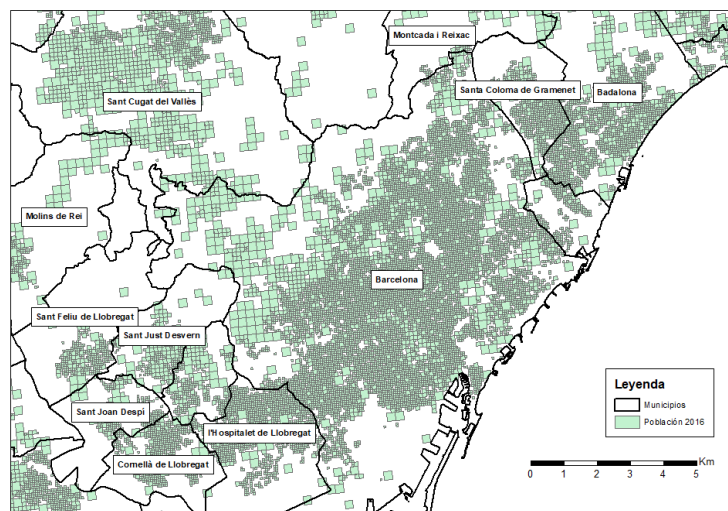


Figura 7. Distribución de la población de Catalunya de 2016 en algunos de los municipios del AMB. Visualización a escala 1:60.000.

3.3 Metodología

Con la combinación de los datos proporcionados por la capa de las *Local Climate Zones* y la capa de densidad de población se pueden localizar las áreas residenciales (marcadas en rojo en la **Figura 8**). Estas áreas son las que generan las emisiones de combustión doméstica y, dependiendo de la densidad de edificios, la intensidad de emisión es variable. La densidad de edificios se puede identificar con la capa de las LCZ: de la LCZ1 hasta la LCZ9 se caracterizan las diferentes zonas residenciales que puede haber en las áreas urbanas y que, por tanto, son fuente potencial de emisión de gases de combustión interna (ver Anexo II).

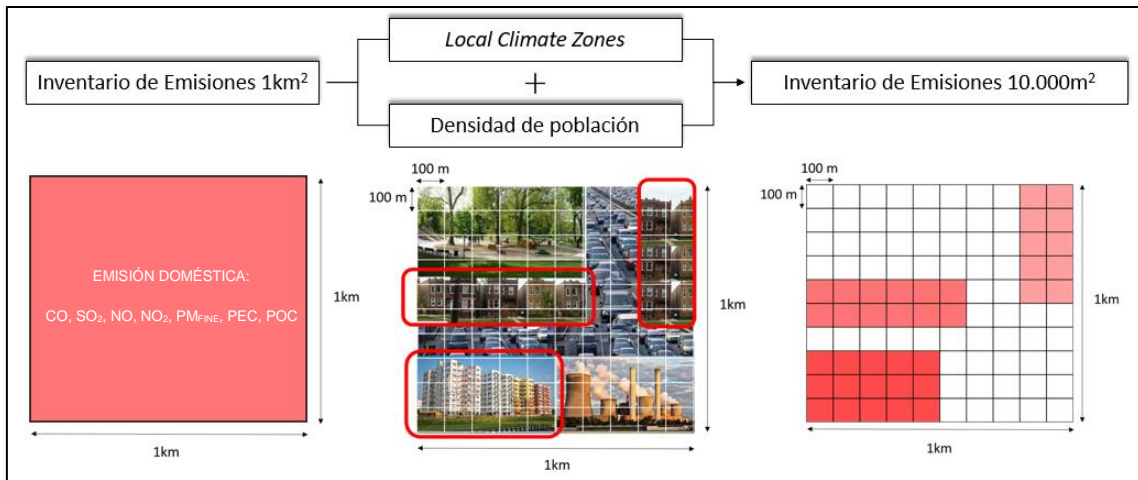


Figura 8. Esquema básico de la metodología para mejorar la resolución de las emisiones.

3.3.1 Creación de la cuadrícula 100m x 100m

Primero es necesario crear una cuadrícula (grid) de 100m x 100m de nuestra área de estudio que corresponde al área de extensión de la capa de las LCZ (ver **Figura 5**). Este proceso se realiza con la herramienta de ArcMap *Create Fishnet*. Dentro de cada cuadrícula de la *grid* de 100m x 100m hay que incorporarle la correspondiente información de población y LCZ con el siguiente procedimiento:

- I) Unión espacial cuadrícula – LCZ: con la herramienta *Spatial Join* (ArcMap) unimos las propiedades de la capa de las LCZ con la cuadrícula creada anteriormente y, de esta forma, conseguimos conocer qué categoría de LCZ tiene cada una de las celdas de la *grid* de 100m x 100m.
- II) Calcular densidad población: la capa de población georreferenciada viene dada por *grids* de diferentes tamaños, por eso es necesario calcular la densidad de población (población / área) a través del *Field Calculator* d'ArcMap.
- III) Unión espacial cuadrícula – población: con la herramienta *Spatial Join*, repetimos el proceso del apartado I) con la *grid* resultante de dicho apartado y la capa de población.
- IV) Calcular población por cada celda: a través del *Field Calculator*, multiplicamos la densidad de la población de la *grid* resultante del apartado III) con el área de cada celda y obtenemos el número de habitantes en cada celda de 100m x 100m.
- V) Calcular peso de población por cada LCZ: este cálculo se realiza a través de una hoja Excel y solo se tienen en cuenta de la LCZ1 hasta la LCZ9, que son las clases que describen las áreas residenciales. Con la capa resultante del apartado IV), obtenemos el total de población y clase de LCZ por celda. Se calcula primero el total de población de cada LCZ y después se hace una ratio entre el total. Esta ratio (que nombramos *Peso_LCZ*) nos indica el peso que tiene la población por cada clase de LCZ, por ejemplo, en este caso, el 70,69% de la población está localizada en la LCZ2 (ver **Tabla 1**).

LCZ	Población	PESO_LCZ	% PESO_LCZ
LCZ 1	199.586	0,0424	4,24%
LCZ 2	3.027.027	0,6424	64,24%
LCZ 3	354.855	0,0753	7,53%
LCZ 4	01.753	0,0004	0,04%
LCZ 5	122.525	0,0260	2,60%
LCZ 6	420.602	0,0893	8,93%
LCZ 7	00.000	0,0000	0,00%
LCZ 8	560.304	0,1189	11,89%
LCZ 9	25.582	0,0054	0,54%
TOTAL	4.712.234	1	100%

Tabla 1. Peso de población por cada LCZ.

