

Anexo IX: Estudio de contaminación lumínica relativo al Proyecto Plataforma de I+D+i en Energías Marinas (PLEMCAT)

Promotor: IREC

Febrero 2024



Estudio de contaminación lumínica en la Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT)

Dirigida a: **TECNOAMBIENTE**

Preparado por: Susana Malón Giménez – L. CC. Físicas nº COFIS 4382
Lumínica Ambiental S.L.

Nº doc.
LA-107024

Fecha: 26-01-2024

Nº de hojas: 40 + anexo

Memoria técnica

Estudio de contaminación lumínica en la Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT)



Firmado: Susana Malón Giménez

Este documento está **PROTEGIDO** y es **CONFIDENCIAL**. No puede ser utilizado ni total ni parcialmente para otro fin, por el solicitante ni por terceros, ni divulgado sin el permiso escrito de Lumínica Ambiental

Contenido

04	1. Objetivo
05	2. Contaminación lumínica. Definiciones
09	3. Alcance
10	4. Metodología
12	5. Legislación. Zonificación lumínica
15	6. Criterios iluminación. Seguridad aérea y marítima
22	7. Balizamiento proyectado del parque eólico marítimo
24	8. Análisis impacto contaminación lumínica
24	8.1. Zonificación lumínica
25	8.2. Mapa de visibilidad lumínica
31	8.3. Mapa de propagación lumínica
34	8.4. Mapa de contaminación lumínica (brillo fondo cielo)
36	9. Conclusiones
37	10. Recomendaciones
39	11. Referencias
Anexo	Mapas

1. Objetivo

Realizar el estudio de contaminación lumínica **en la Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT)**, en base a la visibilidad nocturna que ésta puede generar, y dentro del estudio de impacto ambiental que actualmente se está desarrollando.

En la actualidad, son rotundas las conclusiones de estudios e investigaciones científicas (*véase apartado 11 de referencias. p.e. Voigt et al. 2018, etc.*) que analizan el potencial impacto de la contaminación lumínica en el entorno. Las repercusiones son numerosas, si no se adoptan medidas de control de la iluminación artificial y compatibilización de los sistemas de alumbrado con la oscuridad natural de la noche. *Especialmente, el fuerte impacto que distintas fuentes de luz producen sobre la biodiversidad nocturna, que en el caso del posible impacto de los parques eólicos marítimos se focaliza principalmente en murciélagos, aves y peces.*

La señalización y balizamiento de los parques eólicos marítimos, deben cumplir con las directrices de seguridad aérea de la Agencia Estatal de Seguridad Aeronáutica (AESA) y que están basadas en la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), transpuesto mediante el Real Decreto 862/2009 y cumplimiento en materia de señalamiento e iluminación de este tipo de obstáculos del Reglamento (UE) nº 139/2014).

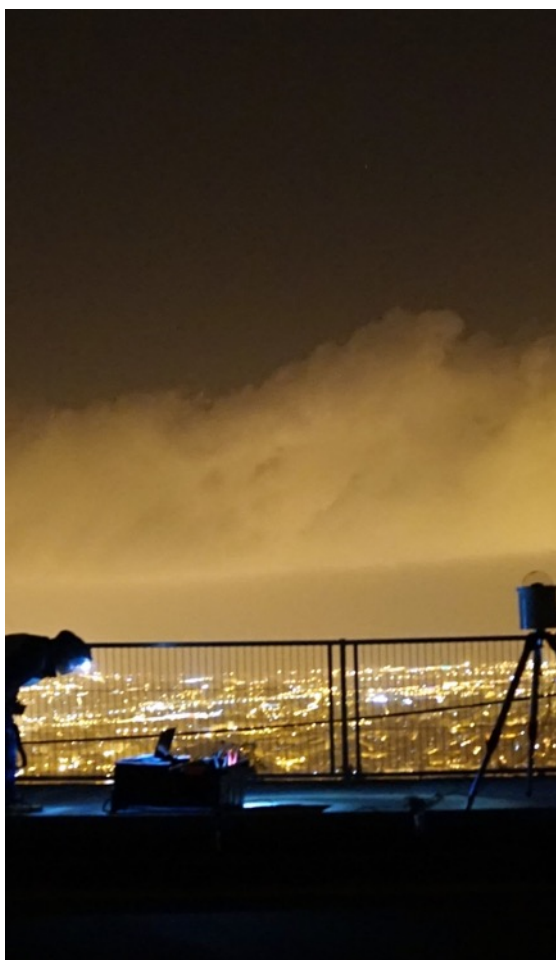
Además, de las de seguridad marítima de organismos nacionales (DG Marina Mercante) e internacionales (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities).



