

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN**

**LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SOBRE
OCUPACIÓN DEL SUELO PARA ANALIZAR LA
EXPOSICIÓN AL RIESGO DE INCENDIO FORESTAL
EN ZONAS RESIDENCIALES**



AUTOR: Víctor Moreno Sánchez

DIRECTORES: Alfredo Ramón Morte y César Arriaga Egüés

ABSTRACT

Geographic information on land use / land cover (LU/LC) has strategic importance in studies of wildfire hazard in residential and urban areas. However, The Information System on Soil Occupation of Spain (SIOSE), geodatabase which provides massive volumes of high quality LU/LC data, presents a complex operation. As a consequence, users resort to alternative data sources, such as CORINE Land Cover (CLC), which is a reclassification of SIOSE itself. Faced with this kind of usability problems, the National Project SIOSE-INNOVA (CSO2016-79420-R), which sponsors this research, aims to increase the accessibility and usability of SIOSE geodatabase, whose potential is hidden for non-expert users on database management. In this study, the use of SIOSE data for assessing exposure to the wildfire hazard in Wildland-Urban Interface Zones (WUI) has been undertaken from a massive processing approach on two different geographic areas in Spain (Navarra and Castellón). A PostGIS geodatabase and a SQL code that implements the methodology from the reference bibliography has been built for the spatial determination of exposure risk. Subsequently, results have been verified either from a desktop GIS, and contrasting the results with other sources.

KEY WORDS

Wildfire risk, hazard exposure, land use, wildland-urban interface, GIS, SIOSE, CORINE, WUI, PostGIS, Docker, Geopackage.

RESUMEN

La información geográfica sobre la ocupación del suelo tiene una importancia estratégica en los estudios de riesgo de incendio forestal que pueden afectar a zonas residenciales y urbanas. Sin embargo, el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE), geodatabase de gran calidad y volumen, ofrece el problema de la dificultad de explotación. Esta situación provoca la generalización del uso de otras fuentes más sencillas, como el CORINE Land Cover (CLC), una reclasificación del propio SIOSE. Frente a situaciones de este tipo, el Proyecto Nacional SIOSE-INNOVA (CSO2016-79420-R) que patrocina esta investigación, tiene por objeto incrementar la accesibilidad y capacidad de uso del SIOSE, cuyo potencial se encuentra oculto para usuarios no expertos. En este estudio se ha evaluado la aplicación del SIOSE de forma masiva sobre dos ámbitos diferenciados (Navarra y Castellón) en la exposición al riesgo de incendio de las Zonas de Interfaz Urbano-Forestal (ZIUF). Para ello se ha utilizado una geodatabase PostGIS con sentencias SQL adaptadas a la metodología de la bibliografía de referencia para la determinación espacial de las ZIUF, verificando los resultados desde un GIS de escritorio y comparándolo con otras fuentes.

PALABRAS CLAVE

Riesgo de incendio, exposición al riesgo, usos del suelo, interfaz urbano-forestal, SIG, SIOSE, CORINE, ZIUF, PostGIS, Docker, Geopackage.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Un presente en llamas.....	5
1.2. El SIOSE en perspectiva.....	6
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	9
2.1. Marco teórico.....	9
2.2. Antecedentes.....	10
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	11
4. METODOLOGÍA.....	11
4.1. Origen.....	11
4.2. Propuesta.....	13
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
5.1. Experimento: entorno contenerizado para el desarrollo del algoritmo SQL.....	18
5.2. El código SQL.....	19
5.3. ZIUF de intermix e interfaz determinadas con el SIOSE y la metodología propuesta.....	22
5.4. Comparación del resultado obtenido: PATFOR (Castellón) y CLC (Navarra)..	26
5.5. Acercando el SIOSE: Conocimiento en <i>geopackages</i>	29
5.6. Discusión de los resultados.....	30
6. CONCLUSIONES.....	31
7. BIBLIOGRAFÍA.....	32
7.1. Recursos.....	32
7.2. Recursos web.....	33
8. ANEXOS.....	35
8.1. Anexo 1: El código SQL.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Incendio Fort McMurray 2016-2017.....	6
2. Localización de las áreas de estudio propuestas.....	8
3. Procedimiento teórico para el cálculo de las ZIUF de intermix.....	13
4. Procedimiento teórico para el cálculo de las ZIUF de interfaz.....	13
5. Ejemplo de implementación de metodología CTE.....	16
6. Ejemplo de creación de vista materializada. Tiempo de computación precisado: 728 segundos (CPU: i5-4210U).....	17
7. Ejemplo y resultado de ejecución de window functions.....	17
8. Código y resultado de parametrización SQL personalizada.....	18
9. Diagrama de dependencias del código SQL para la obtención de las ZIUF de intermix.....	21
10. Diagrama de dependencias del código SQL para la obtención de las ZIUF de interfaz.....	21
11. ZIUF de Castellón según el SIOSE (escala regional).....	22
12. ZIUF de Navarra según el SIOSE (escala regional).....	23
13. ZIUF de Castellón: Área ampliada (1:25.000).....	24
14. ZIUF de Navarra: Área ampliada (1:25.000).....	24

15. ZIUF de Castellón: Área en detalle (1:5.000).....	25
16. ZIUF de Navarra: Área en detalle (1:5.000).....	26
17. ZIUF de Castellón según el PATFOR (escala regional).....	27
18. ZIUF de Navarra según el CLC (escala regional).....	28
19. Comparación visual de las ZIUF obtenidas del SIOSE y del PATFOR (Castellón: escala regional).....	28
20. Comparación visual de las ZIUF obtenidas del SIOSE y del CLC (Navarra: escala regional).....	29
21. Comparación visual de las ZIUF obtenidas del SIOSE y del CLC (Navarra: escala comarcal).....	29

1. INTRODUCCIÓN

Nos parece importante introducir esta investigación aclarando ciertas diferencias que existen entre tres conceptos clave que tienden a confundirse en su definición por su estrecha relación, ya que el presente estudio se focaliza concretamente en uno de ellos. Este es la **exposición** al riesgo, el cual se diferencia de la peligrosidad y la vulnerabilidad porque valora la cantidad de recursos, tanto humanos como materiales, susceptibles de verse afectados por un riesgo específico; mientras que la **peligrosidad** evalúa la probabilidad en lugar y tiempo de que dicho riesgo específico concorra y la **vulnerabilidad** identifica los efectos no deseados sobre los recursos expuestos al riesgo específico (Caballero *et al.*, 2007). De lo cual se infiere que dados los tres factores de forma concurrente estamos ante un riesgo determinado. Y por lo tanto, la sola ausencia de uno de ellos anularía la presencia de riesgo.

Verbigracia, suponemos un grupo de viviendas rodeado de una masa forestal. Un historial de cierta frecuencia de incendios en el área indicaría una mayor peligrosidad, mientras que contar con amplios espacios cortafuegos reduciría la vulnerabilidad, no obstante una alta densidad de residencias elevaría la exposición. Si uno de los tres elementos no se diera, no podríamos hablar de riesgo.

Al focalizarnos en la exposición al riesgo de incendio, las masas forestales son parte de nuestros objetivos por lo que traemos a colación la conceptualización de comburente, combustible y desencadenante, componentes de la reacción en cadena que desemboca en un incendio forestal. El **comburente**, normalmente el oxígeno del aire, es el elemento que reacciona con el combustible permitiendo la combustión. El **combustible** en nuestro caso sería la propia masa forestal. Y el **desencadenante** de la reacción es una fuente de calor cuya génesis proviene de la intervención humana o de un fenómeno natural (Vaquero Cáceres, 2016).

1.1. Un presente en llamas

Las masas forestales son el combustible de los incendios y estos últimos suponen un problema crítico en la actualidad para la población y los bienes, como podemos comprobar observando recientes episodios de gran repercusión debido a la magnitud de las catástrofes, cuantificadas en serias pérdidas humanas y materiales. A continuación reseñaremos sucintamente algunos de estos eventos acudiendo a la información proporcionada por la prensa e informes oficiales.

- Canadá (2016-2017)¹: Iniciado el 1 de Mayo de 2016, considerado bajo control el 4 de Julio del mismo año, pasando al estado de extinguido el 2 de Agosto de 2017. Fallecieron 2 personas por causa relacionada con el incendio, provocó el desplazamiento de 88.000 personas, se cifró el área calcinada en 600.000 hectáreas, 2.400 edificios (viviendas y negocios) completamente destruidos y unos costes en daños asegurados estimados en 3.600 millones de dólares.

- Portugal (2017)²: Iniciado el 17 de Junio, considerado bajo control el 21 de Junio, pasando al estado de extinguido el 24 de Junio. Ha sido el incendio más mortífero de la historia de Portugal, 65 personas fallecieron por causa relacionada con el incendio, el área calcinada ascendió a casi 53.000 hectáreas y 500 viviendas

1. Diferentes notas de prensa de CBC, GlobalNews y Edmonton Journal y el informe oficial "Home Again" del Gobierno de la Provincia de Alberta.

2. Diferentes notas de prensa de DN, CMJornal, SIC Noticias y Público.

fueron completamente destruidas. El gobierno cifró los daños en 500 millones de euros.

· Actualmente se encuentran en activo diversos incendios forestales que continúan causando graves estragos. Es el caso del incendio declarado en Grecia el 23 de Julio de este año, el cual se ha cobrado ya 96 vidas humanas y más de 1.000 edificaciones han sido dañadas; el declarado en el Algarve (Portugal) el pasado 3 de Agosto, el cual lleva calcinadas más de 15.000 hectáreas; y el declarado en California el pasado 27 de Julio que lleva arrasadas por el fuego más de 141.000 hectáreas y 260 edificaciones.



1. Incendio Fort McMurray 2016-2017. DarrenRD (CC BY-SA 4.0)

De los casos comentados anteriormente se extraen unas ideas muy claras:

- El potencial destructor de los incendios forestales. Grandes masas forestales calcinadas, infraestructuras, viviendas y negocios dañados y destruidos, bienes arrasados y pérdidas de vidas humanas.
- La alta exposición a la que se encuentra sometido el ser humano y sus recursos. A pesar de los esfuerzos orientados a la prevención por un lado y a la evacuación por otro, hace que tengamos que seguir lamentando víctimas mortales y cuantiosas pérdidas materiales.
- La repercusión económica de estos desastres naturales. De una parte la desaparición de negocios con sus respectivos puestos de trabajo y la pérdida de viviendas habituales, de otra la inversión necesaria para la reconstrucción.

1.2. El SIOSE en perspectiva

El presente documento introduce el trabajo con información geográfica sobre ocupación del suelo con el objetivo de analizar la exposición al riesgo de incendio

forestal de las zonas residenciales. En este sentido se propone una metodología para la extracción de conocimiento sobre qué áreas residenciales se encuentran expuestas a masas forestales a partir de datos proporcionados por el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (en adelante SIOSE).

La base de datos (en adelante BBDD) del SIOSE se centra en la totalidad del territorio español y la información que aporta es vasta y compleja de elaborar. Técnicos y especialistas en riesgos naturales tienen en esta BBDD una fuente de información de gran calidad pero la dificultad de su explotación y la falta de conocimientos por parte de dichos usuarios para ello acaba resultando en la infrautilización de esta fuente y en la orientación de los potenciales usuarios hacia otra tipología de recursos más sencillos en su utilización. Como el CORINE Land Cover (en adelante CLC), una reclasificación simplificada del propio SIOSE.

El Proyecto Nacional SIOSE-INNOVA (CSO2016-79420-R), el cual patrocina este estudio, tiene por objeto incrementar la accesibilidad y capacidad de uso de esta geodatabase, cuyo potencial se encuentra oculto para usuarios no expertos. Con esta intención subyacente y con ayuda de la comunicación de D. García-Álvarez y M. T. Camacho Olmedo presentada en el XVIII Congreso Nacional de TIG (2018), procederemos a valorar una serie de inconvenientes generales encontrados en la utilización del SIOSE que podrían estar detrás de su limitada utilización tras 8 años de historia desde su primera edición en 2010 (año de referencia 2005).

El principal problema para la difusión del uso del SIOSE es el modelo de datos que utiliza, el cual se muestra complejo de comprender y manipular para conseguir obtener el conocimiento deseado. Según la información extraída de la documentación técnica oficial (Equipo Técnico Nacional SIOSE, 2015 a y b) este modelo se materializa en unas geometrías cuya forma viene dada por las coberturas del suelo que contiene. Para cada uno de estos polígonos existen uno o más registros descriptivos, según la complejidad de su estructura, que aportan información sobre las coberturas que integra. Para que una cobertura quede registrada como parte de un polígono es preciso que su tamaño relativo en dicha geometría sea como mínimo del 5%. Así, mientras encontramos unos polígonos compuestos por una sola tipología de cobertura (Cobertura Simple) otros, que suponen la mayoría, agrupan varias (Cobertura Compuesta). Estos últimos se subdividen en dos grupos según la percepción de la separabilidad entre las cubiertas que los componen.

- Por un lado, las de tipo **asociación** donde las diferentes tipologías se entremezclan indistintamente. Existe un tipo de asociación especial en el que se especifican previamente las coberturas que pueden estar contenidas debido a la frecuencia de su aparición en el territorio (**asociación predefinida**).
- Por otro lado, las de tipo **mosaico** en las que se percibe claramente la separabilidad entre las coberturas que lo componen. Se subdividen en **regular** e **irregular** y su diferencia radica en el patrón de distribución geométrica de las coberturas.

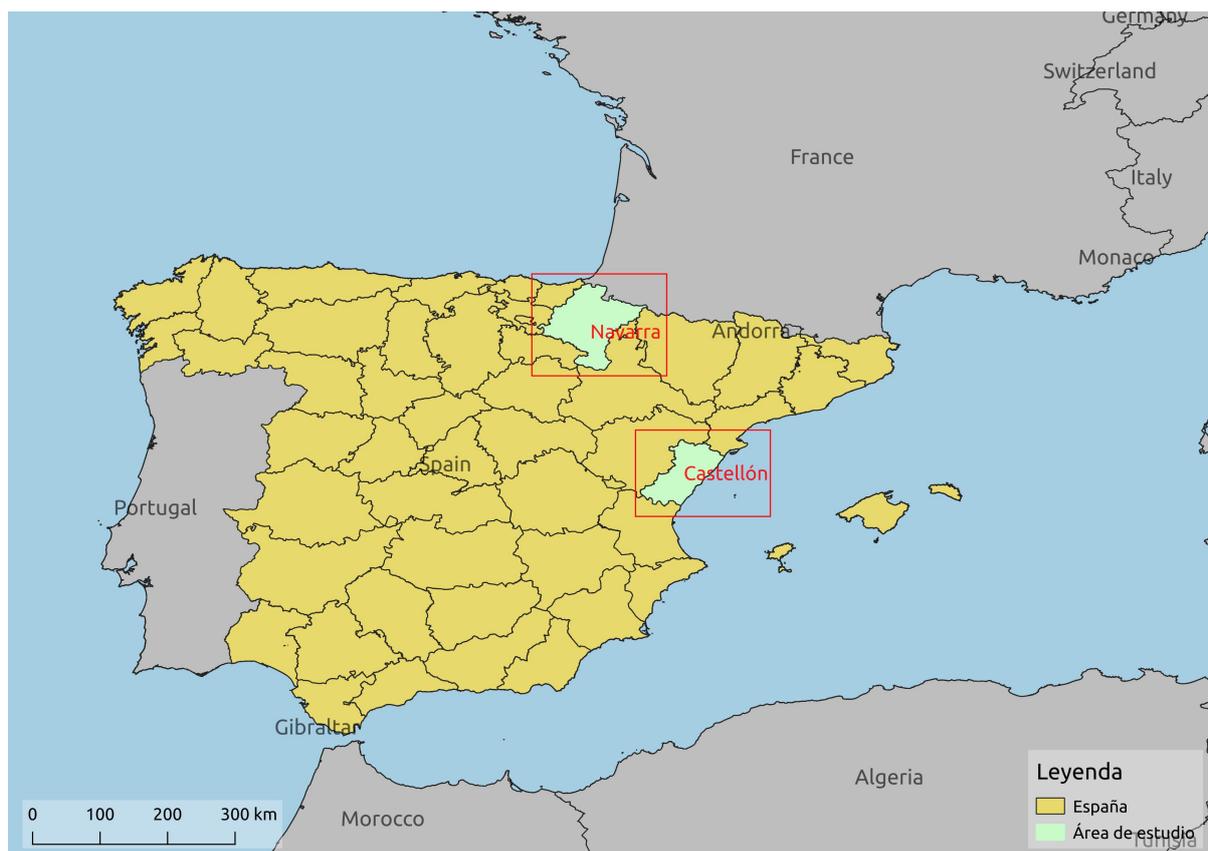
Las mayores dificultades las encontrarán usuarios no expertos cuyo objetivo sea definir cada polígono de forma única, pues los de cobertura compuesta contienen múltiple información generando una ambigüedad geométrica de complicado tratamiento desde un GIS de escritorio.