VI) Unión espacial con grid de emisiones 1km²: El último paso para completar esta cuadrícula es conocer el número de celdas de 100m x 100m de cada LCZ que hay dentro de una celda de emisión 1km x 1km. Primero es necesario realizar un *Spatial Join* con una capa de emisión para obtener la cantidad de celdas que hay de una misma LCZ dentro de las dimensiones de 1km². Por ejemplo, la celda de emisión 1 del contaminante CO, la componen un total de 144 celdas de 100m x 100m de las cuales 12 son LCZ1, 36 LCZ2, 33 LCZ3, 46 LCZ5, 19 LCZ6, 4 LZ8, 4 LCZ B y 16 LCZ D (ver **Figura 9**). El cálculo se realiza a través de Excel y se incorpora a la capa de la *grid* 100m x 100m junto con toda la información calculada anteriormente. A la capa final resultante se le da el nombre de **completed_net100m**.

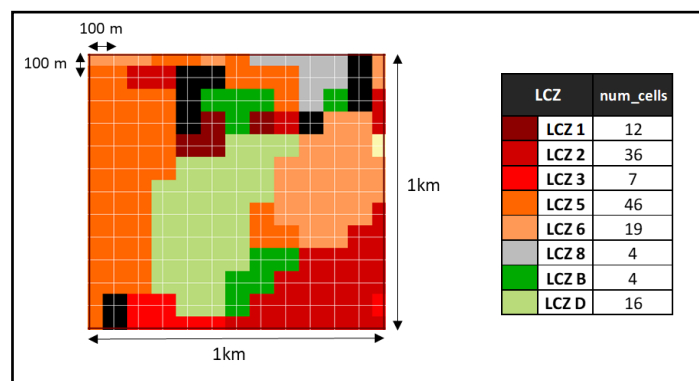


Figura 9. Ejemplo del cálculo del número de celdas por celda de emisión 1km² de la grid completed_net100m.

3.3.2 Desagregación de emisiones 1km x 1km a 100m x 100m

Combinando la capa *completed_net100m* con cada variable de emisión del inventario podemos obtener las emisiones en las celdas de 100m x 100m focalizadas en las áreas fuentes de emisión doméstica (LCZ1 hasta LCZ9). El procedimiento es el siguiente:

I) Transformar capa de emisiones: el primer paso es conseguir una capa de emisiones manejable ya que en ArcMap no es posible trabajar directamente con archivos *NetCDF*, pero sí que existen diferentes herramientas que permiten convertirlo en ráster o *Feature Layer*.

1. Con la herramienta *Make NetCDF to Feature Layer*, podemos transformar los archivos *NetCDF* en una capa de puntos (hay que seleccionar la variable, es decir, el contaminante).

2. El sistema de coordenadas de estos archivos y, por consecuencia, de la capa resultante del punto 1 es el *World Geodetic System 1984 (WGS84)*. Mediante la herramienta *Project* cambiamos el sistema de coordenadas al *European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)* ya que todas las anteriores capas se encuentran en esta proyección.
 3. A partir de la capa de puntos creamos una capa ráster (herramienta *Point to Raster*) y mediante el *clip* cortamos el área de estudio.
 4. Generamos una cuadrícula de 1km x 1km e incorporamos la información de la capa resultante del punto 3: extraemos el valor del contaminante de cada celda mediante la herramienta *Raster to Point* (el resultado es una capa de puntos), creamos una cuadrícula de 1km² de área y, a través de un *Spatial Join* con la capa resultante del *Raster to Point*, obtenemos una *grid* de la emisión del contaminante de 1km x 1km de resolución (capa de polígonos).
- II) Unir cuadrícula 100m x 100m con la emisión: con un *Spatial Join* entre la cuadrícula resultante del apartado (*completed_net100m*) y el polígono de emisión obtenido en el anterior punto 4, incorporamos la información del valor de emisión de escala 1km² a la *grid* de 100m x 100m.
- III) Calcular el valor de emisión por cada celda de 100m x 100m: primero, en la tabla de atributos, hay que añadirle un campo que nombraremos "*contaminante*"_100m2. A través del *Field Calculator* realizaremos la siguiente operación:

$$E_{Cont.cell1} = \frac{E_{1km} * PESO_{LCZ}}{num_cells} * Area_{cell1}$$

Siendo:

- $E_{Cont.cell1}$ = valor de la emisión resultante de cada celda.
- E_{1km} = valor de la emisión a escala 1km²
- $PESO_{LCZ}$ = peso de la población por cada LCZ.
- num_cells = número de celdas de cada LCZ dentro de una emisión de 1km².
- $Area_{cell1}$ = el área de una celda de 100m x 100m que siempre es 10.000m².

Solo las celdas con las LCZ de la 1 hasta la 9 (áreas urbanas) obtendrán resultado ya que el resto tiene un peso igual a 0. Por lo tanto, redistribuiremos la emisión de 1km² a las celdas de 10.000m² según la población y el número de celdas de cada LCZ dentro de un mismo valor de emisión a 1km x 1km (ver **Figura 10**).

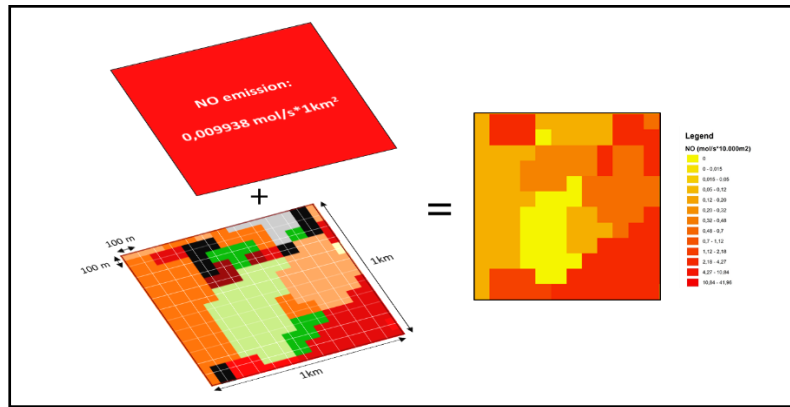


Figura 10. Ejemplo de la desagregación de una celda de emisión NO de 1km^2 a 10.000m^2 .

3.4 Implementación

Para simular situaciones atmosféricas es necesario introducir datos de emisiones diarias para un mes, varios meses o incluso años. Como se ha descrito anteriormente, cada fichero de emisión representa un día (24 horas) y contiene información de varios contaminantes, si se requiere mejorar la resolución espacial del inventario de todo un año, es decir, repetir manualmente el proceso descrito en el punto 3.2.2 para 365 ficheros con sus respectivas variables podría llevar muchísimo tiempo. Por eso se ha desarrollado un *script* mediante lenguaje *Python* que itera y automatiza el procedimiento. No es necesario crear una cuadrícula de 100m x 100m cada vez que se desagregue una emisión, la misma creada en el punto 3 servirá para todo el proceso. La **Figura 11** muestra gráficamente el proceso de iteración de diferentes *inputs* (archivos *.nc* y sus variables) y *outputs* (un *Feature Class* para cada fichero *NetCDF* (*.nc*) y cada contaminante).