2. Contaminación lumínica. Definiciones

El exceso de iluminación artificial nocturna (no justificada, dirigida de forma no adecuada y en rangos espectrales perjudiciales) es y debe ser considerada como un tipo de contaminación ambiental, al igual que el ruido o la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, por ejemplo.

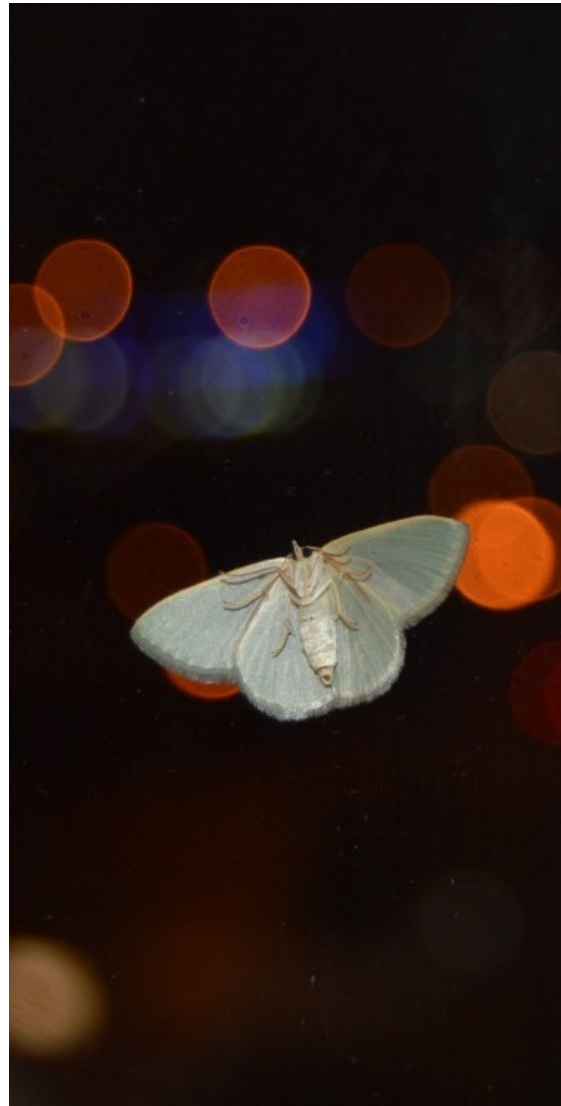
La contaminación lumínica presenta numerosas repercusiones negativas demostradas en numerosos estudios y proyectos de carácter técnico y científico (*ver apartado de referencias*). Entre ellos a nivel:



- **Energético y económico**, por exceso de consumo que genera la luz que es innecesaria y la que se emite hacia zonas que no deben ser iluminadas (ventanas y el cielo).
- **Emisiones GEIs**. Incremento del número de emisiones de gases de efecto invernadero lo que contribuye al cambio climático.
- **Seguridad** de los usuarios. Principalmente por deslumbramiento de luminarias diseñadas de forma deficiente y también por el color de la luz con longitudes de onda cortas (azul).
- **Salud** de las personas. La casi desaparición de las horas de oscuridad en nuestro día a día produce cronodisrupción en nuestro organismo (desajuste reloj biológico y ritmo circadiano) que está asociado a una mayor incidencia de enfermedades. Premio Nobel de Medicina (*Hall J., Rosbash M. & Young M.W. 2017*).