No obstante, aunque se presente a la geodatabase como una fuente de información compleja, la limitada difusión de su uso no viene dada por esta razón en exclusiva. Cualquier usuario con la debida preparación puede hacer uso de esta BBDD. Sin

embargo, la relación entre la fuente de datos y el usuario potencial no ha sido establecida desde el inicio. Dicho de otra forma, la explotación del SIOSE queda restringida a usuarios avanzados, mientras que su utilidad está enfocada a usuarios cuyos conocimientos versan en otros campos donde la información que aporta el SIOSE sería de gran utilidad. Se muestra así una brecha entre el SIOSE y el usuario potencial. Esta preocupación se manifiesta en diferentes trabajos que buscan tender puentes entre usuarios no avanzados y la geodatabase.

Es el caso de la solución propuesta por Fernández Noguerol (2017), una herramienta de ArcGIS que a través de la información proporcionada por el “rótulo SIOSE” consigue desagregar los datos y presentar los resultados de forma sencilla. El autor indica que el producto permite “... facilitar y ampliar considerablemente el manejo y las posibilidades de análisis de la fuente.”. No obstante, la comunicación de García-Álvarez y Camacho Olmedo acierta al apuntar la no disponibilidad en formato abierto de esta utilidad como limitación en su aplicación. ArcGIS pertenece al grupo de software privativo cuya distribución se realiza de forma comercial bajo un precio determinado.

También, desde el IGN, se han realizado dos propuestas de herramientas para facilitar la explotación de la geodatabase. Por un lado la denominada “tabla plana” que proporcionaba los datos desagregados y por otro la aplicación de escritorio “SIOSE Desktop”, disponible de forma gratuita. La “tabla plana” no se suministra desde el 2015, sin embargo la herramienta de escritorio continúa en activo. Este software permite al usuario la generación de consultas sobre la geodatabase, aunque estas no pueden revestir cierta complicación y el tiempo de computación es elevado, lo que llevado a grandes volúmenes de datos se traduce en escasa agilidad (García-Álvarez y Camacho Olmedo, 2018).



2. Localización de las áreas de estudio propuestas.

La actual investigación, adscrita al proyecto SIOSE-INNOVA, continúa por esta línea de aportar soluciones para mejorar la accesibilidad y fomentar el uso del SIOSE, pues creemos que es una fuente de información de gran detalle infrautilizada. Así, se propone una metodología para la extracción de un determinado conocimiento y su posterior distribución en un formato abierto que habilite la usabilidad de la información proporcionada por el SIOSE. De esta forma buscamos por un lado demostrar de forma aplicada la utilidad del conocimiento que se puede obtener del SIOSE, y por otro aumentar la accesibilidad a la información proporcionada por el SIOSE.

El conocimiento que deseamos obtener de la geodatabase consiste en el cálculo de las zonas residenciales de Navarra y Castellón (fig. 2) expuestas al riesgo de incendio. Resulta interesante comparar dos ámbitos geográficos diferenciados: el Pirineo y el Litoral Mediterráneo, pues las discrepancias entre ambos territorios son amplias y están sujetas de una parte al tradicional uso del suelo, y de otra a las nuevas dinámicas territoriales.

Además, es muy común el desconocimiento de la población sobre su exposición al riesgo de incendio. En la actualidad, la forma de conocer esto sobre una vivienda es posible en Castellón mediante la consulta del PATFOR (Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunidad Valenciana), aunque su nivel de detalle es escaso limitándose a calificar el territorio en cuadrículas de 1000 metros cuadrados cada una. En Navarra no se ha encontrado ninguna fuente oficial que proporcione esta información.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. Marco teórico

El concepto de Interfaz Urbano-Forestal (IUF o ZIUF) proviene del inglés *Wildland-Urban Interface* (WUI) y caracteriza un área dominada por dos tipologías territoriales cuya convergencia genera un sistema mixto con implicaciones especiales (Herrero Corral, 2011). En el estudio realizado por Stewart *et al.* en el 2007 analizan profundamente este concepto y su evolución situando su origen en 1982 y la breve caracterización realizada por Henry Vaux (“hotseat of forestry”, cuya interpretación en español podría ser “localización de riesgo en terreno forestal”) en la que ya se percibe la relación entre estas áreas y el peligro. Davis en 1990 relaciona las ZIUF con localizaciones donde se incrementan los conflictos por la responsabilidad en la protección de las viviendas frente a los incendios forestales, dejando clara la compleja gestión de las ZIUF ante este tipo de riesgo. Stewart *et al.* sitúan en 1997 el momento de transición en el que el concepto de WUI / ZIUF comienza a ser utilizado exclusivamente en el contexto de los incendios forestales, debido a una serie de artículos publicados ese año que enfatizaron la relación del término con la planificación y gestión de incendios. Siguiendo con la evolución del concepto, Stewart *et al.* acuden a la política de incendios forestales reflejada en el Plan Nacional de Incendios (*National Fire Plan, NFP*) del año 2001 donde se define las WUI / ZIUF como aquellas áreas donde humanos y su desarrollo se encuentran o entremezclan con masas forestales. Sin embargo terminan la evolución del concepto con la flexibilidad aportada a la definición por la *Healthy Forest Restoration Act*, hecha ley en el 2003, donde se declara añadir áreas de influencia alrededor de las WUI / ZIUF siendo estas nuevas zonas parte íntegra de las WUI / ZIUF.

Para finalizar esta conceptualización Stewart *et al.* configuran las WUI / ZIUF como un compuesto de tres elementos: la presencia humana, la masa forestal y la distancia que representa los potenciales efectos de, por ejemplo los incendios, o la actividad humana. Remarcan que cualquier discusión para mejorar esta definición cae en imprecisiones respecto a lo que está o no está incluido en las WUI / ZIUF. Por otro lado declaran que conceptualmente todas las definiciones hacen referencia a la misma idea: “*WUI is where houses and wildlands meet or overlap.*” (*ZIUF es donde las viviendas y las masas forestales se juntan o superponen*). Así, para esta investigación las áreas en las que las viviendas y las masas forestales se interrelacionan se conocen como Zonas de Interfaz Urbano-Forestal (ZIUF).

Tras establecer la base del término teórico clave de este estudio, indagaremos en la literatura recientemente publicada relacionada con el tema central.

2.2. Antecedentes

La investigación sobre la determinación de las ZIUF expuestas al riesgo de incendio no es muy prolífica. En español se encuentran estudios que se centran en la peligrosidad o vulnerabilidad de dichas zonas, sin embargo sobre la caracterización de su exposición escasean. La tesis doctoral de Herrero Corral (2011) aporta de forma exhaustiva información sobre las características de las ZIUF a nivel nacional basándose en la cartografía aportada por el CLC. No obstante la propia autora reconoce la no adecuación de los datos para su aplicación a nivel local señalando la resolución espacial del CLC (escala 1:100.000) como limitación.

Las investigaciones en inglés son más abundantes, sin embargo, referidas al territorio español se reducen significativamente. En el 2016 encontramos un interesante estudio sobre la caracterización de ZIUF y la estimación del riesgo mediante datos LiDAR (Robles *et al.*) de un área de 36 km cuadrados localizada en Forcarei, Pontevedra. Los autores concluyen que la metodología utilizada puede ser replicable en otras áreas siempre que se optimicen para ello los parámetros utilizados. Por otro lado para desarrollar su metodología se precisan diferentes softwares entre los que encontramos varios de carácter comercial como ArcGIS y eCognition. Otra investigación del año actual (2018) realizada por Alcasena, Evers y Vega-García genera una cartografía raster para Cataluña en la que se muestra una clasificación obtenida a partir del análisis espacial de los datos conseguidos con el Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 para las edificaciones y con el SIGPAC para las masas forestales. La clasificación realizada se aplica sobre una cuadrícula de píxeles de 150 x 150 metros.

Acudiendo a otros ámbitos geográficos ajenos al territorio español encontramos dos recientes investigaciones que aportan otras metodologías. Es el caso del trabajo presentado en 2017 (Argañaraz *et al.*) relativo a la región montañosa central de Argentina. En él se realiza una evaluación completa de la exposición al riesgo de incendio de las ZIUF y para la determinación de estas utilizan la metodología propuesta en 2013 por Bar-Massada *et al.* basada en el análisis espacial mediante ventanas móviles. En el caso de la investigación de Argañaraz *et al.* carecen de fuentes que les proporcionen los datos necesarios para aplicar la metodología, así que recurren a la digitalización manual a partir de las imágenes satelitales provistas por Google Earth para generar los datos que precisan. De los 276.572 puntos relativos a edificaciones utilizados, 190.624 se crearon de forma manual invirtiendo para ello 329 horas, mientras que el montante restante fue creado aleatoriamente sobre densas áreas urbanas. Para mapear las áreas forestales utilizaron clasificadores automáticos sobre una imagen Landsat 8 OLI cifrando la precisión en

torno al 90%.

La otra investigación ha sido presentada este año (2018) y se centra en el cartografiado de las ZIUF en la totalidad del territorio Canadiense. Los autores (Johnston y Flannigan) cuentan con fuentes de información precisas proporcionadas por organismos oficiales. La localización detallada de las estructuras proviene del CanVec+ mientras que las masas forestales son proporcionadas por el Land Cover 2000. La metodología utilizada se basa en el análisis espacial mediante áreas de influencia (buffers) propuesta por Theobald y Romme (2007).

Para finalizar queremos resaltar el documento presentado este año (2018) por Manzello *et al.*, autores miembros de *The International FORUM of Fire Research Directors*, en el que realizan un llamamiento a priorizar la investigación ante el incremento de los incendios en las ZIUF a nivel global y señalan las líneas de investigación a seguir. Dos de estos caminos marcados para el futuro exhortan a una mejor cuantificación de las ZIUF expuestas al riesgo de incendio y a una estandarización de las estrategias de recolección de datos. En este sentido y como veremos a continuación la metodología que proponemos hace suya estas dos ideas.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Contando en exclusiva con la información proporcionada por la geodatabase nacional SIOSE se busca determinar las áreas residenciales expuestas al riesgo de incendio forestal mediante la aplicación de una metodología.

En el transcurso de esta investigación queremos probar la hipótesis lanzada y cumplir con los siguientes objetivos:

- Evaluar la usabilidad del SIOSE como fuente de información primaria.
- Proponer la aplicación sobre el SIOSE de una metodología para la determinación de la exposición al riesgo de incendio de zonas residenciales.
- Aplicar esta metodología a dos ámbitos geográficos diferenciados: Navarra y Comunidad Valenciana (Provincia de Castellón).
- Poner a prueba y contrastar los resultados a diversas escalas de análisis (provincial, comarcal y local), teniendo en cuenta la escala básica de referencia del SIOSE (1:25.000).
- Determinar el grado de eficacia de la metodología empleada a partir de los resultados contrastados en los casos de estudio.
- Establecer el diseño de los recursos tecnológicos y de información necesarios para automatizar, en la medida de lo posible, aquellos procesos de trabajo evaluados como satisfactorios.

4. METODOLOGÍA

4.1. Origen

La metodología que proponemos en esta investigación parte de la conceptualización realizada por Stewart *et al.* (2007) donde se define la ZIUF como un compuesto de tres elementos: la presencia humana, la masa forestal y la distancia que representan los potenciales efectos de la situación de riesgo. Estos tres componentes son la base sobre la que plantean una metodología de cartografiado de las ZIUF, en la cual encuentra su apoyo teórico la nuestra.

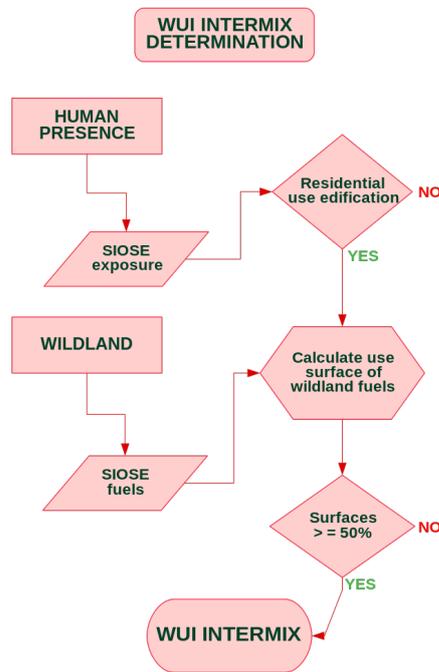
Stewart *et al.* (2007) definen dos tipologías de ZIUF: intermix e interfaz. Intermix se corresponde con aquellas áreas donde las viviendas se muestran dispersas entre masas forestales. E interfaz comprende las zonas donde las viviendas se localizan de forma contigua a las masas forestales. Cada una de estas tipologías configura los tres parámetros clave de una determinada forma.

- Las ZIUF de intermix precisan que al menos el 50% del área que integra consista en masa forestal.
- Las ZIUF de interfaz requieren que el área residencial se encuentre dentro de una determinada área de influencia (distancia según criterio) de aquellas zonas cuya superficie de masa forestal sea de al menos el 75%.

La metodología original obtiene la información sobre la presencia humana a través del Censo dividiendo el territorio en áreas censales y dictaminando en cuáles se considera presencia humana y en cuales no atendiendo a un criterio basado en la densidad de viviendas. Por otro lado, la información sobre las masas forestales es obtenida a partir del *National Land Cover Data* (NLCD), del que extraen una clasificación en la cual se considera como masa forestal todo tipo de cobertura vegetal exceptuando aquellas claramente diferenciables como césped urbano, huertas y terrenos agrícolas. Por último, para la definición de la distancia de influencia eligen el criterio marcado por la *California Fire Alliance* (2001) que marca 1.5 millas, la distancia media a la que pueden llegar pavesas u otros elementos encendidos susceptibles de prolongar un incendio.