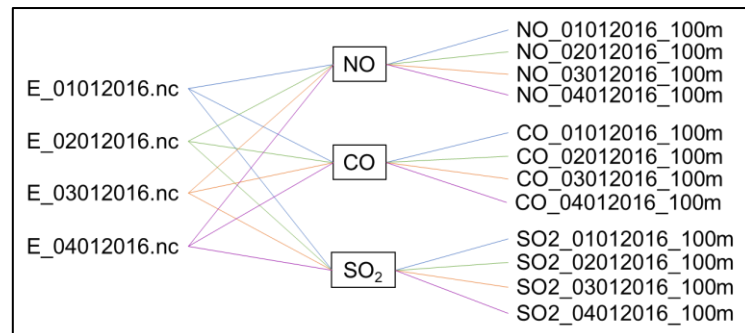


Figura 11. Ejemplo de iteración archivos *NetCDF* y sus variables.

El *script* completo se puede visualizar en el Anexo III y en el CD de resultados adjuntos en este trabajo, solo funciona en el programa de ArcMap. Seguidamente se detalla alguna de las partes del *script* más relevantes:

- Importar los paquetes de *arcpy* y *os*, establecer el directorio (*path*) donde irá a buscar los archivos *.nc* y donde ubicará los *outputs* resultantes. Primero hay que crear una carpeta '*EMISSIONS*' e incluir los archivos *.nc* y la grid *completed_net100m.shp*. Si el *script* es utilizado en otros ordenadores, se deben cambiar estas *path* acorde al directorio donde se cree la carpeta '*EMISSIONS*'.

```
import arcpy
import os
```

```
path="C:/Users/m22/Desktop/EMISSIONS"
path2="C:\Users\m22\Desktop\EMISSIONS\Emissions_100m.gdb"
path3="C:\Users\m22\Desktop\EMISSIONS\Emissions_100m_shp"
```

- Es necesario crear una Geodatabase (*path2*) e importar la *grid* añadida a la carpeta '*EMISSIONS*'. Los *Shapefiles* ocupan mucho espacio, por eso este script está diseñado para trabajar en una Geodatabase (ubicación de los *outputs*) y, en el último paso, convertir los *Feature Class* a *Shapefile*. Por lo tanto, es necesario también crear una carpeta para ubicar estos *Shapefiles* (*path3*). La creación de ambos directorios solo se realizará en caso de que no existan, utilizando la secuencia *if*:

```
if arcpy.Exists("Emissions_100m.gdb"):
    print "Geodatabase already exist"
else:
    Creación Geodatabase [ out_folder_path = path
                          out_name = "Emissions_100m.gdb"
                          arcpy.CreateFileGDB_management(out_folder_path, out_name)

    Importar grid.shp en la geodatabase [ inFeatures = ["completed_net100m.shp"]
                                         outLocation = "Emissions_100m.gdb"
                                         arcpy.FeatureClassToGeodatabase_conversion(inFeatures,
                                         outLocation)

if arcpy.Exists("Emissions_100m_shp"):
    print "Folder already exist"
else:
    Creación carpeta para Shapefiles [ out_folder_path = path
                                       out_name2 = "Emissions_100m_shp"
                                       arcpy.CreateFolder_management(out_folder_path, out_name2)
```

- Se tienen que definir los nombres de los archivos resultantes, donde encontrar los archivos entrantes y sus variables para iterar.

```
for file in os.listdir(path):
    if file.endswith(".nc"):
        Emissions = file
        fecha = file[15:22]
        var = ["NO", "CO", "NO2", "PMFINE", "SO2", "PEC"]
        for i in var:
            Variables = i
            v_Variables_Project=
            os.path.join(path2, str(Variables)+'_'+str(fecha)+'_Project')
```

Itera las variables para cada NetCDF y coge la parte del nombre que indica la fecha para construir el nombre del output.

Por ejemplo, el output *v_Variables_Project* sería:
C:\Users\m22\Desktop\EMISSIONS\Emissions_100m.gdb\NO_2016001_Project

- Una vez definidos los nombres empieza la desagregación. Cada proceso genera una capa resultante que solo se utilizará en el siguiente proceso y para evitar obtener una lista interminable de capas intermedias se eliminan una vez y ya no se utilizan más. Código para el proceso *Point To Raster*:

```
arcpy.PointToRaster_conversion(v_Variables__Project, Variables,  
v_Variables__PointToRaster, "MEAN", "NONE", "1200")
```

```
if arcpy.Exists(v_Variables__Project):  
    arcpy.Delete_management(v_Variables__Project)
```

- El último proceso para la conversión de *Feature Class* a *Shapefile* solo es necesario utilizarla si se desea tener como outputs archivos .shp.

3.5 Resultados

La simbolización y clasificación de las capas resultantes se realiza con ArcMap y se utiliza el método de *Jenks Natural Breaks*. Es un método de agrupamiento de datos diseñado para determinar la mejor disposición de valores en diferentes clases. Esto se hace buscando minimizar la desviación promedio de cada clase de la media de la clase, al tiempo que se maximiza la desviación de cada clase de los medios de los otros grupos. En otras palabras, el método busca reducir la varianza dentro de las clases y maximizar la varianza entre las clases (Jenks, 1967). Seguidamente se muestran los resultados para cada contaminante de combustión doméstica de resolución 100m x 100m en comparación con las emisiones a 1 km² (**Figuras 12 a 18**).

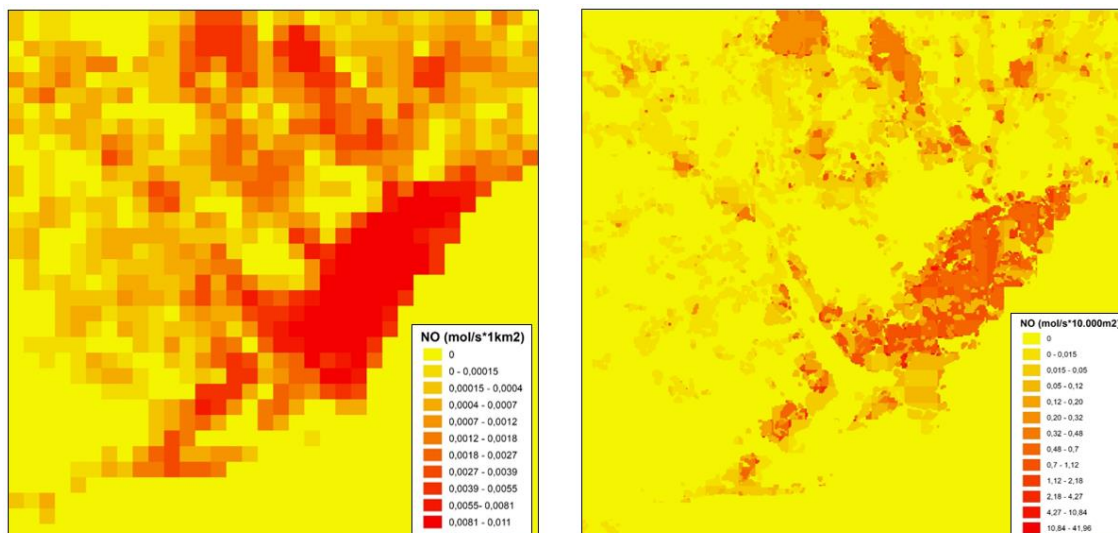


Figura 12. Emisión de NO a 1 km² y 10.000 m² respectivamente.

