

Capas AESA de densidad de población





REGISTRO DE EDICIONES		
EDICIÓN	Fecha de APLICABILIDAD	MOTIVO DE LA EDICIÓN DEL DOCUMENTO
01	Desde publicación	Edición Inicial

LISTADO DE ACRÓNIMOS	
ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
AESA	AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD AÉREA
UAS	UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM
SORA	SPECIFIC OPERATIONS RISK ASSESSMENT
iGRC	INTRINSIC GROUND RISK CLASS
LUISA	LAND USE-BASED INTEGRATED SUSTAINABILITY ASSESSMENT
ENACT	ENHANCED ACTIVITY POPULATION GRIDS
JRC	JOINT RESEARCH CENTRE
EPSG	EUROPEAN PETROLEUM SURVEY GROUP
LAEA	LAMBERT AZIMUTHAL EQUAL AREA
ETRS89	EUROPEAN TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM 1989
IGN	INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
INE	INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
GRC	GROUND RISK CLASS
AGL	ABOVE GROUND LEVEL
NM	NAUTICAL MILE



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	OBJETO Y ALCANCE	5
3.	CAPAS DE DENSIDAD DE POBLACIÓN EN ZONAS DE USO CRÍTICO DEL SUELO.	5
3.1.	Objetivo.	6
3.2.	Datos fuente.	6
3.2.1.	<i>LUISA Base Map 2018.</i>	6
3.2.2.	<i>ENACT 2011 Population Grids.</i>	7
3.3.	Metodología.....	7
3.3.1.	<i>Preparación y Fusión de Capas Base.</i>	8
3.3.2.	<i>Análisis de Estadísticas Zonales.</i>	8
3.3.3.	<i>Determinación de Valores Máximos y Densidad.</i>	9
3.3.4.	<i>Filtrado y Generación de la Capa Final.</i>	9
3.3.5.	<i>Rasterización.</i>	9
3.3.6.	<i>Clases LUISA susceptibles de albergar población no residencial.</i>	10
4.	CAPAS DE DENSIDAD DE POBLACIÓN RESIDENCIAL A DIFERENTES ALTURAS/RESOLUCIÓN	10
4.1.	Objetivo	11
4.2.	Datos Fuente.....	11
4.3.	Metodología.....	11
5.	CAPA DE DENSIDAD DE POBLACIÓN EN PUERTOS Y MAR TERRITORIAL	13
5.1.	Objetivo	13
5.2.	Datos fuente	14
5.3.	Metodología.....	14

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de riesgos operacionales por medio de la metodología SORA 2.5 requiere de la valoración de la densidad de población para la estimación del riesgo en tierra. Para ello se necesita información georreferenciada que permita a los operadores de UAS el cálculo del número de personas en riesgo en las operaciones requeridas.

La Agencia Estatal de Seguridad Aérea en el ámbito de sus competencias y con el objetivo de ofrecer a los usuarios material contrastado para realizar estos cálculos, ha desarrollado una serie de capas georreferenciadas de uso público que ofrecen datos contrastados de densidad de población que pueden ser utilizados para el cálculo del GRC inicial.

Estas capas pueden ser utilizadas por medio de software de sistemas de información geográfica (QGIS, ARC-GIS, Global Mapper, etc) o también pueden ser utilizadas por desarrolladores de aplicaciones como capas de referencia para la elaboración de programas que automatizan la evaluación de riesgo operacional con SORA.

La publicación de estas capas supone un marco de referencia que permite a operadores y desarrolladores el uso de información aprobada por la autoridad competente.

2. OBJETO Y ALCANCE

Las capas generadas tienen por finalidad complementar las capas de densidad de población de carácter residencial, que constituyen la base para la estimación inicial del riesgo en tierra. Como referencia principal para la componente residencial se emplean los datasets de población desarrollados por el Joint Research Centre (JRC).

Entre los productos desarrollados se incluye, en particular, una capa de densidad de población no residencial, orientada a estimar la presencia de personas en aquellos espacios que, sin corresponder a usos residenciales, concentran actividad humana a lo largo del día y que no quedan adecuadamente representados en las capas de población residencial.

Adicionalmente, se han generado capas de densidad de población residencial con distintas resoluciones espaciales, adaptadas a las diferentes alturas de operación de los UAS, con el fin de facilitar su aplicación en escenarios operacionales diversos.