- **Biodiversidad**, ya que merma las capacidades de supervivencia y comportamiento de muchas especies animales (el 65% de las especies animales tiene hábitos nocturnos) y plantas.
- **Ciencia**, por el aumento del brillo del fondo del cielo y por tanto la pérdida de la calidad del cielo nocturno para su uso científico (astronomía).
- **Cultura**. Tener un cielo nocturno apenas sin estrellas en nuestras ciudades, está haciendo que perdamos el vínculo con el conocimiento y nuestra esencia, puesto que somos la primera civilización que no mira a las estrellas (fue calendario agrícola, sistema de orientación, reloj...).

Esto es especialmente negativo para las generaciones futuras que no tienen la oportunidad de conocer y disfrutar del cielo porque no lo ven. En la actualidad, casi el 90% de la población que vive en países desarrollados no puede ver la Vía Láctea.



En relación al **balizamiento nocturno de los parques eólicos terrestres**, los posibles impactos que la iluminación nocturna puede tener se centran en la biodiversidad y distintos organismos, especialmente murciélagos (*Rydell 2006M Voigt et al. 2018; Stone et al. 2009; Stone et al. 2012; Stone et al. 2015; Spoelstra et al. 2017*) y aves (*Cabrera-Cruz et al. 2018, Telfer et al. 1987; Rodríguez & Rodríguez 2009; Miles y col. 2010; Rodríguez y col. 2014, 2015, Longcore et al. 2012, 2013, Gehring et al. 2009; Rebke, M., Dierschke, V., Weiner, C. N., Aumüller, R., Hill, K., & Hill, R. 2019. Biological Conservation 233: 220-227*) reduciendo la resiliencia de las poblaciones. Impacta sobre la migración y el uso del hábitat, las funciones ecológicas, el momento y la cantidad de reproducción y el sistema inmunológico en varios taxones (*Hölker et al. 2010b*).

El impacto por contaminación lumínica es un factor de riesgo importante para la biodiversidad y, en consecuencia, el suministro mundial de alimentos. En los **parques eólicos marinos** el impacto se extiende hasta los diferentes ecosistemas y especies marinas (*M. Depledge et al. 2015; Marine Pollution Bulletin 60(9):1383-5; Longcore, T., Rich, C., 2004. Ecological light pollution; Peter A. Todd, Oikos 128: 1215-1242, 2019, Towards an urban marine ecology*).

Los criterios que se aplican para reducir la contaminación lumínica (basados en nuestra experiencia de casi 20 años en la ejecución de proyectos y estudios de impacto ambiental por contaminación lumínica), son:

- No iluminar. Si se necesita, buscar el mínimo balizamiento requerido e imprescindible (criterios AESA).
- Balizamiento con fuentes de luz de color rojo, con menor impacto contrastado y que reducen colisiones. Mejor fija que parpadeante.
- Evitar balizamiento con luz blanca y UV, puesto que es la que más deslumbra, se dispersa mucho más en la atmósfera y es la más nociva para fauna nocturna (y personas).

Los parques eólicos marítimos son infraestructuras que por sus características y ubicación deben iluminarse para garantizar la seguridad aérea y marítima en base a las servidumbres aeronáuticas (según criterios de AESA, DG Marina Mercante), pero se deben diseñar buscando el mínimo impacto por contaminación lumínica que puedan generar en el medioambiente nocturno, cumpliendo las exigencias establecidas por seguridad aérea y marítima.



A continuación, se detallan las definiciones técnicas consideradas para la realización de este proyecto:

- **Flujo luminoso (lm).** Flujo total lumínico emitido o radiado en todas direcciones por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Se mide en lumen [lm], que se define como el flujo lumínico emitido por un estereorradián por un punto de luz cuando su intensidad es 1 candela.
- **La intensidad luminosa (cd).** Flujo luminoso emitido o radiado en una dirección dada por una fuente de luz durante una unidad de tiempo para un ángulo sólido de valor un estereorradián.
- **Iluminancia (lux).** Flujo lumínico que incide sobre una superficie. La unidad de medida en el S.I. es el lux [lx] y se define como la iluminación que produce un lumen que incide sobre una superficie de un metro cuadrado.

La iluminancia que produce una fuente de luz cuando incide perpendicularmente sobre uno o más planos es directamente proporcional a la intensidad luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el plano y la fuente. Cuando la dirección de la luz forma un determinado ángulo con la superficie sobre la que incide, la iluminancia se calcula, aplicando la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, pero multiplicando por el coseno del ángulo correspondiente.