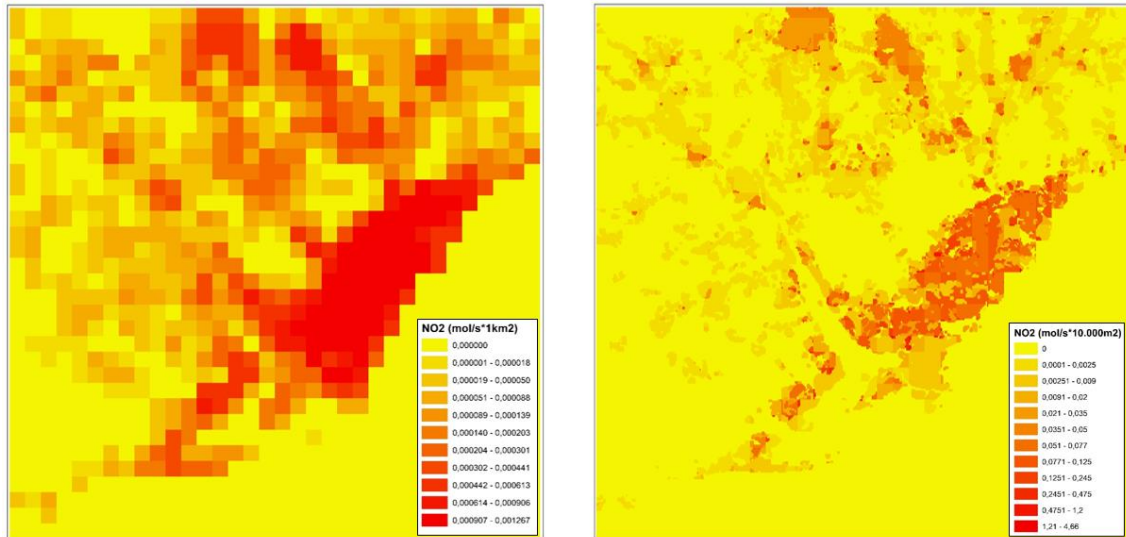


Figura 13. Emisión de NO₂ a 1 km² y 10.000 m² respectivamente.

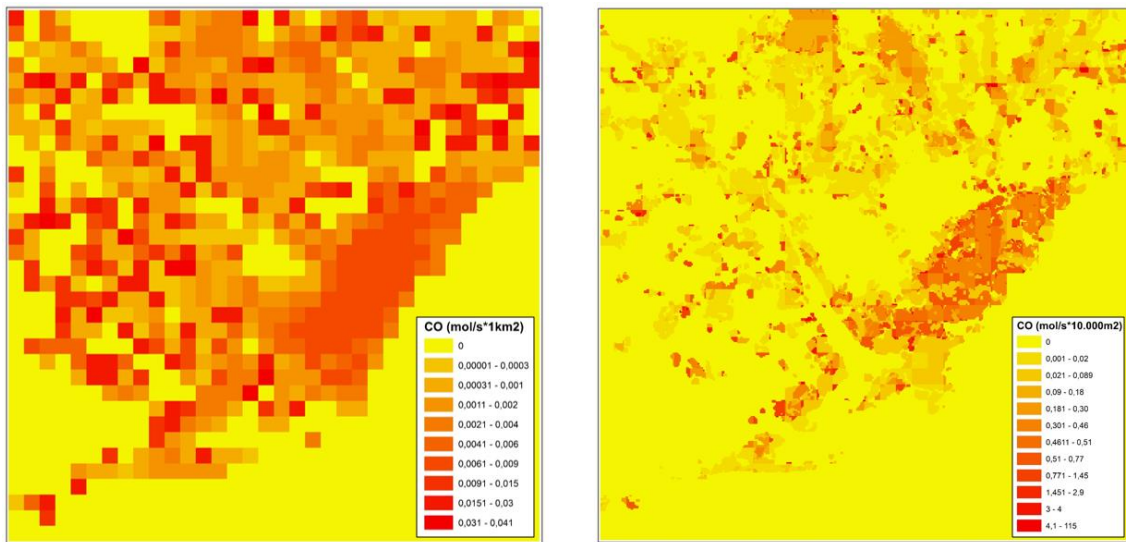


Figura 14. Emisión de CO a 1 km² y 10.000 m² respectivamente.

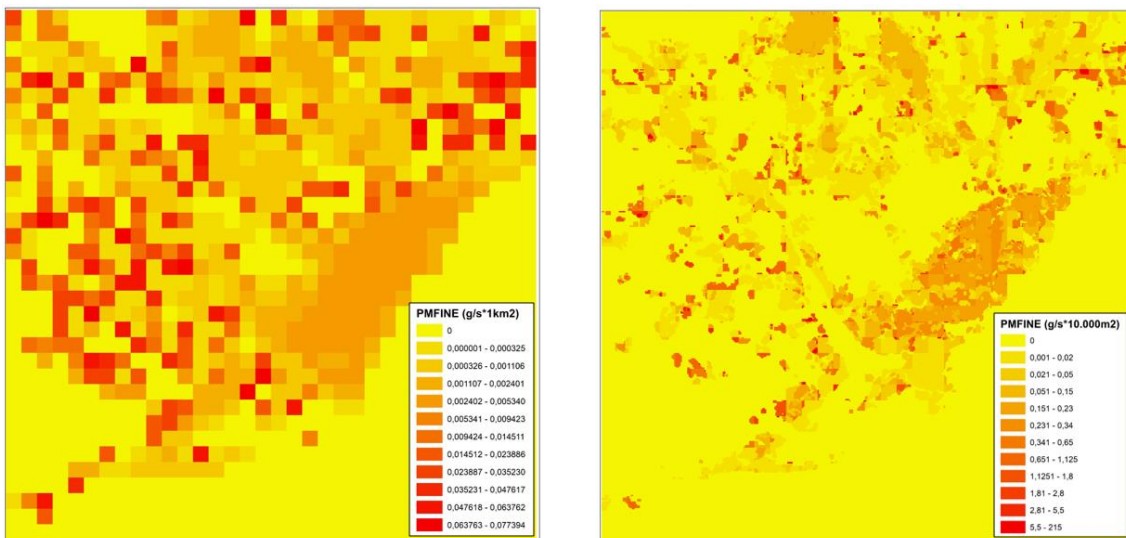


Figura 15. Emisión de PM_{2.5} a 1 km² y 10.000 m² respectivamente.