También se ha desarrollado una capa de densidad de población en las aguas territoriales que tiene como objeto complementar las capas de densidad de población en operaciones marítimas.

Finalmente, se describe el procedimiento técnico seguido para la generación de dichas capas, con el objetivo de garantizar la transparencia, trazabilidad y reproducibilidad del proceso.

3. CAPAS DE DENSIDAD DE POBLACIÓN EN ZONAS DE USO CRÍTICO DEL SUELO.

El presente documento describe la generación del conjunto de datos geoespacial “**Densidad de población zonas de uso crítico AESA.tif**”, desarrollado para su empleo en el cálculo del **Intrinsic Ground Risk Class (iGRC)** en el marco de la metodología SORA.

El producto se obtiene mediante el geoprocesamiento y la integración de múltiples fuentes de datos geoespaciales, combinando información de usos del suelo y densidad de población no residencial.

3.1. Objetivo.

La finalidad de la capa es complementar los valores de densidad de población empleados en el cálculo del iGRC mediante la incorporación de la componente de **población no residencial**.

En particular, el dataset permite:

- Complementar la densidad de población base procedente de los mapas JRC 2021.
- Incorporar variaciones de población no residencial derivadas de las capas ENACT.
- Mejorar la representatividad espacial de la población en zonas donde el uso del suelo implica desviaciones significativas respecto a la densidad residencial.

Su aplicación resulta especialmente relevante cuando el “footprint” operacional interseca con usos del suelo susceptibles de albergar concentraciones significativas de población no residencial.

Para el desarrollo de la capa AESA se han utilizado varias fuentes de datos combinadas. A continuación, se describen dichas fuentes:

3.2. Datos fuente.

3.2.1. *LUISA Base Map 2018.*

El LUISA Base Map constituye un dataset de usos del suelo de alta resolución desarrollado a escala europea mediante la integración de múltiples fuentes geoespaciales.

Este producto proporciona una clasificación temática (usos de suelo) detallada que incluye superficies artificiales, infraestructuras de transporte, áreas industriales y otras categorías relevantes para el análisis espacial. Su nivel de detalle y coherencia temática lo convierten en una base adecuada para la identificación de áreas con potencial presencia de población no residencial.

Asimismo, el dataset se caracteriza por su armonización metodológica, lo que garantiza consistencia en la representación territorial.

Se puede acceder a los datos a través del siguiente enlace:

<https://jeodpp.jrc.ec.europa.eu/ftp/jrc-opendata/LUISA/EUROPE/Basemaps/2018/VER2021-03-24/>

3.2.2. ENACT 2011 Population Grids.

El dataset ENACT proporciona rejillas de población mensuales de alta resolución (12 diurnas y 12 nocturnas) obtenidas mediante la integración de datos estadísticos y geoespaciales.

A diferencia de los datasets tradicionales, ENACT incorpora componentes de población dinámica mediante técnicas de fusión de datos, integrando:

- Datos censales.
- Información de usos del suelo.
- Variables relacionadas con la actividad humana.

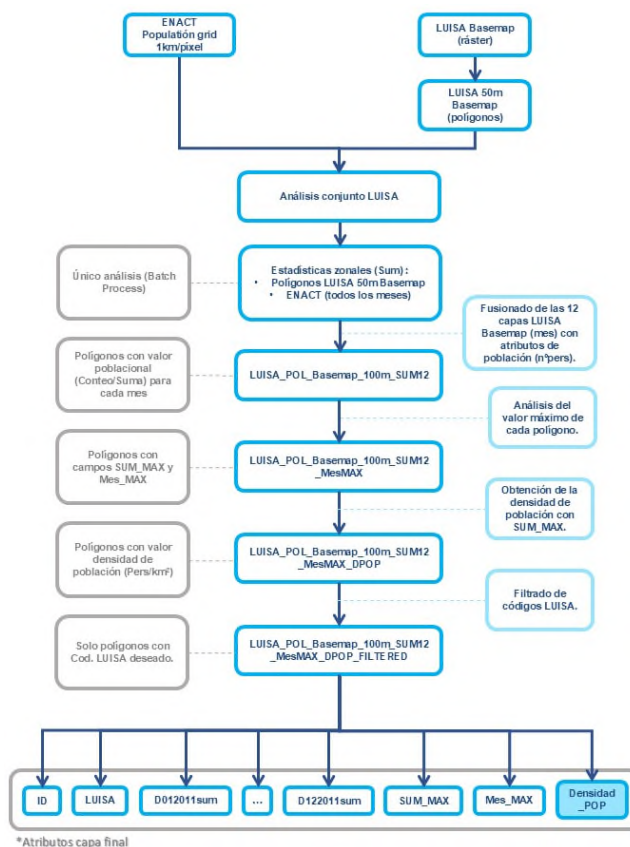
Este enfoque permite representar de forma más realista la distribución de población para cada uno de los meses del año, especialmente en entornos no residenciales como áreas comerciales, industriales o infraestructuras de transporte.