4.2. Propuesta

Para la ejecución de nuestra metodología, cuyo ámbito de producción es España, utilizaremos el SIOSE, geodatabase que aglutina con gran detalle datos sobre la ocupación del suelo en la totalidad del territorio nacional. Esta fuente proporciona información sobre presencia humana y masas forestales y divide el territorio nacional en polígonos según el uso del suelo. La metodología consiste en un algoritmo SQL que manipula la geodatabase para obtener las ZIUF de intermix e



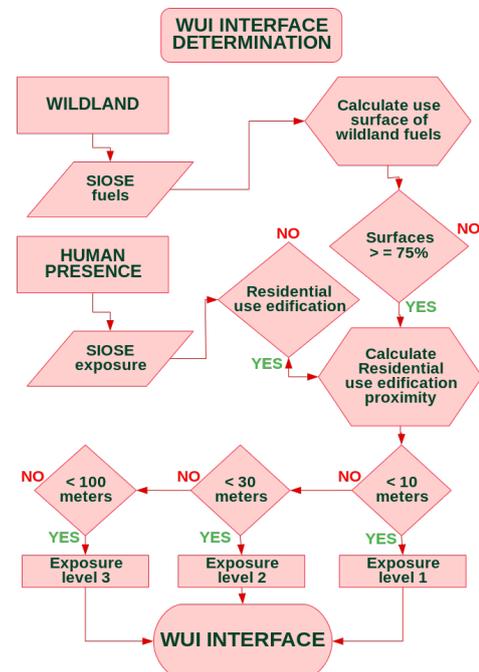
3. Procedimiento teórico para el cálculo de las ZIUF de intermix.

interfaz según los criterios de Stewart *et al.* (2007). Se han elaborado dos diagramas de flujo sobre la configuración del algoritmo para esclarecer su funcionamiento. Por un lado está el proceso de determinación de las ZIUF de intermix (fig. 3), y por otro el de las ZIUF de interfaz (fig. 4). Las ZIUF de intermix e interfaz resultado de la aplicación sobre el SIOSE del algoritmo SQL que proponemos estarán compuestas de aquellos polígonos del SIOSE que cumplan con los requisitos que estableceremos a continuación. Por lo tanto, es correcto afirmar que la metodología propuesta consiste en una combinación de selecciones ejecutadas sobre la geodatabase.

Para la determinación de las ZIUF tenemos que configurar los 3 elementos clave (presencia humana, masa forestal y distancia de influencia) que componen estas áreas a partir de la información que proporciona el SIOSE. El concepto de intermix desecha el elemento de distancia puesto que un polígono se determina como intermix cuando considera en su interior la presencia humana y una determinada cantidad de masa forestal.

Con el objetivo de comprender el procedimiento de selección elaborado explicaremos brevemente la composición y funcionamiento de la geodatabase de referencia³. Esta comprende un total aproximado de casi 13 millones de registros

3. Para ahondar conocimientos sobre la estructura y funcionamiento del SIOSE acudir a documentación técnica oficial. Disponible en: <http://www.siose.es/web/guest/documentacion>



4. Procedimiento teórico para el cálculo de las ZIUF de interfaz.

repartidos en 4 tablas: `t_valores`, `t_poli_geo`, `tc_siose_coberturas` y `tc_siose_atributos`. Las dos primeras son las que comprenden la práctica totalidad de los datos, mientras que las dos últimas se corresponden con tablas auxiliares que contienen información descriptiva. Este es su aspecto:

T_VALORES (4 ejemplos):

id_polygon	id_coberturas	id_ancestros	inter_id	inter_ancestros	atributos	superf_ha	superf_por	codblq
0004D358-4BD8-2645-8F4A-C1AD673C78EF	212		1		31	2.6469	100	2
000B3659-F66B-E44B-8C04-2D2AA944EDAE	600		1		13	2.4696	100	2
000B3659-F66B-E44B-8C04-2D2AA944EDAE	212	600	2	1	31	1.7287	70	2
000B3659-F66B-E44B-8C04-2D2AA944EDAE	232	600	3	1	31	0.6174	25	2

T_POLI_GEO (1 ejemplo):

id_polygon	geom	codblq
590a616c-acc5-11dd-86cb-739395e18e5a	0106000020A2100000010000000103000000100000015000000819F7F0F3D4700C08D6968F276F744404898930AB14600C04EEF596F74F744407046D630EB4500C0E5285E3A68F744402C281823C24400C0F06C314857F744401BDEF8684400C07A8415864BF744401323690FAC4300C07C7A88FA3CF74440F9E98F3AA34200C02E62182031F74440CDF80CBF64100C041D44FC223F74440F1FE1D47344200C05CE434B017F74440C0D96BE1524300C086DF2E780EF7444016894CC5434400C0E1E58F9F15F74440863979124D4500C02E6D8D861FF744408BEFA045234600C02F47454D2DF7444003EF29DE334700C0CA3E63E43BF74440B96D7A9E004800C0870955F54DF74440AB644A081E4800C02D8477C35EF74440CBE31897314800C08053057364F744405FB18BB9F2470C0271B59FC64F744403A2F4CC0314700C0293B703A67F744406C3C41FB1D4700C009A8CAB573F74440819F7F0F3D4700C08D6968F276F74440	7

TC_SIOSE_COBERTURAS (5 ejemplos):

id_coberturas	descripcion_coberturas	code_abreviado	id_coberturas_padres	lista_atributos	lista_obligatorias	lista_opcionales
101	Edificación	EDF	100	+20		
312	Fronosas Caducifolias	FDC	311	40,41		
313	Fronosas Perennifolias	FDP	311	40,41		
316	Coníferas	CNF	310	40		
320	Matorral	MTR	99	41,44,45,46		

TC_SIOSE_ATRIBUTOS (5 ejemplos):

id_atributos	descripcion_atributos	code_abreviado	clasificacion
20	TIPO DE EDIFICACIÓN		-1
21	edificio aislado	ea	20
22	edificio entre medianeras	em	20
23	vivienda unifamiliar aislada	va	20
24	vivienda unifamiliar adosada	vd	20

La tabla T_POLI_GEO está compuesta por 3 campos, uno de ellos (geom) incluye la geometría en formato WKB (Well Known Binary). La tabla T_VALORES contiene toda la información sobre coberturas y atributos asociados a cada polígono. Ambas tablas se relacionan entre sí mediante el campo ID_POLYGON. Las tablas auxiliares TC_SIOSE_COBERTURAS y TC_SIOSE_ATRIBUTOS describen cada una de las coberturas (116) y atributos (26). Mientras que en T_POLI_GEO encontramos unos 2,5 millones de registros únicos correspondientes a cada polígono, la tabla T_VALORES considera más de 10 millones de registros únicos apuntando a los polígonos. Algunos polígonos tienen un único registro afín en esta tabla y otros tienen más de 10.

Los tipos de coberturas y atributos definidos en el SIOSE son los que describen el uso del suelo, y es en esta clasificación donde hemos seleccionado las características que conformarán dos de los tres elementos fundamentales de las ZIUF: la presencia humana y la masa forestal.

Consideramos la presencia humana en aquellos polígonos cuya descripción incluya los siguientes atributos asignados a la cobertura tipo Edificación (101): edificio aislado (21), edificio entre medianeras (22), vivienda unifamiliar aislada (23) y vivienda unifamiliar adosada (24) por ser las tipologías que engloban las edificaciones de uso residencial. Es importante aclarar que para esta metodología la presencia humana será positiva cuando se encuentre en un determinado polígono independientemente de su grado de extensión en el mismo, sabiendo que el SIOSE requiere un mínimo del 5% de la superficie relativa de la geometría para considerar la integración de un uso en la descripción del polígono.

Consideramos la masa forestal en aquellas geometrías cuya descripción incluya las siguientes tipologías de cobertura: Frondosas Caducifolias (312), Frondosas Perennifolias (313), Coníferas (316) y Matorral (320). Estas coberturas se corresponden con la parte forestal de la caracterización de la vegetación realizada por el SIOSE. Al igual que Stewart *et al.* (2007) desecharmos superficies agrícolas, cultivos y zonas verdes urbanas.

Con el objetivo de calcular el área de influencia y determinar así las ZIUF de interfaz hemos utilizado el criterio propuesto por la consultora TECNOMA (2005). Este refleja tres niveles de exposición de las edificaciones según la distancia a la que se encuentran de la masa forestal:

- Menos de 10 metros, nivel de exposición 1: contacto directo con el incendio
- Menos de 30 metros, nivel de exposición 2: pavesas y otros elementos incandescentes cercanos
- Menos de 100 metros, nivel de exposición 3: pavesas de largo recorrido

Una vez determinados los criterios de consideración de la presencia humana, la masa forestal y la distancia de influencia podemos explicar el procedimiento del algoritmo desarrollado.

Para la determinación de las ZIUF de intermix (fig. 2) hemos seleccionado como presencia humana aquellos polígonos del SIOSE en los que se ha detectado uso residencial (atributos 21, 22, 23 y 24), independientemente de su superficie relativa. Como masa forestal hemos seleccionado aquellos polígonos en los que se ha detectado combustible forestal (coberturas: 312, 313, 316 y 320), independientemente de su superficie relativa. A continuación hemos realizado un procesamiento analítico en el que cruzamos los registros de masa forestal con los de presencia humana para obtener exclusivamente los polígonos en los que ambos elementos coexisten. De esta última selección hemos determinado las ZIUF de intermix en aquellos polígonos en los que la superficie relativa de masa forestal sea

al menos del 50%.

Para la determinación de las ZIUF de interfaz (fig. 3) hemos seleccionado como masa forestal aquellos polígonos en los que hemos encontrado una superficie relativa de al menos el 75% de combustible forestal (coberturas: 312, 313, 316 y 320). Para la presencia humana hemos considerado aquellos polígonos en los que se ha detectado uso residencial (atributos: 21, 22, 23 y 24), independientemente de su superficie relativa. Una vez tenemos la masa forestal y la presencia humana definidas, calculamos la distancia entre ambos elementos mediante la generación de 3 *buffers* (áreas de influencia) sobre los polígonos de masa forestal seleccionados: a 10, 30 y 100 metros. Finalmente realizamos un análisis espacial de proximidad seleccionando aquellos polígonos de presencia humana que intersecten con uno de los *buffers* generados, caracterizando al mismo tiempo el nivel de exposición: 1, a 10 metros o menos, 2, entre 10 y 30 metros y 3, entre 30 y 100 metros.

El resultado de la ejecución del algoritmo SQL desarrollado depende de la información recolectada por la geodatabase sobre la que se aplique. El código ha sido diseñado para su inmediata implementación sobre cualquier base de datos que respete el modelo relacional oficial del SIOSE: MF2 (Modelo Físico 2, 2015). En este sentido, hemos preparado 2 geodatabases basadas en el SIOSE 2011 para esta investigación, las cuales contienen información exclusiva de la Comunidad Autónoma de Navarra y la Provincia de Castellón. Estas bases de datos se han montado sobre el motor de PostgreSQL (SGBD abierto) con la extensión PostGIS.

El código SQL desarrollado ha precisado elementos específicos para permitir alcanzar el objetivo deseado. Es el caso de las CTE (Common Table Expression), las vistas materializadas, las *window functions* y la parametrización personalizada.

- CTE es una metodología de expresión de consultas anidadas en la que cada consulta recibe un alias (AS) y al final se realiza la consulta clave acudiendo a las previas. Se ha decidido implementar esta técnica en el código SQL propuesto debido a la complejidad de las instrucciones y favorecer así una mejor comprensión que un anidamiento tradicional compuesto por sub-selecciones.

```
CREATE VIEW wui.intermix AS
WITH a AS (
  SELECT id_polygon, category AS pop_type, rel_area AS pop_rel_area, ha AS pop_ha,
  sum(rel_area) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_pop_rel_area,
  sum(ha) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_pop_ha
  FROM wui.residential
), b AS (
  SELECT id_polygon, category AS fuel_type, rel_area AS fuel_rel_area, ha AS fuel_ha,
  sum(rel_area) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_fuel_rel_area,
  sum(ha) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_fuel_ha
  FROM wui.fuel
)
SELECT * FROM a NATURAL JOIN b WHERE accum_fuel_rel_area >= (SELECT intermix_min_fuel_area FROM wui.config LIMIT 1);
```

5. Ejemplo de implementación de metodología CTE.

- Las vistas materializadas se asemejan en su funcionalidad a las tradicionales vistas, en las que se realiza una composición de datos provenientes de diversas tablas con un objetivo concreto: limitar el acceso a tablas de diferentes usuarios, organizar la información facilitando su consulta, etc. La diferencia entre una vista y una vista materializada radica en que la última es persistente, se ejecuta la primera vez que se llama y mantiene su estado de forma permanente aumentando así la agilidad de la base de datos. Además

permite la indexación, convirtiendo a la vista materializada en un elemento indispensable para el *data warehousing*. En esta investigación se han aplicado ambas tipologías de vistas, utilizando las materializadas para aquellas consultas de mayor coste computacional.

```
CREATE MATERIALIZED VIEW wui.fuelpolygons AS
SELECT p.id_polygon, (p.geom)::geography AS geom,
st_setsrid(st_buffer((p.geom)::geography,(SELECT exposure_distance1 FROM wui.config LIMIT 1),2),4258) AS exposure1,
st_setsrid(st_buffer((p.geom)::geography,(SELECT exposure_distance2 FROM wui.config LIMIT 1),2),4258) AS exposure2,
st_setsrid(st_buffer((p.geom)::geography,(SELECT exposure_distance3 FROM wui.config LIMIT 1),2),4258) AS exposure3,
f.accum_fuel_rel_area
FROM t_poli_geo AS p
NATURAL JOIN
(SELECT fuel.id_polygon, sum(fuel.rel_area) AS accum_fuel_rel_area
FROM wui.fuel
GROUP BY fuel.id_polygon) AS f;
```

6. Ejemplo de creación de vista materializada. Tiempo de computación precisado: 728 segundos (CPU: i5-4210U)

- Las *window functions* permiten realizar cálculos de agregación manteniendo la identidad de los registros afectados y así podemos mantener el detalle de los elementos agregados. En el ejemplo que mostramos a continuación aplicamos *window functions* sobre “sum(rel_area)” y “sum(ha)” agregando dichos campos mediante el atributo “id_polygon”. En el resultado observamos como el campo agregado se repite por cada registro agregado, mientras que en las columnas objetivo vemos la información agregada.

```
SELECT id_polygon, category AS pop_type, rel_area AS pop_rel_area, ha AS pop_ha,
sum(rel_area) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_pop_rel_area,
sum(ha) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_pop_ha
FROM wui.residential;
```

id_polygon	pop_type	pop_rel_area	pop_ha	accum_pop_rel_area	accum_pop_ha
00019900-1a97-4298-9402-07d61ef57791	21	12	0.201	30	0.5025
00019900-1a97-4298-9402-07d61ef57791	22	18	0.3015	30	0.5025

7. Ejemplo y resultado de ejecución de *window functions*.

- La parametrización personalizada tiene su razón de ser en la búsqueda de un código SQL con capacidad de adaptación a posibles cambios. De esta forma se ha creado una tabla de configuración de registro único (1 única fila) en la que cada campo declara el nombre de la variable y su tipología, y en el espacio de registro irá el valor afín. La ventaja reside en la posibilidad de configurar directamente la tipología de la variable no teniendo que transformarla en el transcurso del código. Sin embargo, si se requieren muchas variables puede ser difícil de manejar tantos campos. Para nuestro caso esta opción es ideal puesto que no usaremos gran cantidad de variables. He aquí la tabla de parámetros y su código SQL:

```
CREATE TABLE wui.config (fuel_cover_ids smallint[],
residential_attr_ids smallint[],
intermix_min_fuel_area double precision,
exposure_distance1 double precision,
exposure_distance2 double precision,
exposure_distance3 double precision,
interface_min_fuel_area double precision);
```

```
INSERT INTO wui.config
VALUES ('{312,313,316,320}'::smallint[], '{21,22,23,24}'::smallint[], 50, 10, 30, 100, 75);
```

fuel_cover_ids	residential_attr_ids	intermix_min_fuel_area	exposure_distance1	exposure_distance2	exposure_distance3	interface_min_fuel_area
{312,313,316,320}	{21,22,23,24}	50	10	30	100	75

8. Código y resultado de parametrización SQL personalizada.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carl Boettiger (2014) reflexiona sobre la complejidad de la reproducibilidad de una investigación en el entorno de la computación y propone la contenerización (tecnología *Docker*) como un sistema que favorece la replicación de las investigaciones computacionales. En este sentido, todo el experimento llevado a cabo para el desarrollo y ejecución del algoritmo SQL, desde la obtención de las geodatabases con datos exclusivos de áreas determinadas hasta el empaquetado del resultado en *geopackages* (formato de datos abierto) se ha realizado en un entorno auspiciado por la tecnología de contenerización *Docker*, con el objetivo de favorecer la reproducibilidad de esta investigación.