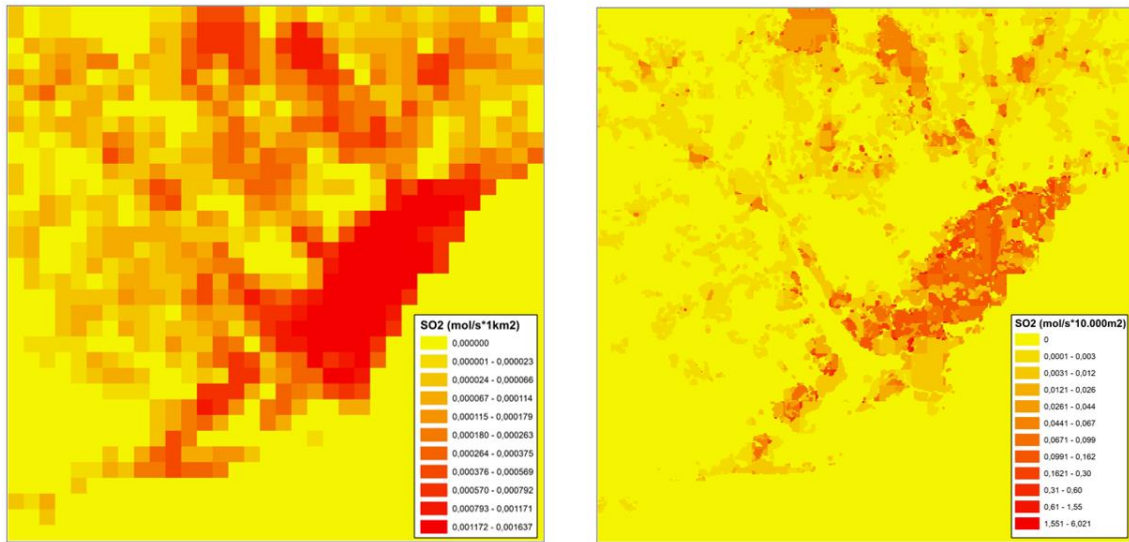


Figura 16. Emisión de SO₂ a 1 km² y 10.000 m² respectivamente.

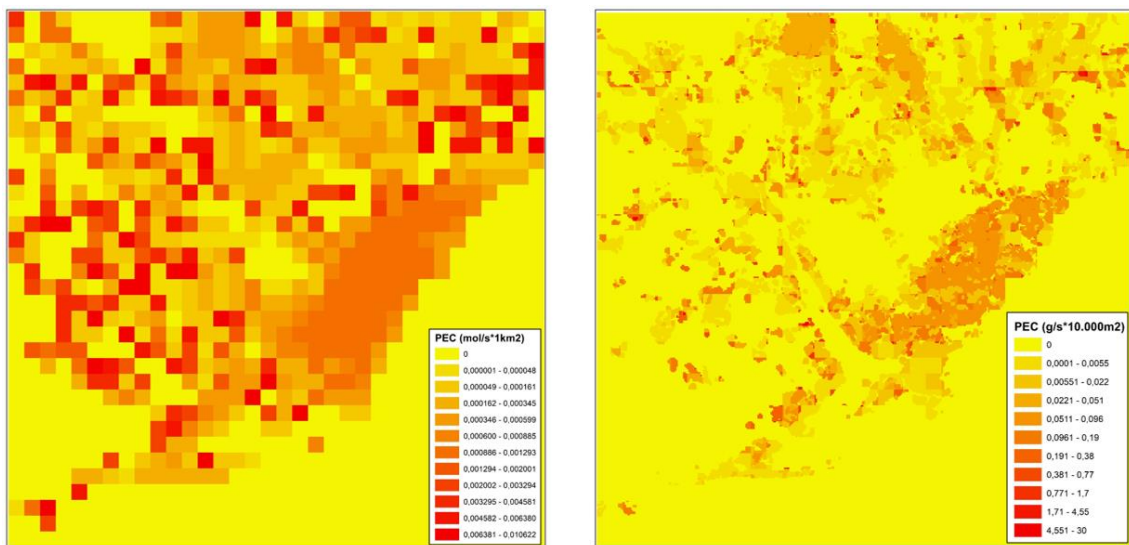


Figura 17. Emisión de PEC a 1 km² y 10.000 m² respectivamente.

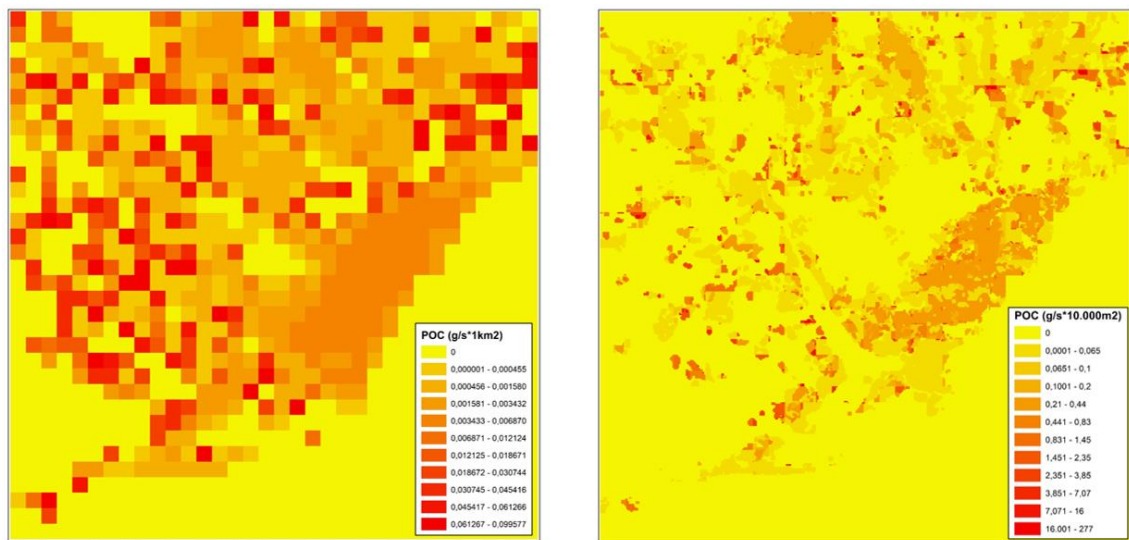


Figura 18. Emisión de POC a 1 km² y 10.000 m² respectivamente.