Se puede acceder a los datos a través del siguiente enlace:

https://jeodpp.jrc.ec.europa.eu/ftp/jrc-opendata/ENACT/ENACT_POP_2011_EU28_R2020...

3.3. Metodología.

El proceso metodológico para la obtención de la densidad de población sobre la cartografía LUISA se divide en varias fases principales, estructuradas para integrar datos ráster de población con polígonos de usos del suelo.



3.3.1. Preparación y Fusión de Capas Base.

El análisis comienza con la integración de las dos fuentes de datos principales: la capa **LUISA 50m Basemap** (en formato ráster) y las 12 rejillas de población (diurnas) **ENACT Population grid** (en formato ráster) con una resolución de 1km por píxel.

Como se ha indicado, únicamente se emplearán en el análisis y asignación de valores poblacionales no residenciales, las 12 capas diurnas **ENACT Population grid** por ser las que previsiblemente reflejen mayores variaciones respecto a la densidad de población residencial.

A continuación, se realiza un proceso de vectorización de la capa LUISA para obtener las entidades poligonales en base a las cuales analizaremos estadísticamente los valores de población no residencial.

3.3.2. Análisis de Estadísticas Zonales.

Seguidamente se procede al cálculo de **Estadísticas Zonales (Sum)** para los polígonos LUISA de 50 metros. Este paso permite asignar a cada polígono un valor poblacional (conteo o suma personas) para cada mes del año, generando una serie de atributos que van desde el primer mes hasta el último (ej. D012011sum a D122011sum).

Como resultado de esta fase, se obtiene la capa intermedia, que contiene la información poblacional agregada temporalmente.

3.3.3. **Determinación de Valores Máximos y Densidad.**

Para identificar la población máxima de cada entidad LUISA, se realiza un **análisis del valor máximo de cada polígono**. En este proceso se generan dos campos clave en la base de datos:

- **SUM_MAX**: Representa el valor máximo de población no residencial (pers.) alcanzado en el año.
- **Mes_MAX**: Identifica el mes específico en el que se registra dicho valor máximo.

Con el valor SUM_MAX consolidado, se procede a la **obtención de la densidad de población**. Este cálculo traduce el número de personas a una variable de densidad (pers/km²) en base a la superficie de cada polígono.

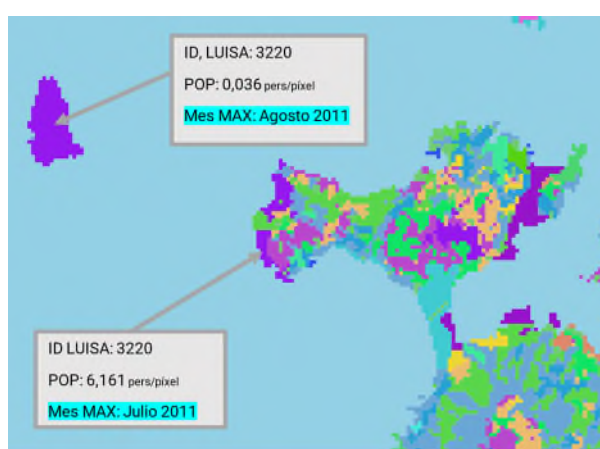


Ilustración 1: Representación de la diferencia de valores de población entre dos zonas con la misma categoría LUISA

3.3.4. **Filtrado y Generación de la Capa Final.**

La fase final consiste en la depuración de los datos según los objetivos del estudio. Se aplica un **filtrado de códigos LUISA** para seleccionar exclusivamente aquellos polígonos con el código de uso de suelo deseado. (Véase Anexo I).

Los atributos finales de la capa incluyen el identificador (ID), el código LUISA, la suma máxima de población, el mes de referencia y la densidad calculada. El producto resultante es la capa cartográfica optimizada: LUISA_POL_Basemap_100m_SUM12_MesMAX_DPOP_FILTERED.