5.1. Experimento: entorno contenerizado para el desarrollo del algoritmo SQL

La tecnología *Docker* permite la virtualización multiplataforma de aplicaciones y sus datos mediante el despliegue de contenedores de software aislados que pueden interrelacionarse entre sí. La principal ventaja de la *dockerización* frente a la virtualización tradicional (máquina virtual) es que los contenedores comparten el *kernel Linux* del host, haciendo a *Docker* mucho más ligero y con mayor rendimiento.

El experimento ha consistido en la virtualización mediante *Docker* de un entorno de desarrollo sobre el que ir verificando la funcionalidad del código e ir comprobando el resultado a obtener. Así, se ha partido de la contenerización de las bases de datos sobre las que trabajar y del software a utilizar.

Para el desarrollo del código se ha precisado el uso de un servidor de PostgreSQL con PostGIS sobre el que montar la geodatabase original del SIOSE 2011 y las posteriores versiones personalizadas para Navarra y Castellón, un cliente PSQL para establecer comunicación cliente-servidor e interactuar, las utilidades *pg_dump* y *pg_restore* con las que realizar copias de la geodatabase y su restauración, y la librería GDAL para la obtención del producto final.

Todas estas utilidades han sido dispuestas en contenedores *Docker* aislados con un sistema operativo base denominado *Alpine* cada uno, el cual proporciona los útiles básicos para que la aplicación contenerizada pueda funcionar. De esta forma hemos dispuesto de las siguientes imágenes *Docker* con las que desplegar contenedores para el desarrollo del algoritmo y la obtención de las ZIUF para Navarra y Castellón:

- imagen 1: PostgreSQL 10.4 + Alpine 3.7
- imagen 2: 1 + PostGIS 2.4.4
- imagen 3: PostgreSQL 10 Client tools + Alpine 3.7
- imagen 4: GDAL 2.3.1 + Alpine Edge

De las anteriores imágenes se han desplegado diversos contenedores según el

desarrollo de la investigación (la utilidad de la imagen 1 radica en su participación en la obtención de la imagen 2):

Contenedores	Imagen 2	Imagen 3	Imagen 4
Siose2011	x		
Siose2011 Navarra	x		
Siose2011 Castellon	x		
Manipulación de BBDD		x	
Extracción de datos de BBDD			x

Mediante la utilización de los contenedores anteriores, lanzados como proceso en segundo plano o de forma efímera (desaparecen tras su uso) hemos extraído la información relativa a Navarra y Castellón (provincia) del SIOSE 2011. Tras replicar esta información en dos geodatabases idénticas en su forma al SIOSE 2011 para cada área de estudio, hemos procedido con la implementación del código SQL. La aplicación del algoritmo tiene como resultado una serie de nuevas relaciones en la geodatabase. Mediante un contenedor lanzado de forma efímera con la imagen 4 extraemos de la geodatabase en formato *geopackage* el conocimiento obtenido: las ZIUF de intermix e interfaz para Navarra y Castellón.

5.2. El código SQL

La tabla de parámetros es el punto de inicio (anexo 1, líneas 1:13). En ella establecemos las variables clave: las coberturas y atributos que vamos a utilizar, la cantidad de superficie relativa mínima para las zonas de intermix y las zonas de interfaz, y las distancias de las áreas de influencia.

A continuación creamos dos vistas materializadas (anexo 1, líneas 15:39) en las que seleccionamos todos los registros de T_VALORES que tienen por cobertura o atributos alguno de los seleccionados como combustible o uso residencial en la tabla de parámetros. Así conseguimos dos relaciones, una con todas las observaciones de uso residencial y otra con todas las observaciones de combustible. Además, añadimos índices sobre diversos campos para aumentar la agilidad en posteriores consultas, acción que repetiremos en todas las vistas materializadas.

Después de obtener los registros de T_VALORES que incluyen uso residencial y combustible, los cruzamos y extraemos a una vista (anexo 1, líneas 41:54) aquellos registros que en un mismo polígono integran uso residencial y un 50% o más de superficie relativa de combustible. Para poder realizar esto usamos *window functions*, para conocer la superficie de combustible de forma total de un polígono sin perder el detalle de cada cobertura que integra ese polígono. Ahora disponemos de los registros en T_VALORES de aquellos polígonos considerados ZIUF de intermix.

De la misma forma que obtenemos los registros de T_VALORES, vamos a obtener las geometrías de T_POLI_GEO para aquellos polígonos considerados ZIUF de intermix. Así creamos otra vista (anexo 1, líneas 56:69) en la que no hará falta utilizar *window functions* porque el detalle de cada registro de T_VALORES no nos interesa, y ya lo tenemos en la vista anterior. Agregamos para cada polígono todos los registros afines, por un lado de uso residencial, y por otro de combustible. Los

cruzamos y tenemos todos los registros de T_VALORES agregados por polígonos en los que se encuentren a la vez uso residencial y combustible. Por último cruzamos esta selección con T_POLI_GEO y clasificamos a todos aquellos polígonos cuya superficie relativa de combustible sea del 50% o más. En esta última vista disponemos de la selección de las geometrías consideradas como ZIUF de intermix. De esta vista se extraerán las geometrías que formarán parte de un *geopackage* para la distribución de las ZIUF para Navarra y Castellón.

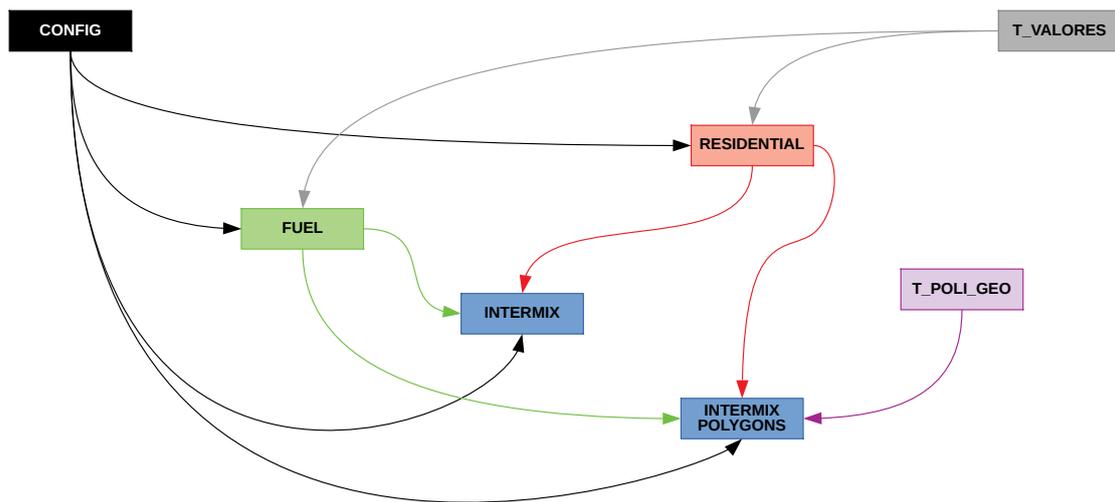
En las siguientes dos vistas materializadas que creamos (anexo 1, líneas 71:103) obtenemos las geometrías que contienen combustible y las que contienen uso residencial. Para la primera seleccionamos las geometrías previamente consideradas con combustible, calculamos sobre estas tres niveles de *buffer* diferentes en función del criterio seleccionado en la metodología (10, 30 y 100 metros), y vamos agregando las diferentes superficies relativas para conocer el total de combustible (coberturas 312, 313, 316 y 320) de cada geometría. En la segunda vista materializada seleccionamos las geometrías previamente consideradas con uso residencial (atributos 21, 22, 23 y 24). Cada geometría es convertida explícitamente al tipo *geography* para poder trabajar en metros sobre coordenadas geográficas puesto que el SIOSE funciona con el sistema de referencia EPSG:4258. Disponemos ahora de dos vistas materializadas: Para el combustible forestal una con las geometrías que contienen combustible, la superficie relativa total que ocupa en cada una el combustible y sus respectivos *buffers*. Y para el uso residencial otra con las geometrías que contienen uso residencial y la superficie relativa total que ocupa en cada una.

Las tres vistas materializadas que creamos a continuación (anexo 1, líneas 105:136) son semejantes entre sí. Su objetivo es seleccionar para cada área de influencia (10, 30 y 100 metros) qué polígonos con uso residencial intersectan con qué polígonos con combustible cuya superficie relativa de combustible sea igual o superior al 75%. A partir de este punto, tenemos tres vistas materializadas, cada una con los identificadores de los polígonos que cumplen con los requisitos de combustible y presencia humana estipulados para cada nivel de exposición.

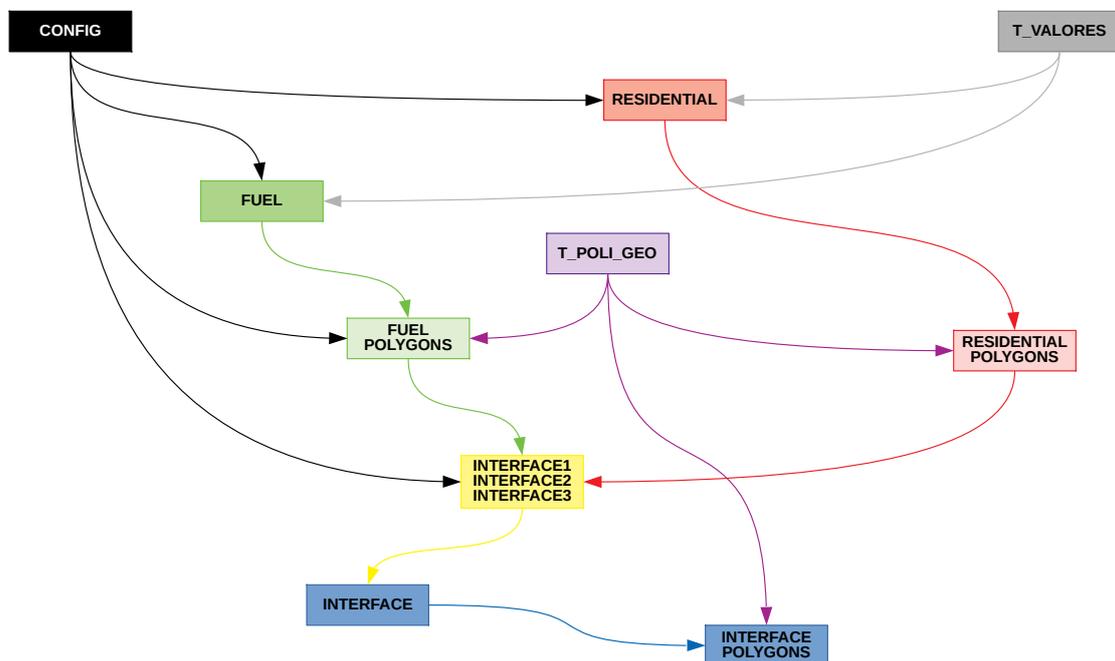
A partir de las tres vistas materializadas creadas generamos una nueva vista materializada (anexo 1, líneas 138:179) que reviste cierta complejidad. En primera instancia comprobamos la autoexposición de cada polígono, es decir, si en un mismo polígono coexisten uso residencial y una superficie relativa de combustible igual o superior al 75%. Esto es semejante a las ZIUF de intermix con la diferencia de criterio de superficie relativa de combustible. La comprobación se realiza mediante la función *bool_or* comparando si el identificador de polígono escogido para el uso residencial expuesto es el mismo que el escogido para el combustible, o sea, si es el mismo polígono. A continuación se suceden tres consultas semejantes en las que se calcula la cardinalidad de la exposición de los polígonos de uso residencial escogidos. La cardinalidad es la cantidad de polígonos de combustible que afectan a un polígono residencial para un determinado nivel de exposición. Tras unir la información conseguida (cardinalidad y autoexposición) obtenemos el nivel de exposición prevalente para cada polígono de uso residencial.

Para la última vista (anexo 1, líneas 181:183) que generamos en el código cruzamos la vista materializada anterior con la tabla T_POLI_GEO. Así obtenemos una relación con los datos y las geometrías de las ZIUF de interfaz, que serán incluidas en el *geopackage* para la distribución de las ZIUF de Navarra y Castellón.

Con el ánimo de facilitar la comprensión de las dependencias existentes entre las diferentes relaciones generadas a lo largo de la ejecución del código SQL propuesto, mostramos de forma gráfica dichas interrelaciones (fig. 9 y 10).