- **Iluminancia horizontal (lux).** Iluminancia en el plano horizontal.
- **Iluminancia vertical (lux).** Iluminancia en el plano vertical (luz intrusa).
- **Luminancia (cd/m²).** Intensidad luminosa por unidad de superficie aparente de una fuente de luz primaria o secundaria (reflejada). La unidad de medida es la cd/m². Es la magnitud que el ojo puede detectar, mide el brillo de las fuentes de luz o de los objetos tal como los ve el ojo humano.
- **Airglow o luminiscencia nocturna.** Emisión de luz por una atmósfera planetaria causada por la reestructuración de átomos en forma de moléculas que habían sido ionizadas por la luz solar durante el día, o por rayos cósmicos. Este tipo de radiación es visible en zonas con excelente calidad del cielo nocturno y de la oscuridad del mismo.

3. Alcance

El ámbito de estudio se centra en el entorno de la **Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT)**, que ha sido concebida para el desarrollo de proyectos de I+D+i de tecnologías de generación marina offshore. El objetivo de PLEMCAT es el de proporcionar una infraestructura de ensayo y demostración de prototipos de generación eólica marina de última generación, con capacidad para la conexión de dispositivos (turbinas) de hasta 15 MW. En la zona marina se propone instalar una boya o hub de interconexión de dispositivos de ensayo y demostración (aerogeneradores flotantes), que permite la conexión de 3 posiciones de generación de energía renovable, dispuestas en dirección perpendicular a la costa en dirección ENE ($\sim N73^\circ E$).

La plataforma se localiza a una distancia media aproximada de 24 km de la costa según se describe en la imagen siguiente:

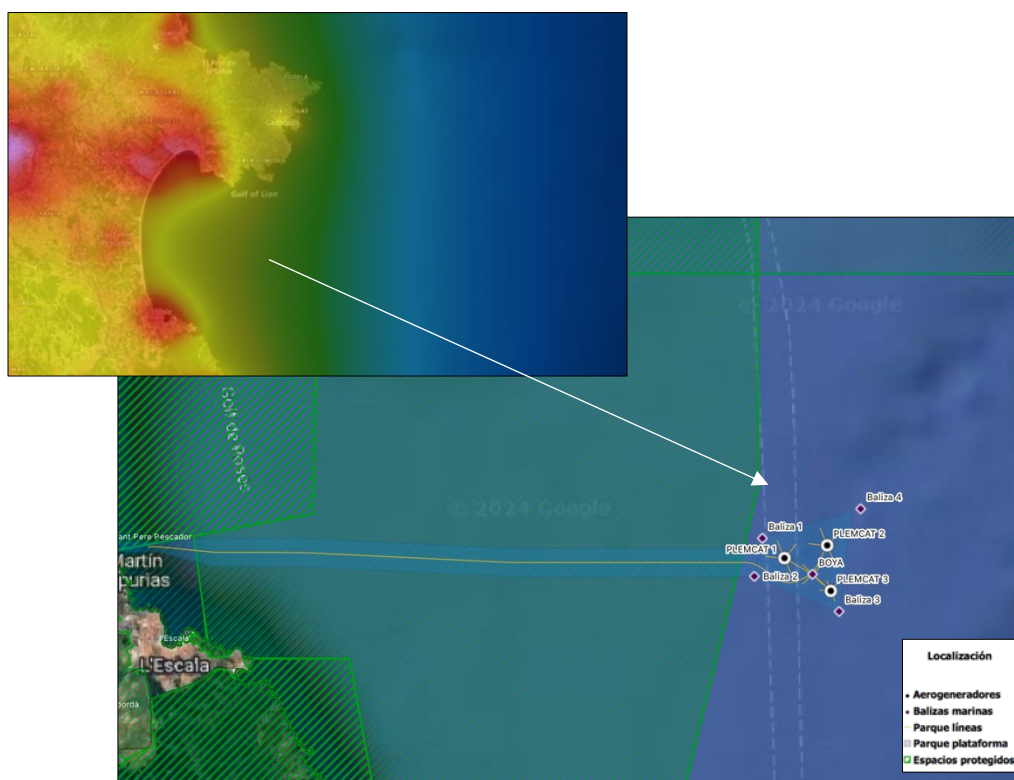


Imagen 1. Localización plataforma PLEMCAT y zona de estudio

4. Metodología

4.1. Mapa de visibilidad lumínica

El mapa de visibilidad lumínica de los aerogeneradores proyectados en la **plataforma PLEMCAT**, determina las distintas áreas en el entorno próximo donde tanto su balizamiento luminoso aéreo como las balizas del perímetro marítimo son visibles y, por tanto, pueden generar impacto lumínico dado que reciben la radiancia luminosa producida por sus luces nocturnas y que se sólo se reduce por atenuación atmosférica no por el hecho de propagarse.

Se han generado dos mapas de visibilidad lumínica del balizamiento en altura previsto, uno de los sistemas de iluminación aéreos y otro con los marítimos, en el que se representan las zonas a la que llega la radiancia directa de dichos sistemas de iluminación, determinando si de cada punto se ven las balizas o no e incluso el número de balizas visibles.

Para ello se ha considerado el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona, junto con la ubicación de los aerogeneradores, balizas marítimas, altura, disposición de los mismos, características balizamiento luminoso y altura en el fuste.

4.2. Mapa de propagación lumínica

A partir del mapa de visibilidad y de la intensidad lumínica de una baliza típica en base a las características de los aerogeneradores utilizados en el proyecto (Dual Media A / Media C, blanca/roja) y la perimetral (luz ámbar) de la zona marina, se obtiene un mapa de propagación lumínica por cada tipo de balizamiento, aplicando las leyes de propagación de la luz en función de la distancia a la fuente y los ángulos de emisión e inmisión de la luz.

En este caso el mapa general de propagación general de la luz se muestra en términos de iluminancia vertical E_v (lux) a la altura de la baliza, es decir, la iluminancia en un plano perpendicular a la dirección de propagación horizontal desde la fuente de luz y a la altura de éste, para valorar el impacto más desfavorable. Si bien también se han analizado en otras localizaciones a diferentes alturas y distancias de las balizas.

4.3. Mapa de contaminación lumínica

El parámetro que evalúa la contaminación lumínica se denomina **brillo artificial del fondo del cielo**, y contempla el grado de perturbación causado por la contaminación lumínica sobre las condiciones naturales de oscuridad de la noche en un lugar y su valor se mide en **magnitudes por arco segundo al cuadrado ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$)** y en el cenit (en la zona del cielo justo encima de nosotros).

Para caracterizar la contaminación lumínica se debe medir bajo condiciones concretas: noches sin luna, sin nubes y fotométricas desde un punto de vista astronómico, con instrumentación específica para ello.

En este caso, se ha utilizado el mapa de contaminación lumínica generado y realizado por la Generalitat de Catalunya, que actualiza con continuas campañas de medidas y que está dentro de las acciones de la Oficina de Protección del Cielo de Catalunya, creada para el control de la normativa autonómica.

5. Legislación. Zonificación lumínica

En el ámbito del estudio, es de obligada aplicación la normativa autonómica existente en materia de contaminación lumínica y que en lo relativo a alumbrado de señalización de aerogeneradores indica lo siguiente:

DECRETO 190/2015, de 25 de agosto, de desarrollo de la Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.

Artículo 12

Características específicas de las instalaciones de iluminación exterior

6. Alumbrado de señalización de aerogeneradores

a) El alumbrado de señalización nocturna de los aerogeneradores, cuando sea necesario por seguridad aérea, tiene que prevenir en la medida de lo posible el impacto sobre el medio. A tal efecto, por la noche se han de señalizar solo los aerogeneradores imprescindibles de acuerdo con las normas de señalización e iluminación por seguridad aérea y las guías correspondientes.

b) El alumbrado de señalización nocturna de los aerogeneradores ubicados en zonas E1, E2, puntos de referencia y sus áreas de influencia, ha de ser con luz roja fija (luz de media intensidad, tipo C), siempre y cuando ello no contravenga la normativa de seguridad aérea.