3.3.5. **Rasterización.**

La capa vectorial resultante se rasteriza con las siguientes características:

- Resolución espacial: **50 m/píxel**.
- Campo de referencia: **“Densidad_POP”**.
- Sistema de referencia por coordenadas: **ETRS89-extended / LAEA Europe - EPSG:3035**.

Este formato facilita su integración en entornos GIS y su utilización directa en el cálculo del iGRC.

La capa generada permite mejorar la estimación de la densidad de población en el contexto del cálculo del iGRC.

La incorporación de la componente de población no residencial, junto con un enfoque basado en la fusión de datos, proporciona una representación más realista del riesgo en tierra.

Este producto contribuye a la homogeneización y robustez de las evaluaciones de riesgo en operaciones con UAS dentro del marco SORA.

3.3.6. **Clases LUISA susceptibles de albergar población no residencial.**

Estas clases LUISA han sido identificadas como áreas con alta probabilidad de concentrar población no residencial (trabajadores, viajeros o usuarios de servicios), lo cual es crítico para una estimación precisa del riesgo en tierra en entornos donde la población censada estática es mínima.

Las clases incluidas de forma estricta en el análisis son:

Código LUISA	Descripción de la Clase (Uso del Suelo)
1130	Urban vegetation
1210	Industrial or comercial Units
1222	Major Stations
1230	Port Areas
1242	Airport Terminals
1330	Construction sites
1410	Green Urban Areas
1420	Sport And Leisure
3310	Beaches

4. CAPAS DE DENSIDAD DE POBLACIÓN RESIDENCIAL A DIFERENTES ALTURAS/RESOLUCIÓN

El presente documento describe la generación del conjunto de capas geoespaciales de densidad de población residencial desarrollado para su empleo en el cálculo del **Intrinsic Ground Risk Class (iGRC)** en el marco de la metodología SORA ligadas a las diferentes alturas de vuelo

4.1. Objetivo

El objetivo de la creación de estas capas es proporcionar una fuente de datos fiable de densidad de población residencial que se ajuste a las resoluciones propuestas en la tabla 4 del *AMC & GM to Regulation (EU) 2019/947 Issue 1, Amendment 3*

Max. altura (AGL) del volumen operacional		Resolución óptima (metro × metro)
Pies	Metros	
500	152	200x200
1000	305	400x400
2500	762	1000x1000
5000	1524	2000x2000
10000	3048	4000x4000
20000	6096	5000x5000
60000	18288	10000x10000

Esto permite reducir la granularidad excesiva en el caso de vuelos a alturas superiores a 500 pies y ofrecer datos más proporcionales a las condiciones de la operación.

4.2. Datos Fuente

Los datos de partida corresponden a la capa [JRC-ESTAT Census Population Grid 2021](#). La cuadrícula de población del censo JRC-ESTAT 2021 se deriva de la cuadrícula de 1 km del CENSO 2021 mediante la aplicación de la técnica de cartografía dasimétrica. Este enfoque consistió en la desagregación de los recuentos de población desde una cuadrícula de baja resolución (1 km) a una de mayor resolución (100 m) utilizando datos indirectos con la resolución espacial deseada (100 m). La capa indirecta —volumen de edificaciones residenciales— se generó combinando datos de huella de edificios, uso del suelo y altura de edificios procedentes de diversas fuentes.

4.3. Metodología

Los datos de densidad de población son proporcionados por el JRC con una resolución espacial de 100 x 100 m. Mediante un script “r.resamp.stats” de la herramienta GRASS de QGIS, tomando como entrada los datos ráster (a 100 x 100 m) proporcionados por el JRC, se genera un nuevo ráster a 200 x 200 m en el que cada celda resultante suma la densidad de población de cada una de las celdas que lo componen.

El script primero agrega las celdas de 100 x 100 m a celdas de 200 x 200 m creando una nueva imagen ráster sumando los valores de las celdas de 100 x 100 m en una nueva cuadrícula de 200 x 200 m.