9. Diagrama de dependencias del código SQL para la obtención de las ZIUF de intermix.



10. Diagrama de dependencias del código SQL para la obtención de las ZIUF de interfaz.

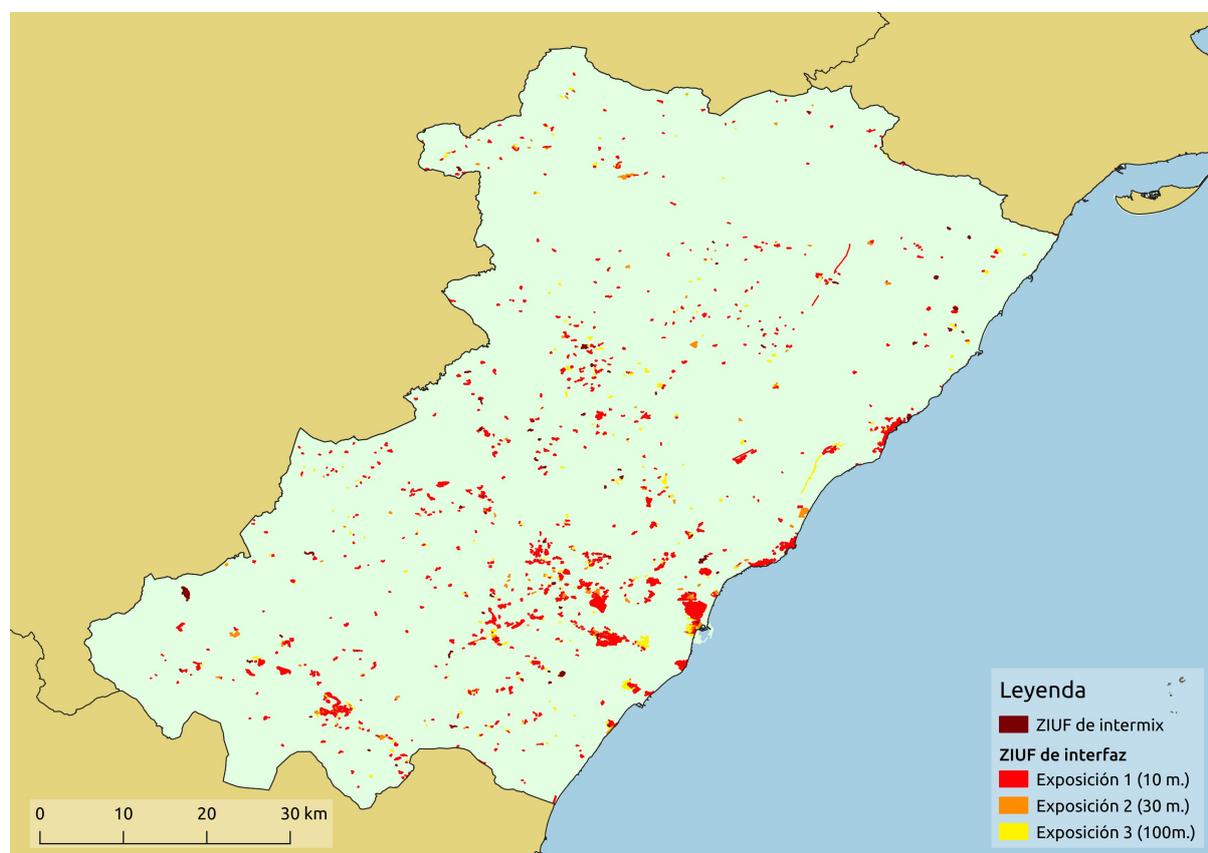
En consonancia con el espíritu del autor y las directrices del proyecto al que se adscribe esta investigación, este contenido es de libre utilización y es posible acceder a él desde el repositorio oficial del proyecto nacional SIOSE-INNOVA (CSO2016-79420-R)⁴. No obstante, el código SQL desarrollado se encuentra anexo a esta investigación (anexo 1).

4. Contenido publicado y *online* en el repositorio oficial del proyecto nacional SIOSE-INNOVA: https://github.com/siose-innova/pg_wui

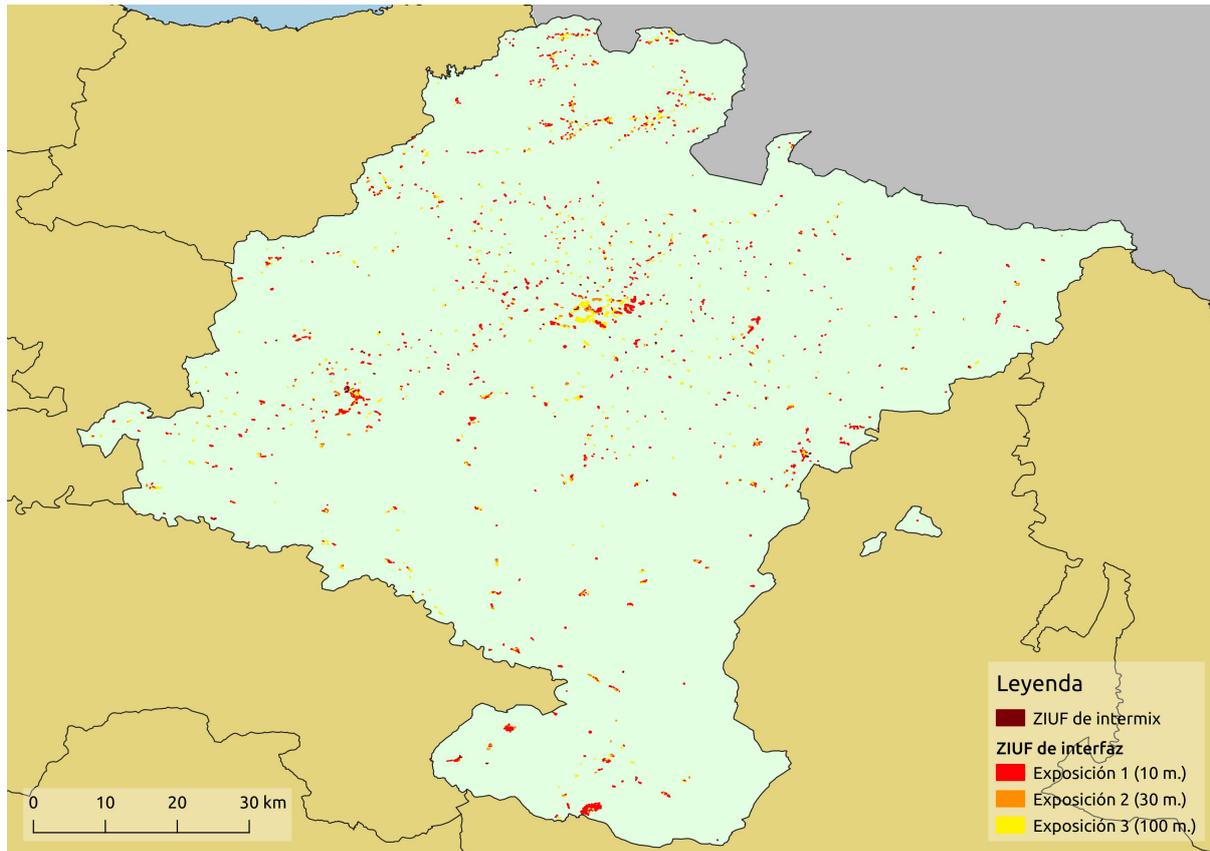
5.3. ZIUF de intermix e interfaz determinadas con el SIOSE y la metodología propuesta

A continuación se muestra una posible representación en dos mapas (fig. 11 y 12) del total del territorio analizado (Navarra y Castellón) con las ZIUF determinadas a partir de los datos aportados por el SIOSE y según la metodología propuesta. Las ZIUF determinadas se plasman en la cartografía en tonalidades diferenciadas para visualizar el nivel de precisión conseguido y segregar las diferentes tipologías. No obstante, a nivel regional (1:300.000) evaluar el grado de detalle conseguido es muy complejo y por ello posteriormente se mostrarán áreas a una escala mayor (comarcal: 1:25.000 y local: 1:5.000).

Las áreas de intermix (azul) representan aquellos polígonos que conteniendo uso residencial, integran además un 50% o más de combustible. Las áreas de interfaz representan aquellos polígonos que contienen uso residencial y se encuentran a una determinada distancia (rojo: 10 metros o menos, amarillo: entre 10 y 30 metros, verde: entre 30 y 100 metros) expuestos a otros polígonos que contienen en su interior un 75% o más de combustible.



11. ZIUF de Castellón según el SIOSE (escala regional).



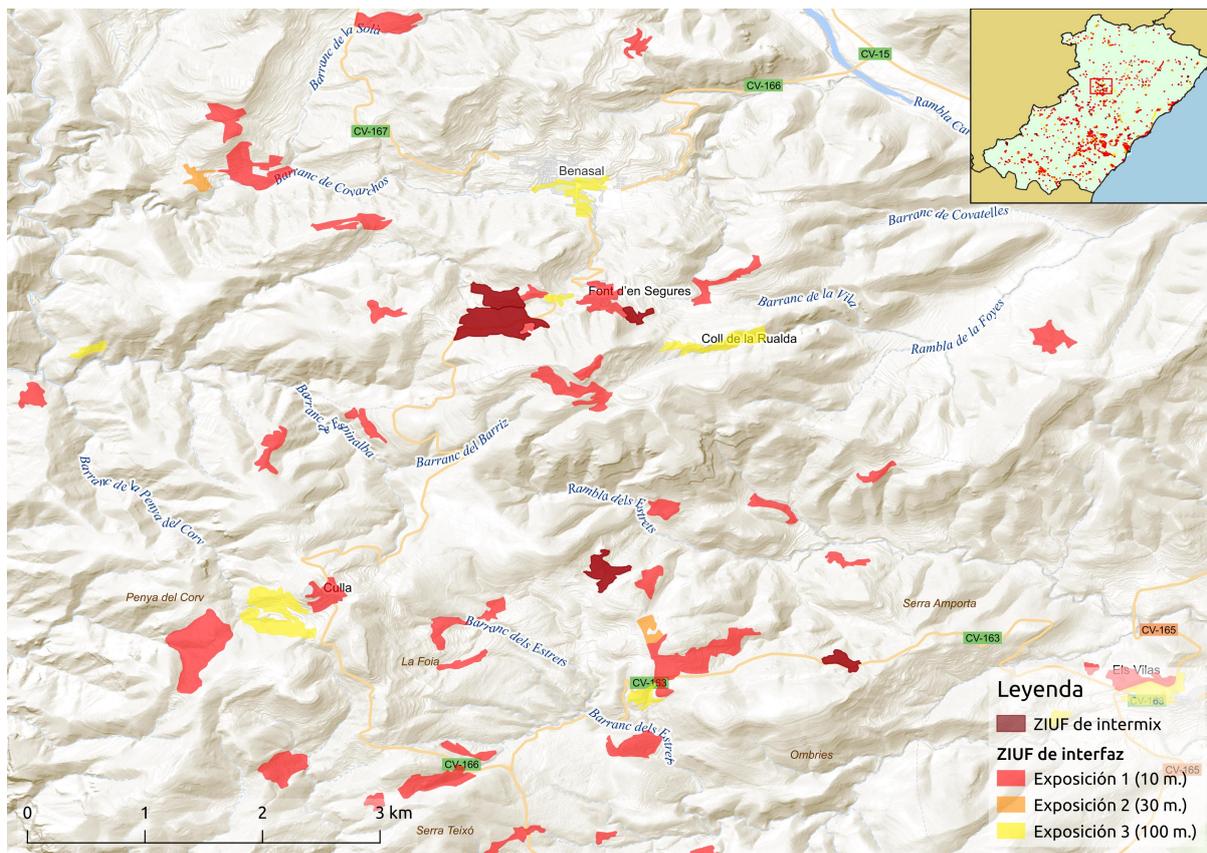
12. ZIUF de Navarra según el SIOSE (escala regional).

Entre ambas áreas de estudio se aprecian importantes diferencias territoriales atendiendo a la distribución y superficie de las ZIUF. A modo de ejemplo, mediante computación de estadísticas en un GIS de escritorio podemos conocer el total de superficie afectada. De esta forma, aun siendo Navarra mayor en extensión que Castellón, la superficie afectada por la exposición al riesgo de incendio es menor, tanto en intermix como en interfaz.

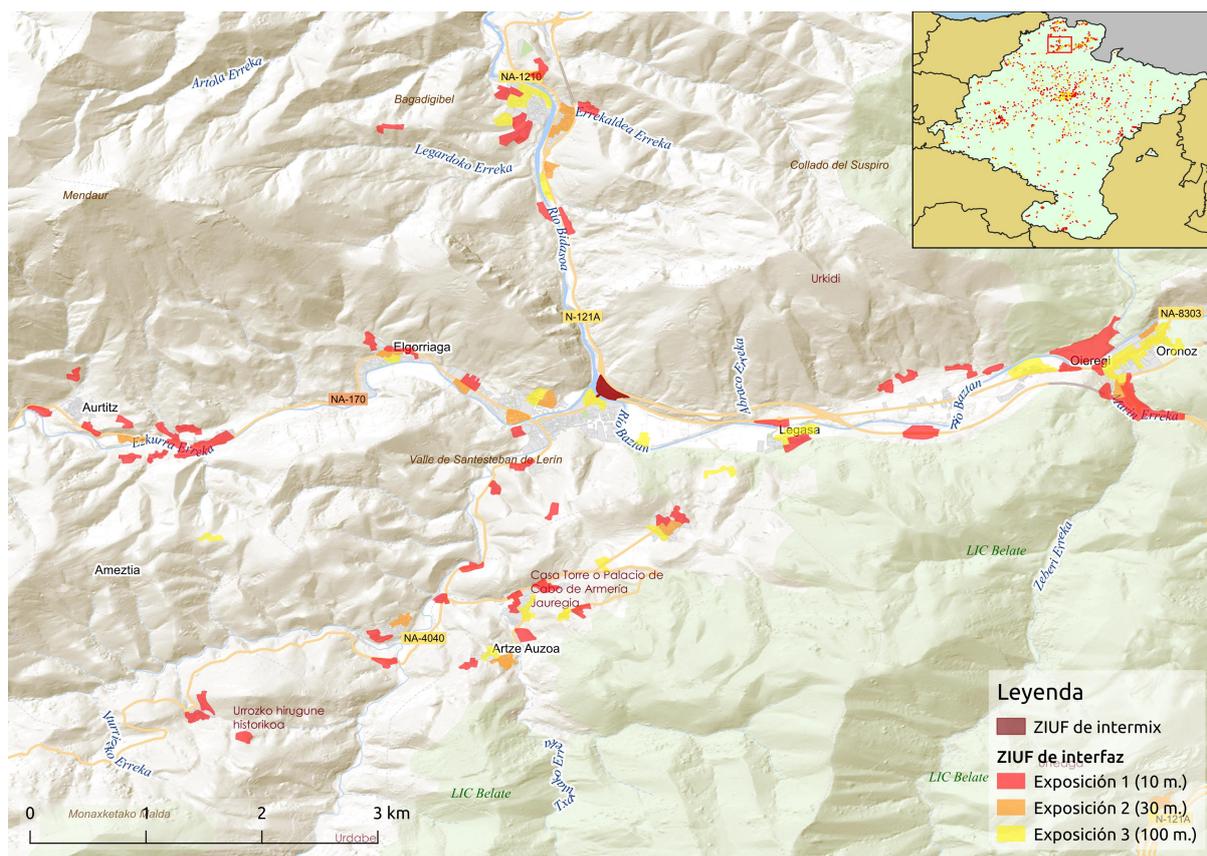
Datos de superficie:

Dato	Castellón	Navarra
Superficie total	663.200 ha	1.039.100 ha
Superficie total de intermix (polígonos)	589 ha (70)	135,39 ha (53)
Superficie total de interfaz (polígonos)	10.200 ha (1.275)	7.250 ha (2.391)

A continuación mostramos dos áreas para Castellón (fig. 13) y Navarra (fig. 14) a escala comarcal (1:25.000) para visualizar mejor el nivel de detalle conseguido en la determinación de las ZIUF. Se han elegido áreas priorizando la representación de todas las tipologías de ZIUF calculadas. La cartografía generada se basa en las geometrías obtenidas superpuestas (opacidad al 60%) sobre el Mapa Base del Instituto Geográfico Nacional (IGN).