Disposiciones transitorias

Primera Adecuación de las instalaciones

4. En el caso de instalaciones de alumbrado de señalización nocturna de aerogeneradores que, por la alta densidad de aerogeneradores señalizados y la proximidad a núcleos habitados, causan molestias o perjuicios, la dirección general competente en materia de contaminación lumínica, previo trámite de audiencia, puede requerir a la persona titular de la instalación a fin de que aplique las medidas de corrección necesarias. El requerimiento ha de establecer un plazo de corrección proporcionado a las medidas que haya que implementar, que en ningún caso puede ser superior a cuatro años.

Desde la Generalitat se trabaja desde el año 2010 para reducir al máximo la contaminación lumínica generada por los balizamientos de los parques eólicos en Cataluña, realizando varios estudios con aprobación de AESA:

1. Estudio de identificación de los parques eólicos que pueden apagar balizas o adaptarlas a luz roja fija por la noche.
2. Conclusiones del trabajo “Identificación del número de aerogeneradores que podrían dejar de estar señalizados lumínicamente o cambiar el tipo de baliza nocturna aplicando los criterios de AESA.”
 - *Baix Ebre, con 32 señales apagadas y una sustitución de señal tipo Mediana A/ Mediana B.*
 - *Terra Alta, con 61 sustituciones de señales tipo Mediana A por Dual Media A/ Mediana C, 41 sustituciones de señales tipo Dual Media A/Mediana B y 3 señales apagadas.*
 - *Ribera de Ebro, con 4 sustituciones de señales tipo Dual Media A/ Mediana B por Dual Media A/ Media C*

A partir de esto se publicó una resolución para la corrección del balizamiento existente de color blanco contaminante a color rojo en:

RESOLUCIÓN TUS/1578/2015, de 8 de julio, de convocatoria de subvenciones para fomentar la sustitución de las balizas luminosas de los aerogeneradores de los parques eólicos que por la noche emitan luz que no sea roja fija para el año 2015 (DOGC n.º 6913, de 15.7.2015).

5.1- Zonificación lumínica

La legislación autonómica (**Decreto 190/2015**) establece la zonificación lumínica de Cataluña en base su grado de vulnerabilidad a la contaminación lumínica, en las denominadas **zonas E**:

Clase	Descripción
E1	ZONAS DE MÁXIMA PROTECCIÓN Las zonas E1, con una protección máxima de la contaminación lumínica, son las áreas incluidas en el Plan de espacios de interés natural (PEIN); los espacios de la red Naturaleza 2000; las playas, las costas y las orillas de aguas continentales, no integradas en los núcleos de población o en núcleos industriales consolidados; y también las áreas que el departamento competente en materia de medio ambiente aprueba con este nivel de protección a propuesta del ayuntamiento del término municipal donde se sitúan.
E2	ZONAS DE ALTA PROTECCIÓN Las zonas E2, con una protección alta de la contaminación lumínica, son las áreas que el planeamiento urbanístico clasifica como suelo no urbanizable fuera de las zonas E1, y también las áreas que los ayuntamientos han propuesto aumentar su protección dentro de su término municipal
E3	ZONAS DE MODERADA PROTECCIÓN Las zonas E3, con una protección moderada de la contaminación lumínica, son las áreas que el planeamiento urbanístico clasifica como suelo urbano o urbanizable, excepto las áreas que son zona E1, E2 o E4. También se clasifican como zonas E3 los espacios de uso intensivo durante la noche por la alta movilidad de personas o por su elevada actividad comercial o de ocio, situados en suelo no urbanizable, que los ayuntamientos proponen como tales y el departamento competente en materia de medio ambiente aprueba
E4	ZONAS DE PROTECCIÓN MENOR Las zonas E4, con una protección menor de la contaminación lumínica, son de suelo urbano de uso intensivo durante la noche por la alta movilidad de personas o por su elevada actividad comercial o de ocio que los ayuntamientos proponen como tales y el departamento competente en materia de medio ambiente aprueba. No se pueden clasificar como zona E4 los espacios que están a menos de 2 km de una zona E1

La plataforma PLEMCAT queda fuera del ámbito de la zonificación lumínica, pero es adyacente a zonas de máxima protección marina y de la costa.