Luego mediante la herramienta “Raster Calculator” de QGIS, el script crea otro ráster que convierte los valores de personas por celda de 200 x 200 m a personas por kilómetro cuadrado. Esto se logra

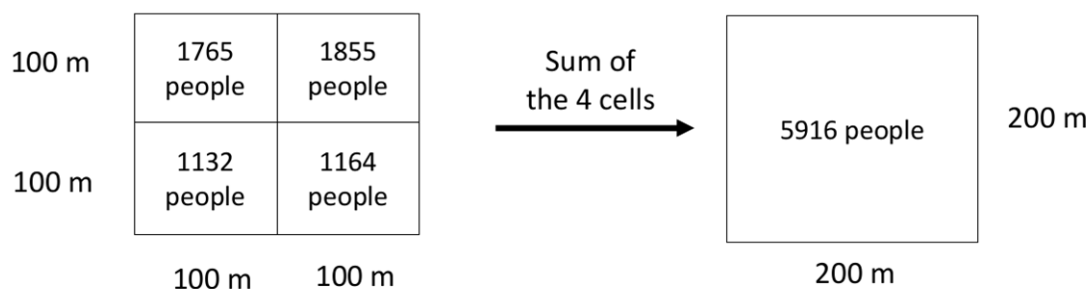
dividiendo el valor de la celda de 200 x 200 m por 0,04 (40.000 metros cuadrados suponen el 0,04% de un Km² para obtener las personas por km²).

El proceso se visualiza de la siguiente manera:

- PASO 1: los datos de entrada (100 x 100 m) proporcionan, para cada celda, el número de personas presentes.

1765 people	1855 people
1132 people	1164 people

- PASO 2: cada bloque de cuatro celdas de 100 x 100 m se agrega para convertirse en una celda de 200 x 200 m. El número de personas se suma para obtener el número total presente en la nueva celda.



- PASO 3: el valor en cada celda se convierte de "número de personas/celda" a "personas/km²". Esto se hace dividiendo por 0,04 el valor de cada celda.
- PASO 4: se proporciona el resultado final: 147.900 personas/km².

147.900 people/km ²

Los factores de conversión de personas totales en cada celda a densidad de Población son los siguientes:

Nombre Capa	Altura máxima		Resolución optima (metro x metro)	Factor de conversión
	Pies	Metros		
JRC-CENSUS_2021_DPOP 100m	250	76	100x100	0.01
JRC-CENSUS_2021_DPOP 200m	500	152	200x200	0.04
JRC-CENSUS_2021_DPOP 400m	1000	305	400x400	0,16
JRC-CENSUS_2021_DPOP 1000m	2500	762	1000x1000	1
JRC-CENSUS_2021_DPOP 2000m	5000	1524	2000x2000	4
JRC-CENSUS_2021_DPOP 4000m	10000	3048	4000x4000	16
JRC-CENSUS_2021_DPOP 5000m	20000	6096	5000x5000	25
JRC-CENSUS_2021_DPOP 10000m	60000	18288	10000x10000	100

5. CAPA DE DENSIDAD DE POBLACIÓN EN PUERTOS Y MAR TERRITORIAL

5.1. Objetivo

Los puertos de titularidad estatal constituyen entornos con una elevada variabilidad en la densidad de población, pudiendo alcanzar valores significativos en determinados enclaves debido, entre otros factores, al tráfico de cruceros, los cuales concentran un elevado número de personas a bordo.

En este contexto, el tráfico marítimo asociado a buques de gran capacidad suele concentrarse en áreas próximas a los puertos, comúnmente denominadas Zona II, donde las embarcaciones permanecen a la espera de autorización por parte de la autoridad portuaria para su acceso a las zonas de atraque (Zona I), en las que se desarrollan las operaciones de atraque, desembarque y carga/descarga. Estas áreas pueden, por tanto, presentar concentraciones puntuales de población que deben ser consideradas en la estimación del riesgo en tierra.

Para cada una de las autoridades portuarias se recopilaron los datos de el numero de personas presentes en base al tráfico marítimo que soportan a través de los datos estadísticos de Puertos de Estado para el año 2025. <https://www.puertos.es/datos/estadisticas/anuales>.

Por otro lado, la libre navegación de embarcaciones en el mar territorial no justifica, con carácter general, la consideración de estas áreas como zonas terrestres controladas, salvo en aquellos casos en los que el operador establezca medidas efectivas que garanticen el control del volumen de operación.

En consecuencia, y a efectos de la estimación del riesgo en tierra conforme a la metodología SORA, las áreas correspondientes al mar territorial se consideran, con carácter general, como zonas escasamente pobladas, asignándoles una densidad de población inferior a 5 hab/km², sin perjuicio de las excepciones puntuales que puedan derivarse de la presencia de tráfico marítimo concentrado en las proximidades portuarias.