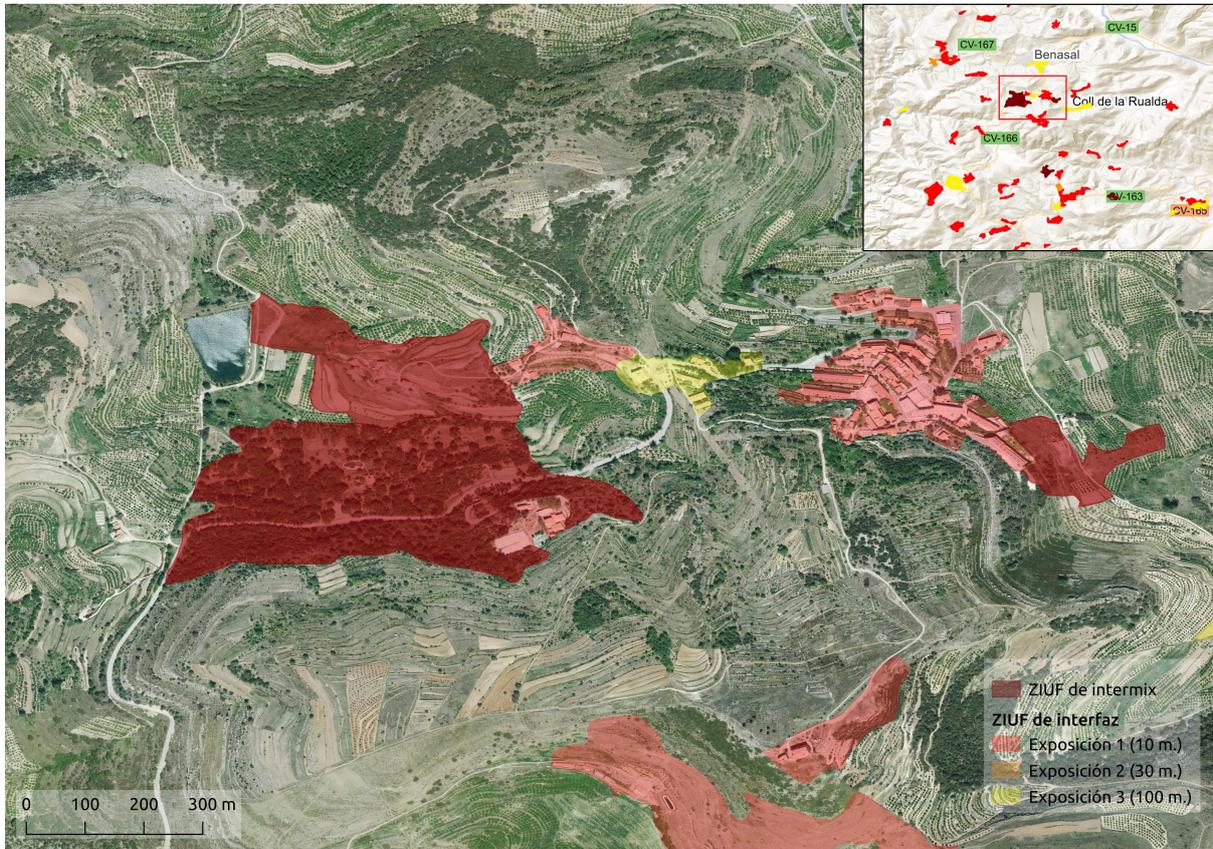
13. ZIUF de Castellón: Área ampliada (1:25.000).



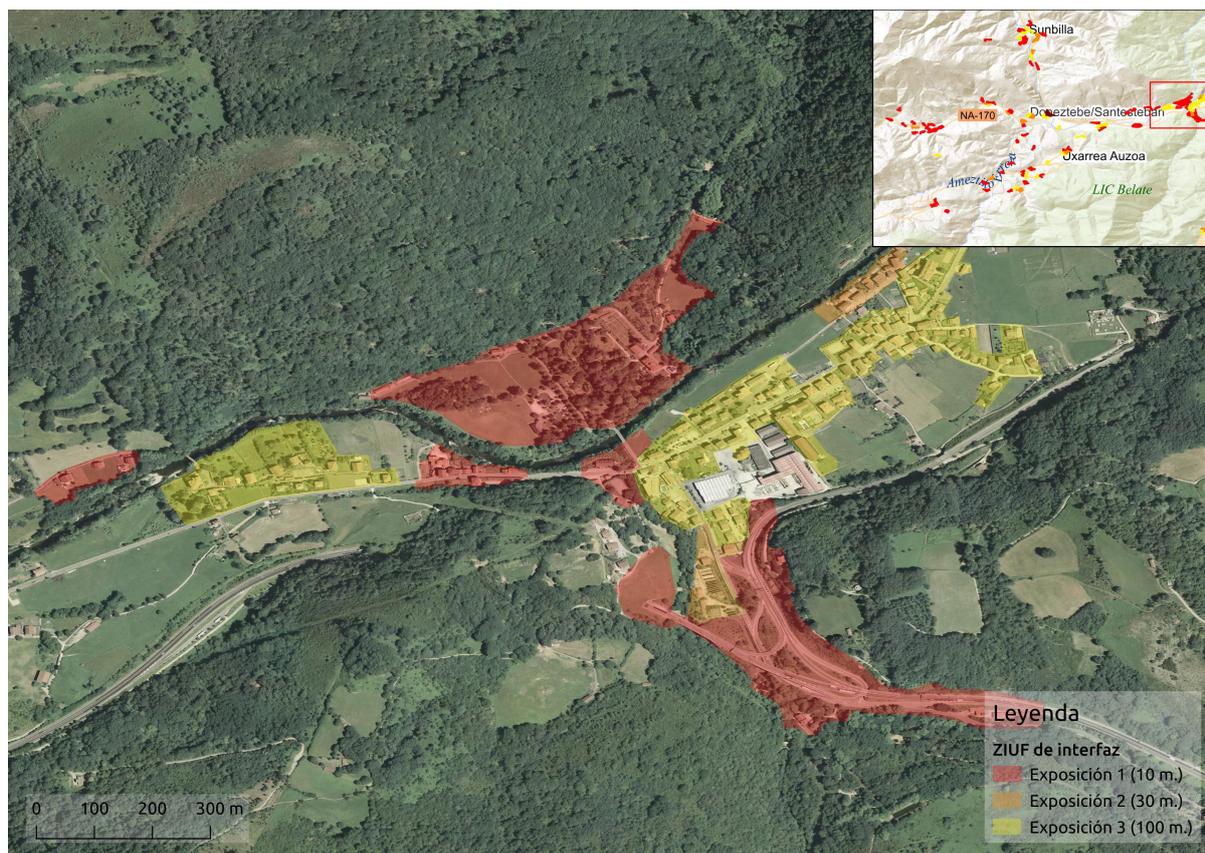
14. ZIUF de Navarra: Área ampliada (1:25.000).

En general se intuye un nivel de detalle alto, apreciable en la morfología de las geometrías representadas, puesto que la irregularidad de sus formas nos permite adivinar un delineamiento de cierta complejidad atendiendo a las diferentes coberturas del suelo.

Siendo 1:25.000 la escala de referencia del SIOSE, las figuras anteriores (13 y 14) muestran las ZIUF con gran calidad. Con el ánimo de verificar la precisión del conocimiento obtenido, ampliaremos a escala local (1:5.000) dos áreas (fig. 15 y 16) derivadas de las últimas figuras.



15. ZIUF de Castellón: Área en detalle (1:5.000).



16. ZIUF de Navarra: Área en detalle (1:5.000).

A escala local (1:5.000) y superponiendo el resultado sobre la ortofoto del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) conseguimos verificar con claridad la calidad de la información proporcionada por el SIOSE. La metodología propuesta realiza una selección de geometrías que cumplen con una serie de requisitos, no modifica dichos polígonos. La delimitación de las áreas residenciales en el SIOSE se percibe con precisión, lo que permite obtener un conocimiento sobre las ZIUF de gran detalle.

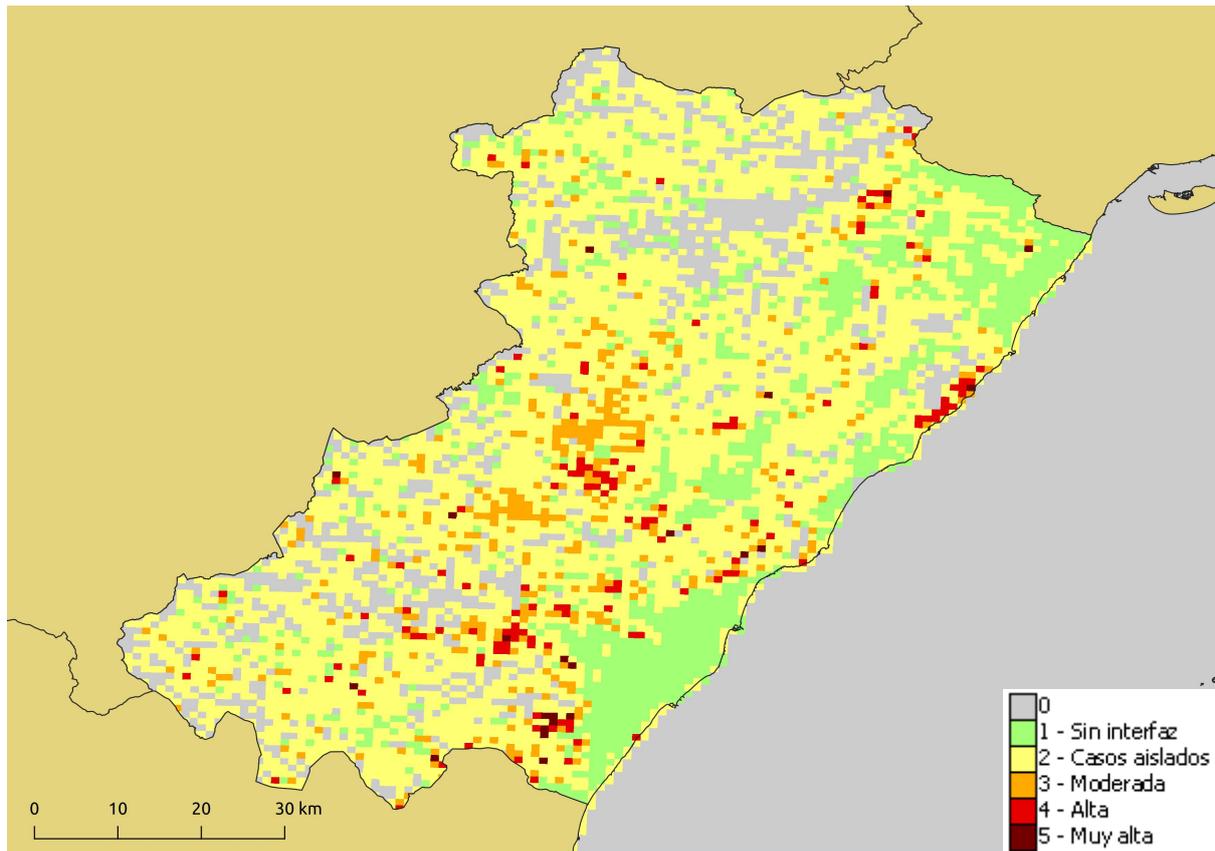
No obstante, conociendo la dificultad de valorar la calidad y el detalle del conocimiento obtenido sin referenciarlo con otras fuentes, proponemos una comparación a diferentes escalas con la misma información obtenida por otros medios como son el PATFOR para Castellón y el CLC para Navarra.

5.4. Comparación del resultado obtenido: PATFOR (Castellón) y CLC (Navarra)

La Comunidad Valenciana cuenta con el Plan de Acción Territorial Forestal (PATFOR) en el que de manera global se gestionan multitud de aspectos del riesgo de incendio forestal. Uno de ellos es el caso que nos ocupa, la exposición de las ZIUF. El PATFOR cuenta con una cartografía en formato ráster a escala 1:10.000.000⁵ formada por cuadrículas de 1km² en las que se evalúa el grado de presencia de ZIUF en cada una. Existen cuadrículas sin datos. En la figura 17 vemos el mapa completo para Castellón.

5. Información extraída de los metadatos. Disponible en:

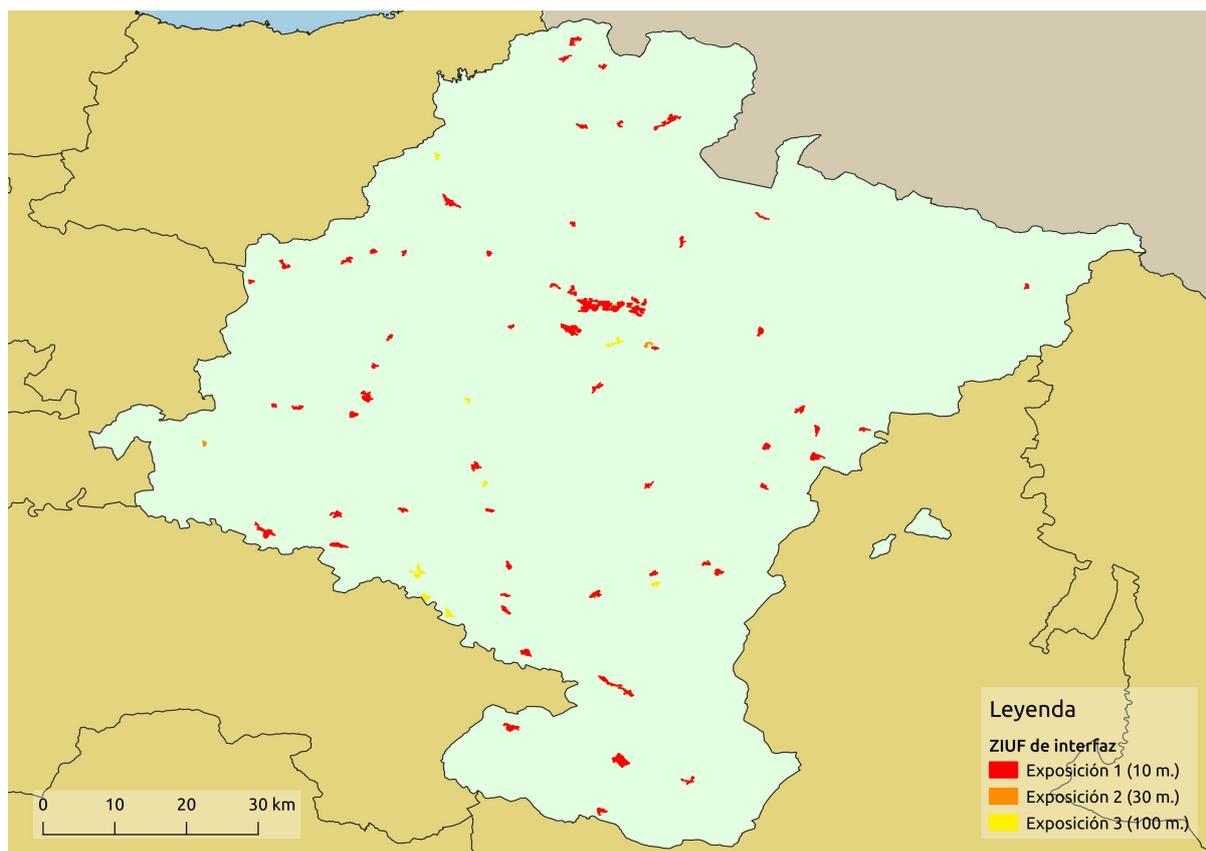
http://catalogo.icv.gva.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/spa_icv_fore_patfor_interfaz_urb_for



17. ZIUF de Castellón según el PATFOR (escala regional).

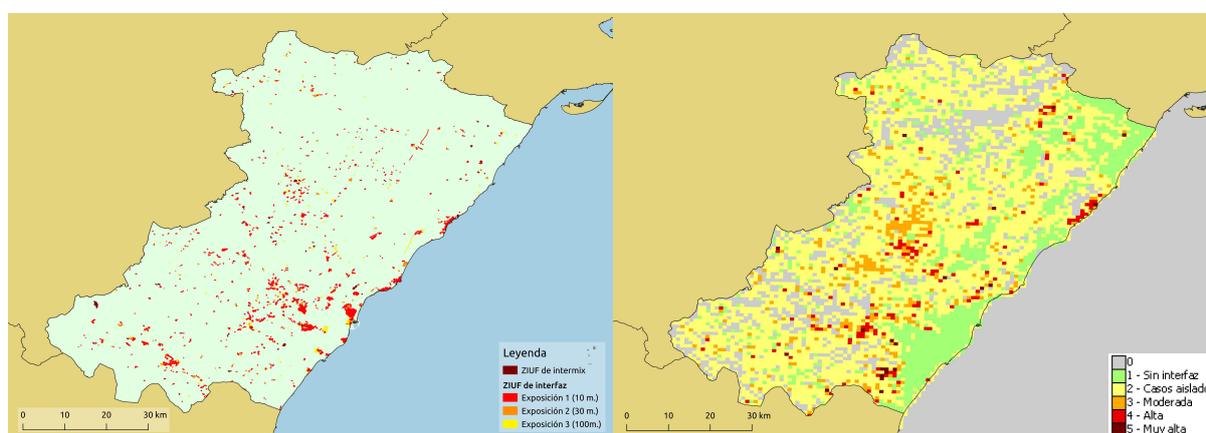
En el caso de Navarra no se ha encontrado información oficial sobre la evaluación de las ZIUF. Por esta razón, y con el ánimo de comparar con el CLC el conocimiento obtenido desde el SIOSE en esta investigación, hemos elaborado un mapa de posibles ZIUF atendiendo al contenido del CLC en exclusiva (fig. 18).