6. Criterios iluminación

6.1. Seguridad aérea. Criterios AESA

La **señalización y balizamiento de los parques eólicos**, debe cumplir con las directrices de AESA, y que están basadas en la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), transpuesto mediante el Real Decreto 862/2009 y cumplimiento en materia de señalamiento e iluminación de este tipo de obstáculos del Reglamento (UE) nº 139/2014).

Es obligatoria la **“GUÍA SEÑALAMIENTO E ILUMINACIÓN DE TURBINAS Y PARQUES EÓLICOS. 2017”** elaboradas a partir del Anexo 14 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), transpuesto a la legislación española mediante el Real Decreto 862/2009 de 14 de mayo por el que se aprueban las normas técnicas de diseño y operación de aeródromos de uso público y se regula la certificación de los aeropuertos de competencia del Estado y transpuesto a legislación europea por Reglamento (UE) nº 139/2014 de la Comisión de 12 de febrero de 2014, por el que se establecen los requisitos y procedimientos administrativos relativos a los aeródromos, de conformidad con el Reglamento (CE) no 216/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de febrero de 2008.

Esta guía es una particularización de la **“GUÍA DE SEÑALAMIENTO E ILUMINACIÓN DE OBSTÁCULOS” (SSAA-16-GUI-32-2.0)** para especificar más detalladamente la singularidad de estos elementos. Esta guía ha de considerarse como medio aceptable de cumplimiento en materia de señalamiento e iluminación de este tipo de obstáculos del **Reglamento (UE) nº 139/2014 de la Comisión de 12 de febrero de 2014**. Como tal, podrán presentarse propuestas alternativas que, si a juicio de la autoridad nacional de supervisión (AESA) se demuestran equivalentes, podrían ser autorizadas.

Según lo anterior:

- 1.- Todos los parques eólicos dentro de servidumbres aeronáuticas deben ser iluminados, independiente de la altura de sus elementos.
- 2.- Pero la altura es lo que determina el tipo de balizamiento (esté o no en zona de servidumbre). Parques eólicos con elementos superiores a 100m de altura deben estar iluminados.

- La iluminación debe cumplir con lo indicado en la Tabla Q-2 del Capítulo Q de las especificaciones de certificación para el diseño de aeródromos CS-ADR-DSN del Reglamento (UE) nº 139/2014 incluida como Anexo I.
- El **régimen de intermitencia** de las luces en los casos que corresponda será de 40 fpm (destellos por minuto).
- La **cromaticidad** de las luces estará comprendida dentro de los límites establecidos en el Real Decreto 862/2009, de 14 de mayo, Normas Técnicas de Diseño y Operación de Aeródromos de Uso Público, Apéndice 1; Figura A1-1 Colores de luces aeronáuticas de superficie. Lo establecido anteriormente debe ser justificado adecuadamente por parte del fabricante de las luces mediante la presentación de una ficha técnica que especifique que la instalación prevista cumple con los requisitos establecidos por OACI.
 - Baja intensidad tipo A, B, E: rojo. Tipo C: amarillo/azul y Tipo D: amarillo
 - Media intensidad tipo A: blanco; B y C: rojo
 - Alta intensidad tipo A, B: blanco.