Se observa en las capas resultantes que la resolución mejora notablemente, se desagregan las emisiones en las áreas urbanas que son las posibles fuentes potenciales de emisión de contaminación doméstica. La metodología aplicada ha resultado ser buena ya que se ha garantizado la conservación de la masa, es decir, la emisión total de cada contaminante es igual en las dos cuadrículas. En otras palabras, el valor de concentración de un contaminante en una celda de 1km x 1km es el mismo que la suma de los valores de las celdas de 100m x 100m que componen esta celda de 1km x 1km.

Una gran concentración de emisión y con valores máximos para los contaminantes NO, NO₂ y SO₂ se encuentra, sobre todo, en la ciudad de Barcelona. Los contaminantes se desagregan correctamente en las áreas residenciales y en la ciudad Barcelona se ve potenciada esta desagregación ya que se observan celdas de la cuadrícula 100m x 100m con valores de emisión muy bajos o nulos que corresponden, sobre todo, a zonas verdes.

4. CONCLUSIONES

Se consigue desarrollar una buena metodología para mejorar la resolución de las emisiones de combustión doméstica gracias, sobre todo, a la buena caracterización del uso del suelo que ofrecen las *Local Climate Zones* para las zonas urbanas y periurbanas. Por otra parte, la escasez de las capas de LCZ es una limitación para el uso de esta metodología en otras grandes ciudades de Europa.

El uso de software para sistemas de información geográfica ofrece la posibilidad de combinar otras capas como la densidad de población y conseguir, en definitiva, una mejor desagregación de las emisiones de combustión doméstica a resolución 100m x 100m. Además, se ha podido mejorar la resolución espacial conservando la masa total.

El script desarrollado para la automatización de la metodología de este trabajo permite la generación de un nuevo inventario de emisiones a una alta resolución, aunque cabe destacar que para desagregar los contaminantes de las emisiones de combustión doméstica para un día tarda aproximadamente 15 minutos por lo que sería conveniente optimizar la metodología con tal de reducir este tiempo. Además, como trabajo futuro, sería conveniente adaptar el script con el fin de que sea multiplataforma y poder usarse en otros *softwares*.

5. BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, M. y otros, 2017. Impact of commuting exposure to traffic-related air pollution on cognitive development in children walking to school. *Environmental Pollution*, Volumen 231, pp. 837-844.
- AMB, 2018. *Àrea Metropolitana de Barcelona*. [En línea]
Available at: <http://www.amb.cat/en/web/area-metropolitana/coneixer-l-area-metropolitana>
[Último acceso: julio 2018].
- Bechtel, B. y otros, 2015. Mapping local climate zones for a worldwide database of the form and function of cities.. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Volumen 4, pp. 199-219.
- Behnisch, M., Meinel, G., Tramsen, S. & Diesselmann, M., 2013. Using quadtree representations in building stock visualization and analysis. *Erdkunde*, Volumen 67, pp. 151-166.
- Brousse, O. et al., 2016. WUDAPT, an efficient land use producing data tool for mesoscale models? Integration of urban LCZ in WRF over Madrid. *Urban Climate*, Volume 17, pp. 116-134.
- Ching, J. y otros, 2018. World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT), an urban weather, climate and environmental modeling infrastructure for the Anthropocene.. *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- Dadvand, P. y otros, 2018. The Association between Lifelong Greenspace Exposure and 3-Dimensional Brain. *Environmental Health Perspectives*, Volumen 126.
- de la Paz, D., Borge, R. & Martilli, A., 2016. Assessment of a high resolution annual WRF-BEP/CMAQ simulation for the urban area of Madrid (Spain). *Atmospheric Environment*, Volumen 144, pp. 282-296.
- Department of Economic and Social Affairs - United Nations, 2018. *United Nations*. [En línea]
Available at: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
[Último acceso: 11 Junio 2018].
- Earth System Research Laboratory, 2018. *NOAA Research*. [En línea]
Available at: https://rapidrefresh.noaa.gov/RAPchem/displayMapLocalDiskDateDomainZipTZA.cgi?keys=rap-chem:&runtime=2018061200&plot_type=nox_sfc&fcst=12&time_inc=180&num_times=17&model=rr&ptitle=RAP%20Chem%20Model%20Fields%20-%20Experimental&maxFcstLen=48&fcstStrLen=-1&
[Último acceso: 12 junio 2018].
- ESRI, 2018. *esri*. [En línea]
Available at: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>
[Último acceso: 14 junio 2018].

- European Environment Agency, 2007. eea. [En línea]
Available at: https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_17
[Último acceso: 12 junio 2018].
- Gilabert, J., Tardà, A. & Corbera, J., 2018. Assessment of vulnerability in ecosystems by using Local Climate Zones.. *Urban Climate*.
- Gilabert, J., Tardà, A., Llasat, M. & Corbera, J., 2016. *Assessment of Local Climate Zones over Metropolitan Area of Barcelona and added value of Urban Atlas, Corine Land Cover and Copernicus Layers under INSPIRE Specifications*.. Barcelona, s.n.
- Guevara, M. et al., 2013. An improved system for modelling Spanish emissions: HERMESv2.0. *Atmospheric Environment*, Volume 81, pp. 209-221.
- IDESCAT, 2018. idescat. [En línea]
Available at: <https://www.idescat.cat/cataleg/?tc=c&idp=172>
[Último acceso: 14 junio 2018].
- Jenks, G. F., 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, pp. 186-190.
- Lin, W., Wu, T., Zhang, C. & Yu, T., 2011. Carbon savings resulting from the cooling effect of green areas: A case study in Beijing.. *Environmental Pollution*, Volumen 159, pp. 2148-2154.
- Maes, J. y otros, 2008. Spatial surrogates for the disaggregation of CORINAIR emission inventories.. *Atmospheric Environment*, Volumen 43, pp. 1246-1254.
- Middel, A. y otros, 2014. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, Volumen 122, pp. 16-28.
- National Center for Atmospheric Research, 2018. UCAR. [En línea]
Available at: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>
[Último acceso: 12 junio 2018].
- National Center for Atmospheric Research-2, 2018. UCAR. [En línea]
Available at: http://www2.mmm.ucar.edu/projects/wrf-model/plots/showforecast_15.php
[Último acceso: 12 junio 2018].
- Nowak, D., Crane, D. & Stevens, J., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*, Volumen 4, pp. 115-123.
- Pacific Northwest National Laboratory, 2018. PNNL. [En línea]
Available at: <https://www.pnnl.gov/atmospheric/research/wrf-chem/>
[Último acceso: 12 junio 2018].
- Reducing Urban Heat Islands, 2017. EPA. [En línea]
Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_5.pdf
[Último acceso: 12 junio 2018].
- Salamanca, F., Martilli, A., Tewari, M. & Chen, F., 2011. A study of the urban boundary layer using different urban parameterizations and high-resolution urban canopy parameters with WRF. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Volumen 50, pp. 1107-1128.