Para elaborar esta cartografía seguimos un procedimiento semejante a la metodología propuesta. De tal forma que para calcular las ZIUF precisamos seleccionar en la clasificación del CLC aquellos polígonos que consideramos combustible por un lado, y presencia humana por otro. El combustible queda definido por las clases del CLC 3.1.1 (Bosques de frondosas), 3.1.2 (Bosques de coníferas), 3.1.3 (Bosque mixto), 3.2.2 (Landas y matorrales) y 3.2.4 (Matorral boscoso de transición). La presencia humana queda definida por las clases del CLC 1.1.1 (Tejido urbano continuo) y 1.1.2 (Tejido urbano discontinuo). Se aplica entonces un análisis de proximidad mediante *buffers* a 10, 30 y 100 metros para conocer que áreas de presencia humana se encuentran expuestas a qué nivel. Es importante remarcar que no se manejan valores de superficie relativa, de tal forma que cada polígono del CLC está definido de manera absoluta por un tipo de cobertura. En este sentido, con esta fuente de información es imposible determinar las ZIUF de intermix.



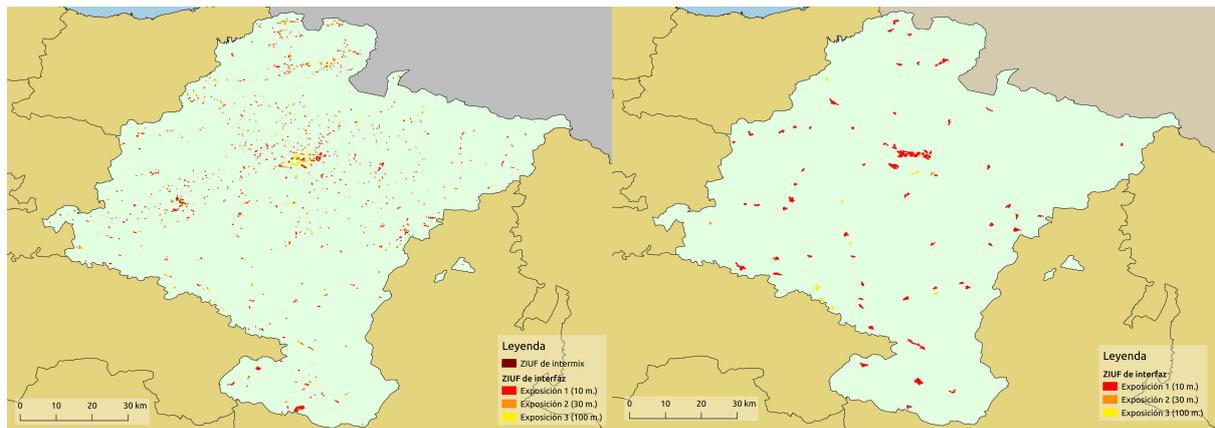
18. ZIUF de Navarra según el CLC (escala regional).

A escala regional y de un vistazo podemos destacar que la información que aporta el SIOSE (fig. 11 y 12) tras la ejecución de la metodología propuesta presenta mayor volumen y precisión que el PATFOR (fig. 17) y el CLC (fig. 18).



19. Comparación visual de las ZIUF obtenidas del SIOSE y del PATFOR (Castellón: escala regional).

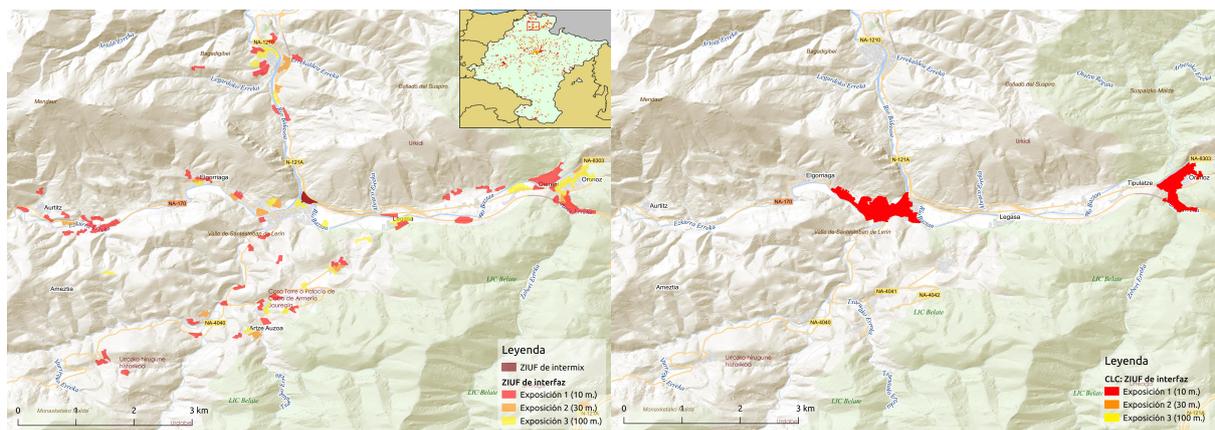
En el caso del PATFOR, mientras que su cuadrícula muestra independencia de la morfología de la distribución del uso residencial, el SIOSE basa sus geometrías en la homogeneidad de la cobertura del suelo consiguiendo delimitar claramente usos diferenciados. Por otro lado, referenciar unos datos vectoriales a escala 1:25.000 con otros de tipo ráster a escala 1:10.000.000 no es viable (fig. 19). En este sentido no vemos necesario implementar una comparación entre el PATFOR y el SIOSE a una escala mayor.



20. Comparación visual de las ZIUF obtenidas del SIOSE y del CLC (Navarra: escala regional).

Para Navarra, lugar donde hemos utilizado el CLC, la comparación se muestra enriquecedora. Con un golpe de vista, en la figura 20 podemos discernir la diferencia existente entre ambas fuentes de información. Es necesario recalcar la distinta escala de trabajo de cada una (1:100.000 del CLC, 1:25.000 del SIOSE), no obstante, esta no es la principal divergencia.

El CLC se basa en una reclasificación simplificada del SIOSE. Esto quiere decir que de partida, el CLC cuenta con datos sesgados frente al SIOSE, que posee una información de mayor calidad. Atendiendo a la figura 20, se adivinan gran cantidad de áreas desprovistas de datos en el CLC, mientras que el SIOSE muestra la distribución de las ZIUF por todo el territorio analizado. Observemos qué ocurre a una escala mayor (comarcal: 1:25.000).



21. Comparación visual de las ZIUF obtenidas del SIOSE y del CLC (Navarra: escala comarcal).

La información aportada por ambas fuentes para el mismo área de estudio (fig. 21) a escala comarcal (1:25.000) nos permite ver con rapidez la diferencia existente. Mientras que desde el SIOSE conseguimos información geográfica detallada sobre el uso residencial expuesto al riesgo de incendio, desde el CLC sólo obtenemos la demarcación de áreas urbanas de importancia obviándose el poblamiento disperso, el cual es abundante.

5.5. Acercando el SIOSE: Conocimiento en *geopackages*

Como último resultado de la investigación llevada a cabo presentamos la distribución del conocimiento generado en un formato de datos abierto y accesible, el *geopackage*. El objetivo es acercar al usuario de GIS de escritorio la información geográfica sobre las ZIUF de Navarra y Castellón basadas en la geodatabase

SIOSE. De esta forma, toda persona que posea conexión a internet y un GIS de escritorio podrá obtener, manipular y elaborar nueva información sobre las ZIUF.

Mediante el lanzamiento de un contenedor *Docker* de forma efímera a partir de la imagen 4 (GDAL 2.3.1.) y su conexión a la geodatabase, es posible extraer las geometrías y su información afín a un *geopackage*. De esta manera hemos elaborado dos *geopackages*, uno para cada región (Navarra y Castellón), que incluyen los polígonos del SIOSE relativos a las ZIUF de interfaz e intermix calculadas según la metodología propuesta. Es posible acceder a ellos descargándolos desde la web⁶.

5.6. Discusión de los resultados

Aunque el nivel de detalle conseguido en el cálculo de las ZIUF a partir del SIOSE sea alto, esta información se ve condicionada por las características de la geodatabase de referencia. Y es que el SIOSE tiene sus limitaciones.

La superficie mínima cartografiada depende de la tipología de la cobertura. Según el Manual de Control de Calidad SIOSE (Equipo Técnico Nacional SIOSE, 2015 c) las “coberturas de agua, coberturas húmedas, cultivos forzados, playas, dunas y arenales, acantilados marinos y vegetación de ribera” disponen de un tamaño mínimo de 0,5 ha. Las “superficies artificiales” disponen de 1 ha. Y las “zonas agrícolas, forestales y resto de clases de vegetación natural” disponen de 2 ha de superficie mínima cartografiada.

Esto significa que superficies más pequeñas son desechadas a nivel geométrico. Cierto es que se estima la superficie relativa de las diferentes coberturas integradas en un mismo polígono, y esta estimación precisa un mínimo del 5% de la superficie absoluta del polígono para su consideración. No obstante, la geodatabase no permite la descomposición de las geometrías provistas y estas se forman según la homogeneidad de las coberturas clasificadas.

Por lo que para conseguir un mayor nivel de detalle, y no dependiente de las geometrías proporcionadas por el SIOSE, es absolutamente necesario acudir a otras fuentes de información con las que cruzar los datos, como se muestra en otras metodologías.

Sin embargo, si el nivel de precisión que proporciona el SIOSE es suficiente, la metodología que proponemos en esta investigación tiene unas cualidades muy ventajosas frente a otras formas de obtener las ZIUF. En primer lugar, tan sólo es necesaria una única fuente de información geográfica, el SIOSE. Después, el proceso se encuentra en parte automatizado limitando la interacción humana. Y por último, se debe considerar el tiempo invertido para la obtención del resultado. Con un CPU de gama media (i5-4210U) el tiempo de computación aproximado que precisa la ejecución completa del código SQL para la obtención de las ZIUF de Navarra es de 1 hora y 30 minutos, y para Castellón es de 1 hora y 10 minutos.

Cabe señalar que la versión de la geodatabase utilizada en esta investigación es el SIOSE 2011. Próximamente, las siguientes versiones del SIOSE que se publiquen presentarán importantes modificaciones en la información geográfica que proporcionen. Esta será en alta resolución, a una escala de referencia 1:10.000 y

6. ZIUF para Navarra, disponible en: <http://aulageomatica.ua.es/siose/gpkg/ziuf-navarra.gpkg>

ZIUF para Castellón, disponible en: <http://aulageomatica.ua.es/siose/gpkg/ziuf-castellon.gpkg>

con base geométrica en las parcelas catastrales y agrarias. Estos cambios potenciarán el valor del conocimiento extraíble de la geodatabase. Y puesto que el modelo relacional utilizado no variará, la metodología propuesta en esta investigación mantendrá su aplicabilidad sobre el futuro SIOSE.

6. CONCLUSIONES

En base a los resultados conseguidos en esta investigación, establecemos las siguientes conclusiones sobre el proceso seguido y el conocimiento obtenido:

- El SIOSE, fuente oficial de información geográfica, proporciona datos de gran calidad y detalle.
- Además, las diferentes series temporales publicadas permiten realizar un análisis multitemporal.
- No obstante, es una fuente de información de uso complejo y requiere conocimientos avanzados para su explotación.
- El procedimiento seguido está automatizado en parte, lo que permite una interacción más ágil y sencilla para obtener el conocimiento buscado.
- Además, puede ser replicado para todo el territorio nacional.
- Y actualizado cada tres años (actualización del SIOSE cada trienio).
- El conocimiento adquirido es libre, puesto que proviene de una fuente de datos abiertos y es obtenido mediante herramientas de software libre.

Por otro lado, y a tenor de la investigación realizada, señalamos:

- La necesidad de contar con información sobre las ZIUF de precisión y actualizada debido a la cada vez mayor exposición al riesgo de incendio.
- La carencia de información oficial sobre las ZIUF, la cual podría servir para la elaboración de planes de mayor detalle (a escala local) para la gestión del riesgo de incendio forestal.

Por último, se plantean posibles caminos a seguir para continuar investigando:

- La muestra, en esta investigación, del potencial del SIOSE declara las posibilidades de explotación y aplicación del conocimiento obtenible de la geodatabase.
- Se propone la catalogación de las ZIUF determinadas en esta investigación a partir del SIOSE, de tal forma que se definan unas tipologías representativas de las ZIUF del territorio nacional.