5.2. Datos fuente

Para la obtención de la capa de densidad de población en el ámbito marítimo (DPOP Mar), se han utilizado las siguientes capas geoespaciales:

- [Límites territoriales de España \(IGN\)](#)
- [Capa de zonas de servicio de Puertos del Estado](#)
- [Límite de aguas territoriales de España](#)
- [Límite territorial de Marruecos](#)

Estas capas permiten delimitar de forma precisa el ámbito espacial de análisis, así como identificar las zonas portuarias y las áreas marítimas objeto de caracterización.

5.3. Metodología

- PASO 1: Con el límite territorial de España se ha calculado la zona de aguas territoriales generando un buffer de 12NM.
- PASO 2: A este Buffer se le ha eliminado todo lo que no fuera zona marítima mediante el uso de las capas con los límites territoriales con Marruecos y las zonas de aguas territoriales de España con Francia y Portugal.
- PASO 3: Una vez se dispuso de la zona del mar territorial se incluyeron las zonas portuarias 1 y 2 y se excluye la zona terrestre.
- PASO 4: Una vez se hubieron incluido estas capas, se procedió a asignar los valores asignados a cada puerto
- PASO 5: Para el cálculo de la densidad de población en las distintas zonas marítimas se utilizó el número buques mercantes, el número de cruceros y el número de pasajeros total, desglosado en pasajeros en régimen de transporte y pasajeros de crucero. Todo esto, según datos de Puertos del Estado según cierre provisional de 2025.
- PASO 6: Después, añadimos la población del municipio en el que se encuentra el principal puerto que gestiona la Autoridad Portuaria (Fuente: INE) y tomando como referencia el dato expuesto en el “Marco Estratégico del Sistema portuario de interés general”. En números redondos, los puertos españoles representan el 1% del PIB nacional y dan trabajo a 100.000 personas. Por tanto, llegamos a que aproximadamente el 1,25% de la población del municipio desarrollan alguna actividad vinculada con el puerto. Todo esto se dividió entre la superficie de cada una de las zonas y entre 365 días.

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Autoridad Portuaria	DPOP Zona 1	DPOP Zona 2
A Coruña	205	12
Alicante	924	21
Almería	1.363	101
Avilés	2	0
Bahía de Algeciras	1.689	332
Bahía de Cádiz	131	16
Baleares	3.831	984
Barcelona	1.737	350
Bilbao	49	20
Cartagena	318	14
Castellón	6	0
Ceuta	5.634	341
Ferrol-San Cibrao	2	2
Gijón	31	5
Huelva	7	1
Las Palmas	1.044	170
Málaga	2.251	38
Marín y Ría de Pontevedra	0	0
Melilla	722	765
Motril	1.068	66
Pasaia	3	0
Santa Cruz de Tenerife	5.433	137
Santander	139	21
Sevilla	28	2
Tarragona	110	2
Valencia	540	20
Vigo	122	6
Vilagarcía	1	0

- PASO 7: Estos valores fueron incluidos en cada una de las zonas portuarias de cada uno de los puertos en el campo específico de Densidad de Población. Todos los valores inferiores a 5 habitantes/Km² se igualaron al valor de 4 habitantes/Km² que supone el número entero más bajo de densidad de población después de la zona terrestre controlada. Por ejemplo, el puerto de Villagarcía que según estadísticas da un valor de 1 habitantes/Km² en la tabla, en la capa se representará con un valor de 4 habitantes/Km². Esta estandarización de valores no supone a efectos prácticos ningún cambio en el GRC inicial ya que todos los valores se encuentran dentro de la misma fila y permite mantener la coherencia de la capa.
- PASO 8: Posteriormente se transformó la capa vectorial a Ráster con una resolución de 200x200 m, manteniendo el valor indicado en el campo DPOP.

La capa generada “DPOP Mar.tiff” se creó bajo el sistema de coordenadas EPSG:3035 (ETRS89-LAEA) es el estándar paneuropeo para la representación de datos estadísticos y analíticos, definido por la Agencia Europea de Medio Ambiente. Utiliza una proyección de Área Equivalente de Lambert (LAEA) sobre el datum ETRS89, ideal para análisis de superficies, mapas temáticos y mallas de cuadrículas europeas.