- Salamanca, Martilli, A. & Yagüe, C., 2012. A numerical study of the Urban Heat Island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. *International Journal of Climatology*, Volume 32, pp. 2372-2386.
- Santiago, J., Martilli, A. & Martin, F., 2017. On Dry Deposition Modelling of Atmospheric Pollutants on Vegetation at the Microscale: Application to the Impact of Street Vegetation on Air Quality. *Boundary-Layer Meteorology*, Volumen 162, pp. 451-474.
- Stewart, I. & Oke, T., 2012. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Volumen 93, pp. 1879-1900.
- Tan, J. y otros, 2009. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai.. *International Journal of Biometeorology*, Volumen 54, pp. 75-84.
- UN Habitat for a better urban future, 2011. *unhabitat*. [En línea] Available at: <http://mirror.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3086> [Último acceso: 12 junio 2018].
- Wang, Y., Li, Y., Martilli, A. & Chan, P., 2018. Effects of anthropogenic heat due to air-conditioning systems on an extreme high temperature event in Hong Kong. *Environmental Research Letters*, Volumen 13.
- WUDAPT, 2012. *WUDAPT*. [En línea] Available at: <http://www.wudapt.org/> [Último acceso: 12 junio 2018].
- Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C. & Pauleit, S., 2016. Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry and Urban Greening*, Volumen 20, pp. 305-316.

6. ANEXOS






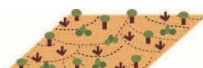








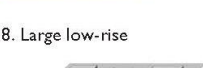
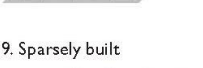

Anexo I: Clases del *CORINE Land Cover*



Fuente: (European Environment Agency, 2007).


















Anexo II: Clases y parámetros de las Local Climate Zones

Clases:

Built types	Definition	Land cover types	Definition
 <p>1. Compact high-rise</p>	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>A. Dense trees</p>	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
 <p>2. Compact midrise</p>	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	 <p>B. Scattered trees</p>	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
 <p>3. Compact low-rise</p>	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	 <p>C. Bush, scrub</p>	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
 <p>4. Open high-rise</p>	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>D. Low plants</p>	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
 <p>5. Open midrise</p>	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>E. Bare rock or paved</p>	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
 <p>6. Open low-rise</p>	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	 <p>F. Bare soil or sand</p>	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
 <p>7. Lightweight low-rise</p>	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	 <p>G. Water</p>	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
 <p>8. Large low-rise</p>	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	VARIABLE LAND COVER PROPERTIES	
 <p>9. Sparsely built</p>	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	Variable or ephemeral land cover properties that change significantly with synoptic weather patterns, agricultural practices, and/or seasonal cycles.	
 <p>10. Heavy industry</p>	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	<p><i>b. bare trees</i></p> <p><i>s. snow cover</i></p> <p><i>d. dry ground</i></p> <p><i>w. wet ground</i></p>	<p>Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.</p> <p>Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.</p> <p>Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.</p> <p>Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.</p>

Fuente: (Stewart & Oke, 2012).

Parámetros:

	Local climate zone (LCZ)	Sky view factor ^a	Aspect ratio ^b	Building surface fraction ^c	Impervious surface fraction ^d	Previous surface fraction ^e	Height of roughness elements ^f	Terrain roughness class ^g	Surface admittance ^h	Surface albedo ⁱ	Anthropogenic heat output ^j
	LCZ 1 <i>Compact high-rise</i>	0.2-0.4	> 2	40-60	40-60	< 10	> 25	8	1,500-1,800	0.10-0.20	50-300
	LCZ 2 <i>Compact midrise</i>	0.3-0.6	0.75-2	40-70	30-50	< 20	10-25	6-7	1,500-2,200	0.10-0.20	< 75
	LCZ 3 <i>Compact low-rise</i>	0.2-0.6	0.75-1.5	40-70	20-50	< 30	3-10	6	1,200-1,800	0.10-0.20	< 75
	LCZ 4 <i>Open high-rise</i>	0.5-0.7	0.75-1.25	20-40	30-40	30-40	> 25	7-8	1,400-2,000	0.12-0.25	< 50
	LCZ 5 <i>Open midrise</i>	0.5-0.8	0.3-0.75	20-40	30-50	20-40	10-25	5-6	1,400-2,000	0.12-0.25	< 35
	LCZ 6 <i>Open low-rise</i>	0.6-0.9	0.3-0.75	20-40	20-50	30-60	3-10	5-6	1,200-1,800	0.12-0.25	< 25
	LCZ 7 <i>Lightweight low-rise</i>	0.2-0.5	1-2	60-90	< 20	< 30	2-4	4-5	800-1,500	0.15-0.35	< 35
	LCZ 8 <i>Large low-rise</i>	> 0.7	0.1-0.3	30-50	40-50	< 20	3-10	5	1,200-1,800	0.15-0.25	< 50
	LCZ 9 <i>Sparsely built</i>	> 0.8	0.1-0.25	10-20	< 20	60-80	3-10	5-6	1,000-1,800	0.12-0.25	< 10
	LCZ 10 <i>Heavy Industry</i>	0.6-0.9	0.2-0.5	20-30	20-40	40-50	5-15	5-6	1,000-2,500	0.12-0.20	> 300
	LCZ A <i>Dense trees</i>	< 0.4	> 1	< 10	< 10	> 90	3-30	8	unknown	0.10-0.20	0
	LCZ B <i>Scattered trees</i>	0.5-0.8	0.25-0.75	< 10	< 10	> 90	3-15	5-6	1,000-1,800	0.15-0.25	0
	LCZ C <i>Bush, scurb</i>	0.7-0.9	0.25-1.0	< 10	< 10	> 90	< 2	4-5	700-1,500	0.15-0.30	0
	LCZ D <i>Low plants</i>	> 0.9	< 0.1	< 10	< 10	> 90	< 1	3-4	1,200-1,600	0.15-0.25	0
	LCZ E <i>Bare rock or paved</i>	> 0.9	< 0.1	< 10	> 90	< 10	< 0.25	1-2	1,200-2,500	0.15-0.30	0
	LCZ F <i>Bare soil or sand</i>	> 0.9	< 0.1	< 10	< 10	> 90	< 0.25	1-2	600-1,400	0.20-0.35	0
	LCZ G <i>Water</i>	> 0.9	< 0.1	< 10	< 10	> 90	-	1	1,500	0.02-0.10	0

Fuente: (Stewart & Oke, 2012).