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1. Recursos

- ALCASENA, Fermín J., EVERS, Cody R. y VEGA-GARCÍA Cristina. *The wildland-urban interface raster dataset of Catalonia*. 2018: Data in Brief, nº17, pp. 124-128. ISSN: 2352-3409
- ARGAÑARAZ, J. P., RADELOFF, V. C., BAR-MASSADA, A., GAVIER-PIZARRO, G. I., SCAVUZZO, C. M. y BELLIS, L. M. *Assessing wildfire exposure in the Wildland-Urban Interface area of the mountains of central Argentina*. 2017: Journal of Environmental Management, nº196, pp. 499-510. ISSN: 0301-4797
- BAR-MASSADA, Avi, STEWART, Susan I., HAMMER, Roger B., MOCKRIN, Miranda H. y RADELOFF, Volker C. *Using structure locations as a basis for mapping the wildland urban interface*. 2013: Journal of Environmental Management, nº128, pp. 540-547. ISSN: 0301-4797
- BOETTIGER, Carl. *An introduction to Docker for reproducible research, with examples from the R environment*. 2014: Center for Stock Assessment Research, Estados Unidos de América.
- CABALLERO, D., BELTRÁN, I. y VELASCO, A. *Forest Fires and Wildland-Urban Interface in Spain: Types and Risk Distribution*. 2007: 4ª Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales.
- DAVIS, J. *The wildland-urban interface: Paradise or battleground?* 1990: Journal of Forestry, nº88, pp. 26-31.
- EQUIPO TÉCNICO NACIONAL SIOSE. *Descripción del Modelo de Datos y Rótulo SIOSE (a)*. 2015: Instituto Geográfico Nacional.
- EQUIPO TÉCNICO NACIONAL SIOSE. *Estructura y consulta de la Base de Datos SIOSE – MF2 (b)*. 2015: Instituto Geográfico Nacional.
- EQUIPO TÉCNICO NACIONAL SIOSE. *Manual de Control de Calidad SIOSE (c)*. 2015: Instituto Geográfico Nacional.
- FERNÁNDEZ NOGUEROL, S. *Desarrollo de herramientas para el tratamiento de la información y el análisis con SIG de los usos del suelo utilizando el SIOSE. Una aproximación al caso de Asturias*. 2017: GeoFocus (Artículos), nº20, pp. 233-251. ISSN: 1578-5157
- GARCÍA-ÁLVAREZ, D. y CAMACHO OLMEDO, M. T. *Caracterización de SIOSE. Revisión de la utilidad e incertidumbre de esta base de datos*. 2018: XVIII Congreso Nacional de TIG (Valencia).
- HERRERO CORRAL, Gema. *Las interfaces urbano-forestales como territorios de riesgo frente a incendios: análisis y caracterización regional en España*. 2011: Universidad Autónoma de Madrid.
- JOHNSTON, Lynn M. y FLANNIGAN, Mike D. *Mapping Canadian wildland fire interface areas*. 2018: International Journal of Wildland Fire, nº27, pp. 1-14.
- MANZELLO, Samuel L., ALMAND, Kathleen, GUILLAUME, Eric, VALLERENT, Stéphanie, HAMEURY, Stéphane y HAKKARAINEN, Tuula. *FORUM Position Paper. The growing global wildland urban interface (WUI) fire dilemma: Priority needs for research*. 2018: Fire Safety Journal, nº100, pp.

64-66.

- ROBLES, A., RODRÍGUEZ, M.A. y ALVAREZ-TABOADA, F. *Characterization of wildland-urban interfaces using LiDAR data to estimate the risk of wildfire damage*. 2016: Spanish Association of Remote Sensing, nº45, pp. 57-69. ISSN 1133-0953
- STEWART, Susan I., RADELOFF, Volker C., HAMMER, Roger B. y HAWBAKER, Todd J. *Defining the Wildland-Urban Interface*. 2007: Journal of Forestry, nº105, pp. 201-207.
- TECNOMA. *Estudio básico para la protección contra incendios forestales en la interfaz urbano-forestal*. 2005: TECNOMA, Madrid.
- THEOBALD, David M. y ROMME, William H. *Expansion of the US wildland-urban interface*. 2007: Landscape and Urban Planning, nº83, pp. 340-354. ISSN: 0169-2046
- VAQUERO CÁCERES, Francisco Javier. *Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra)*. 2016: Universidad Politécnica de Valencia (Valencia).
- VAUX, Henry J. *Forestry's hotseat: The urban/forest interface*. 1982: American Forests, pp. 37, 44-46.

7.2. Recursos web

Notas de prensa sobre el Incendio en Fort McMurray 2016-2017 (Canadá):

<https://globalnews.ca/news/3711480/its-official-fort-mcmurray-wildfire-finally-out/>

<http://www.cbc.ca/news/canada/edmonton/fort-mcmurray-wildfire-now-considered-under-control-1.3664947>

<http://www.cbc.ca/news/canada/edmonton/tragedy-layered-on-tragedy-girl-15-killed-in-fort-mcmurray-evacuation-1.3569518>

Informe "Home Again" del Gobierno de Alberta (Canadá)

<https://www.alberta.ca/documents/Wildfire-Home-Again-Report.pdf>

Notas de prensa sobre el incendio en Pedrógão Grande 2017 (Portugal)

<https://www.dn.pt/lusa/interior/incendios-quase-53-mil-hectares-arderam-na-regiao-centro---dados-provisorios-8586699.html>

<http://www.cmjornal.pt/portugal/detalhe/novo-relatorio-assume-65-mortos-em-pedrogao>

<https://www.publico.pt/2017/07/03/sociedade/noticia/pedrogao-grande-governo-estima-prejuizos-de-500-milhoes-de-euros-1777751>

<https://sicnoticias.sapo.pt/especiais/tragedia-em-pedrogao-grande/2017-06-29-Cerca-de-500-casas-destruidas-pelo-incendio-de-Pedrogao-Grande>

Notas de prensa sobre el incendio en Attica 2018 (Grecia)

<https://www.gulf-times.com/story/602912/Greece-wildfire-death-toll-rises-to-96>

<https://www.bbc.co.uk/news/world-europe-44932366>

Notas de prensa sobre el incendio en Algarve 2018 (Portugal)

https://elpais.com/internacional/2018/08/08/actualidad/1533724362_930348.html

<https://www.lavanguardia.com/internacional/20180809/451266821798/algarve-fuego-incendio-portugal.html>

Notas de prensa sobre el incendio en California 2018 (Estados Unidos de América)

https://www.abc.es/sociedad/abci-incendio-mas-grande-historia-california-arrasado-mas-141000-hectareas-201808141009_noticia.html

8. ANEXOS

8.1. Anexo 1: El código SQL

```

1 CREATE TABLE wui.config (fuel_cover_ids smallint[],
2                             residential_attr_ids smallint[],
3                             intermix_min_fuel_area double precision,
4                             exposure_distance1 double precision,
5                             exposure_distance2 double precision,
6                             exposure_distance3 double precision,
7                             interface_min_fuel_area double precision);
8
9 COMMENT ON TABLE wui.config IS 'Table for configuration variables.';
10 COMMENT ON COLUMN config.fuel_cover_ids IS 'List of coverage IDs for fuel.';
11
12 INSERT INTO wui.config
13 VALUES ( '{312,313,316,320}'::smallint[], '{21,22,23,24}'::smallint[], 50,10,30,100,75);
14
15 CREATE MATERIALIZED VIEW wui.fuel
16 AS SELECT id_polygon, id_coberturas AS category, superf_por AS rel_area, superf_ha AS ha
17 FROM t_valores
18 WHERE array[id_coberturas] <@ (SELECT fuel_cover_ids FROM wui.config LIMIT 1);
19 COMMENT ON MATERIALIZED VIEW wui.fuel
20 IS 'Materialized view for fuel observations.';
21
22 CREATE index ON wui.fuel using btree (category);
23 CREATE index ON wui.fuel using btree (ha);
24 CREATE index ON wui.fuel using btree (id_polygon);
25 CREATE index ON wui.fuel using btree (rel_area);
26
27 CREATE MATERIALIZED VIEW wui.residential AS
28 SELECT id_polygon, btrim(atributos)::smallint AS category, superf_por AS rel_area, superf_ha
29 AS ha
30 FROM t_valores
31 WHERE length(btrim(atributos))=2 AND array[btrim(atributos)::smallint] <@ (SELECT
32 residential_attr_ids FROM wui.config LIMIT 1);
33 COMMENT ON MATERIALIZED VIEW wui.residential IS 'Materialized view for residential
34 observations.';
35
36 CREATE index ON wui.residential using btree (category);
37 CREATE index ON wui.residential using btree (ha);
38 CREATE index ON wui.residential using btree (id_polygon);
39 CREATE index ON wui.residential using btree (rel_area);
40
41 CREATE VIEW wui.intermix AS
42 WITH a AS (
43     SELECT id_polygon, category AS pop_type, rel_area AS pop_rel_area, ha AS pop_ha,
44     sum(rel_area) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_pop_rel_area,
45     sum(ha) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_pop_ha
46     FROM wui.residential
47 ), b AS (
48     SELECT id_polygon, category AS fuel_type, rel_area AS fuel_rel_area, ha AS fuel_ha,
49     sum(rel_area) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_fuel_rel_area,

```

```

50         sum(ha) OVER (PARTITION BY id_polygon) AS accum_fuel_ha
51     FROM wui.fuel
52 )
53 SELECT * FROM a NATURAL JOIN b WHERE accum_fuel_rel_area >= (SELECT intermix_min_fuel_area
54 FROM wui.config LIMIT 1);
55
56 CREATE VIEW wui.intermix_polygons AS
57 WITH a AS (
58     SELECT id_polygon, sum(rel_area) AS accum_pop_rel_area, sum(ha) AS accum_pop_ha
59     FROM wui.residential
60     GROUP BY id_polygon
61 ), b AS (
62     SELECT id_polygon, sum(rel_area) AS accum_fuel_rel_area, sum(ha) AS accum_fuel_ha
63     FROM wui.fuel
64     GROUP BY id_polygon
65 ), c AS (
66     SELECT * FROM a NATURAL JOIN b
67 )
68 SELECT c.*, p.geom FROM c NATURAL JOIN t_poli_geo AS p
69 WHERE accum_fuel_rel_area >= (SELECT intermix_min_fuel_area FROM wui.config LIMIT 1);
70
71 CREATE MATERIALIZED VIEW wui.fuelpolygons AS
72 SELECT p.id_polygon, (p.geom)::geography AS geom,
73 st_setsrid(st_buffer((p.geom)::geography, (SELECT exposure_distance1 FROM wui.config LIMIT
74 1), 2), 4258) AS exposure1,
75 st_setsrid(st_buffer((p.geom)::geography, (SELECT exposure_distance2 FROM wui.config LIMIT
76 1), 2), 4258) AS exposure2,
77 st_setsrid(st_buffer((p.geom)::geography, (SELECT exposure_distance3 FROM wui.config LIMIT
78 1), 2), 4258) AS exposure3,
79 f.accum_fuel_rel_area
80 FROM t_poli_geo AS p
81     NATURAL JOIN
82     (SELECT fuel.id_polygon, sum(fuel.rel_area) AS accum_fuel_rel_area
83     FROM wui.fuel
84     GROUP BY fuel.id_polygon) AS f;
85
86 CREATE INDEX ON wui.fuelpolygons USING btree (accum_fuel_rel_area);
87 CREATE INDEX ON wui.fuelpolygons USING gist (exposure1);
88 CREATE INDEX ON wui.fuelpolygons USING gist (exposure2);
89 CREATE INDEX ON wui.fuelpolygons USING gist (exposure3);
90 CREATE INDEX ON wui.fuelpolygons USING gist (geom);
91 CREATE UNIQUE INDEX ON wui.fuelpolygons USING btree (id_polygon);
92
93 CREATE MATERIALIZED VIEW wui.residentialpolygons AS
94 SELECT p.id_polygon, (p.geom)::geography AS geom, r.accum_pop_rel_area
95 FROM t_poli_geo AS p
96     NATURAL JOIN
97     (SELECT residential.id_polygon, sum(residential.rel_area) AS accum_pop_rel_area
98     FROM wui.residential
99     GROUP BY residential.id_polygon) AS r;
100
101 CREATE INDEX ON wui.residentialpolygons USING btree (accum_pop_rel_area);
102 CREATE INDEX ON wui.residentialpolygons USING gist (geom);
103 CREATE UNIQUE INDEX ON wui.residentialpolygons USING btree (id_polygon);
104
105 CREATE MATERIALIZED VIEW wui.interface1 AS
106 SELECT fuel.id_polygon AS fuel_polygon, pop.id_polygon AS pop_polygon

```

```

107 FROM wui.fuelpolygons AS fuel
108     JOIN wui.residentialpolygons AS pop
109         ON st_intersects(fuel.exposure1, pop.geom)
110 WHERE fuel.accum_fuel_rel_area >= (SELECT interface_min_fuel_area FROM wui.config LIMIT 1);
111
112 CREATE INDEX ON wui.interface1 USING btree (fuel_polygon);
113 CREATE UNIQUE INDEX ON wui.interface1 USING btree (fuel_polygon, pop_polygon);
114 CREATE INDEX ON wui.interface1 USING btree (pop_polygon);
115
116 CREATE MATERIALIZED VIEW wui.interface2 AS
117 SELECT fuel.id_polygon AS fuel_polygon, pop.id_polygon AS pop_polygon
118 FROM wui.fuelpolygons AS fuel
119     JOIN wui.residentialpolygons AS pop
120         ON st_intersects(fuel.exposure2, pop.geom)
121 WHERE fuel.accum_fuel_rel_area >= (SELECT interface_min_fuel_area FROM wui.config LIMIT 1);
122
123 CREATE INDEX ON wui.interface2 USING btree (fuel_polygon);
124 CREATE UNIQUE INDEX ON wui.interface2 USING btree (fuel_polygon, pop_polygon);
125 CREATE INDEX ON wui.interface2 USING btree (pop_polygon);
126
127 CREATE MATERIALIZED VIEW wui.interface3 AS
128 SELECT fuel.id_polygon AS fuel_polygon, pop.id_polygon AS pop_polygon
129 FROM wui.fuelpolygons AS fuel
130     JOIN wui.residentialpolygons AS pop
131         ON st_intersects(fuel.exposure3, pop.geom)
132 WHERE fuel.accum_fuel_rel_area >= (SELECT interface_min_fuel_area FROM wui.config LIMIT 1);
133
134 CREATE INDEX ON wui.interface3 USING btree (fuel_polygon);
135 CREATE UNIQUE INDEX ON wui.interface3 USING btree (fuel_polygon, pop_polygon);
136 CREATE INDEX ON wui.interface3 USING btree (pop_polygon);
137
138 CREATE MATERIALIZED VIEW wui.interface AS
139 WITH internal_e(id_polygon, selfexposed) AS (
140     SELECT pop_polygon, bool_or(pop_polygon = fuel_polygon)
141     FROM wui.interface1
142     GROUP BY pop_polygon
143     UNION
144     SELECT pop_polygon, bool_or(pop_polygon = fuel_polygon)
145     FROM wui.interface2
146     GROUP BY pop_polygon
147     UNION
148     SELECT pop_polygon, bool_or(pop_polygon = fuel_polygon)
149     FROM wui.interface3
150     GROUP BY pop_polygon
151 ), e1(id_polygon, exposure1_cardinality) AS (
152     SELECT pop_polygon, count(*) AS count
153     FROM wui.interface1
154     GROUP BY pop_polygon
155 ), e2(id_polygon, exposure2_cardinality) AS (
156     SELECT pop_polygon, count(*) AS count
157     FROM wui.interface2
158     GROUP BY pop_polygon
159 ), e3(id_polygon, exposure3_cardinality) AS (
160     SELECT pop_polygon, count(*) AS count
161     FROM wui.interface3

```

```
162         GROUP BY pop_polygon
163     ), e(id_polygon, exposure1_cardinality, exposure2_cardinality, exposure3_cardinality)
164 AS (
165     SELECT id_polygon, COALESCE(e1.exposure1_cardinality, (0)),
166     COALESCE(e2.exposure2_cardinality, (0)), COALESCE(e3.exposure3_cardinality, (0))
167     FROM e1 NATURAL FULL JOIN e2 NATURAL FULL JOIN e3
168 )
169 SELECT
170     CASE
171         WHEN (e.exposure1_cardinality > 0) THEN 1
172         WHEN ((e.exposure1_cardinality = 0) AND (e.exposure2_cardinality > 0)) THEN 2
173         ELSE 3
174     END AS prevalent_exposure,
175     e.id_polygon, e.exposure1_cardinality, e.exposure2_cardinality,
176     e.exposure3_cardinality, internal_e.selfexposed
177 FROM e NATURAL JOIN internal_e;
178
179 CREATE UNIQUE INDEX ON wui.interface USING btree (id_polygon);
180
181 CREATE VIEW wui.interface_polygons AS
182     SELECT interface.*, t_poli_geo.geom
183     FROM wui.interface NATURAL JOIN t_poli_geo;
```