Anexo III: Script Python para automatizar la desagregación de emisiones

```
# Import arcpy module
```

```
import arcpy
```

```
import os
```

```
path="C:/Users/m22/Desktop/EMISSIONS"
```

```
path2="C:\Users\m22\Desktop\EMISSIONS\Emissions_100m.gdb"
```

```
path3="C:\Users\m22\Desktop\EMISSIONS\Emissions_100m_shp"
```

```
os.chdir(path)
```

```
from arcpy import env
```

```
arcpy.env.overwriteOutput = True
```

```
arcpy.env.workspace = path
```

```
if arcpy.Exists("Emissions_100m.gdb"):
```

```
    print "Geodatabase already exist"
```

```
else:
```

```
    out_folder_path = path
```

```
    out_name = "Emissions_100m.gdb"
```

```
    arcpy.CreateFileGDB_management(out_folder_path, out_name)
```

```
    inFeatures = ["completed_net100m.shp"]
```

```
    outLocation = "Emissions_100m.gdb"
```

```
    arcpy.FeatureClassToGeodatabase_conversion(inFeatures, outLocation)
```

```
if arcpy.Exists("Emissions_100m_shp"):
```

```
    print "Folder already exist"
```

```
else:
```

```
    out_folder_path = path
```

```
    out_name2 = "Emissions_100m_shp"
```

```
    arcpy.CreateFolder_management(out_folder_path, out_name2)
```

Local variables:

for file in os.listdir(path):

if file.endswith(".nc"):

Emissions = file

fecha = file[15:22]

var = ["NO", "CO", "NO2", "PMFINE", "SO2", "PEC", "POC"]

for i in var:

Variables = i

v_Variables__Layer = str(Variables)+'_'+str.fecha)+"_Layer"

v_Variables__Project

os.path.join(path2,str(Variables)+'_'+str.fecha)+"_Project")

Value_field = i

v_Variables__PointToRaster

os.path.join(path2,str(Variables)+'_'+str.fecha)+"_PointToRaster")

completed_net100m2

"Emissions_100m.gdb\completed_net100m_shp"

v_Variables__clip

os.path.join(path2,str(Variables)+'_'+str.fecha)+"_clip")

fish_NO_1km_label

os.path.join(path2,str(Variables)+'_'+str.fecha)+"_fish1km_label")

fish__Variables__1km

os.path.join(path2,str(Variables)+'_'+str.fecha)+"_fish_1km")

v_Variables__point

os.path.join(path2,str(Variables)+'_'+str.fecha)+"_point")

v_Variables__pol1km

os.path.join(path2,str(Variables)+'_'+str.fecha)+"_pol1km")

output_emission

os.path.join(path2,str(Variables)+'_'+str.fecha)+"_100m2")

print(output_emission)

field_variable = str(Variables)+"_100m2"

Process: Make NetCDF Feature Layer

arcpy.MakeNetCDFFeatureLayer_md(Emissions, Variables,
"lon", "lat", v_Variables__Layer, "ROW;COL", "", "", "", "BY_VALUE")

Process: Project

```

arcpy.Project_management(v_Variables__Layer,
v_Variables__Project,
"PROJCS['ETRS_1989_UTM_Zone_31N',GEOGCS['GCS_ETRS_1989',DATUM['D_E
TRS_1989',SPHEROID['GRS_1980',6378137.0,298.257222101]],PRIMEM['Greenwich'
,0.0],UNIT['Degree',0.0174532925199433]],PROJECTION['Transverse_Mercator'],PAR
AMETER['False_Easting',500000.0],PARAMETER['False_Northing',0.0],PARAMETER[
'Central_Meridian',3.0],PARAMETER['Scale_Factor',0.9996],PARAMETER['Latitude_O
f_Origin',0.0],UNIT['Meter',1.0]]", "ETRS_1989_To_WGS_1984",
"GEOGCS['GCS_WGS_1984',DATUM['D_WGS_1984',SPHEROID['WGS_1984',63781
37.0,298.257223563]],PRIMEM['Greenwich',0.0],UNIT['Degree',0.0174532925199433]]
", "NO_PRESERVE_SHAPE", "", "NO_VERTICAL")

```

```

if arcpy.Exists(v_Variables__Layer):

```

```

    arcpy.Delete_management(v_Variables__Layer)

```

Process: Point to Raster

```

arcpy.PointToRaster_conversion(v_Variables__Project,
Variables, v_Variables__PointToRaster, "MEAN", "NONE", "1200")

```

```

if arcpy.Exists(v_Variables__Project):

```

```

    arcpy.Delete_management(v_Variables__Project)

```

Process: Clip

```

arcpy.Clip_management(v_Variables__PointToRaster,
"402154,8692 4563479,3227 442354,8692 4603679,3227", v_Variables__clip,
completed_net100m2, "", "NONE", "NO_MAINTAIN_EXTENT")

```

```

if arcpy.Exists(v_Variables__PointToRaster):

```

```

    arcpy.Delete_management(v_Variables__PointToRaster)

```

Process: Create Fishnet

```

arcpy.CreateFishnet_management(fish__Variables__1km,
"401754,8692 4563279,3227", "401754,8692 4563289,3227", "1200", "1200", "", "",
"442554,8692 4604079,3227", "NO_LABELS", v_Variables__clip, "POLYGON")

```

Process: Raster to Point


```
arcpy.RasterToPoint_conversion(v_Variables__clip,  
v_Variables__point, "Value")
```

```
if arcpy.Exists(v_Variables__clip):
```

```
arcpy.Delete_management(v_Variables__clip)
```

Process: Spatial Join

```
arcpy.SpatialJoin_analysis(fish__Variables__1km,  
v_Variables__point, v_Variables__pol1km, "JOIN_ONE_TO_ONE", "KEEP_ALL", "",  
"CONTAINS", "", "")
```

```
if arcpy.Exists(fish__Variables__1km):
```

```
arcpy.Delete_management(fish__Variables__1km)
```

```
if arcpy.Exists(v_Variables__point):
```

```
arcpy.Delete_management(v_Variables__point)
```

Process: Spatial Join (2)

```
arcpy.SpatialJoin_analysis(completed_net100m2,  
v_Variables__pol1km, output_emission, "JOIN_ONE_TO_ONE", "KEEP_ALL", "",  
"WITHIN", "", "")
```

```
if arcpy.Exists(v_Variables__pol1km):
```

```
arcpy.Delete_management(v_Variables__pol1km)
```

Process: Add Field

```
arcpy.AddField_management(output_emission, field_variable,  
"FLOAT", "15", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
```

Process: Calculate Field

```
arcpy.CalculateField_management(output_emission,  
field_variable, "([grid_code]* [PESO_LCZ])/ [num_cells]* [AREA]", "VB", "")
```

#Process: Feature Class to Shape

```
arcpy.FeatureClassToShapefile_conversion(output_emission,  
path3)
```

Anexo IV: Resultados en formato digital

Los resultados en formato digital se encuentran en el CD adjunto en este trabajo y hay los siguientes archivos:

- **Disaggregation Emissions 1km to 100m.py**: Script en lenguaje *Python* para la automatización del proceso de desagregación de emisiones.
- **Maps**: carpeta con los mapas resultantes de la aplicación de la metodología resolución 100m x 100m y los mapas a resolución 1km x 1km para su comparación.