Tabla 6-1. Características de las luces de obstáculos

1	2	3	Intensidad máxima (cd) a una luminancia de fondo dada (b)			7
			4	5	6	
Tipo de luz	Color	Tipo de señal/ (régimen de intermitencia)	Día (Más de 500 cd/m ²)	Crepúsculo (50-500 cd/m ²)	Noche (Menos 50 cd/m ²)	Tabla de distribución de la luz
Baja intensidad Tipo A (obstáculo fijo)	Rojo	Fija	N/A	N/A	10	Tabla 6-2
Baja intensidad Tipo B (obstáculo fijo)	Rojo	Fija	N/A	N/A	32	Tabla 6-2
Baja intensidad Tipo C (obstáculo móvil)	Amarillo/azul (a)	Destellos (60-90 fpm)	N/A	40	40	Tabla 6-2
Baja intensidad Tipo D (vehículo guía)	Amarillo	Destellos (60-90 fpm)	N/A	200	200	Tabla 6-2
Baja intensidad Tipo E	Rojo	Destellos (c)	N/A	N/A	32	Tabla 6-2 (Tipo B)
Mediana intensidad Tipo A	Blanco	Destellos (20-60 fpm)	20 000	20 000	2 000	Tabla 6-3
Mediana intensidad Tipo B	Rojo	Destellos (20-60 fpm)	N/A	N/A	2 000	Tabla 6-3
Mediana intensidad Tipo C	Rojo	Fija	N/A	N/A	2 000	Tabla 6-3
Alta intensidad Tipo A	Blanco	Destellos (40-60 fpm)	200 000	20 000	2 000	Tabla 6-3
Alta intensidad Tipo B	Blanco	Destellos (40-60 fpm)	100 000	20 000	2 000	Tabla 6-3

a) Véase 6.2.2.6.

b) Para las luces de destellos, la intensidad efectiva se determina de conformidad con el *Manual de diseño de aeródromos*, Parte 4.

c) Para aplicación en turbinas eólicas, los destellos se emitirán a intervalos iguales a los de la luz de la barquilla.

Tabla 6-2. Distribución de la luz para luces de obstáculos de baja intensidad

	Intensidad mínima (a)	Intensidad máxima (a)	Apertura del haz vertical (f)	
			Apertura mínima del haz	Intensidad
Tipo A	10 cd (b)	N/A	10°	5 cd
Tipo B	32 cd (b)	N/A	10°	16 cd
Tipo C	40 cd (b)	400 cd	12° (d)	20 cd
Tipo D	200 cd (c)	400 cd	N/A (e)	N/A

Nota.— Esta tabla no incluye aperturas del haz horizontal recomendadas. 6.2.1.3 requiere una cobertura de 360° alrededor de un obstáculo. Por consiguiente, el número de luces necesarias para cumplir este requisito dependerá de la apertura del haz horizontal de cada luz así como de la forma del obstáculo. De este modo, con aperturas de haz más estrechas, se necesitarán más luces.

- a) 360° horizontal. Para luces de destello, la intensidad se lee como intensidad efectiva, determinada de conformidad con el *Manual de diseño de aeródromos* (Doc 9157), Parte 4.
b) Entre 2 y 10° vertical. Para los ángulos de elevación vertical se toma como referencia la horizontal cuando la luz está a igual nivel.
c) Entre 2 y 20° vertical. Para los ángulos de elevación vertical se toma como referencia la horizontal cuando la luz está a igual nivel.
d) La intensidad máxima debería estar situada a aproximadamente 2,5° vertical.
e) La intensidad máxima debería estar situada a aproximadamente 17° vertical.
f) La apertura de haz está definida como el ángulo entre el plano horizontal y las direcciones para las cuales la intensidad excede la mencionada en la columna de "intensidad".

Tabla 6-3. Distribución de la luz para luces de obstáculos de mediana y alta intensidad de acuerdo con las intensidades de referencia de la Tabla 6-1

Intensidad de referencia	Requisitos mínimos					Recomendaciones					
	Ángulo de elevación vertical b)			Apertura del haz vertical		Ángulo de elevación vertical b)			Apertura del haz vertical		
	0°		-1°	c)		0°		-1°	-10°	c)	
	Intensidad media mínima a)	Intensidad mínima a)	Intensidad mínima a)	Apertura mínima del haz	Intensidad a)	Intensidad máxima a)	Intensidad máxima a)	Intensidad máxima a)	Apertura máxima del haz	Intensidad a)	
200 000	200 000	150 000	75 000	3°	75 000	250 000	112 500	7 500	7°	75 000	
100 000	100 000	75 000	37 500	3°	37 500	125 000	56 250	3 750	7°	37 500	
20 000	20 000	15 000	7 500	3°	7 500	25 000	11 250	750	N/A	N/A	
2 000	2 000	1 500	750	3°	750	2 500	1 125	75	N/A	N/A	

Nota.— Esta tabla no incluye aperturas del haz horizontal recomendadas. 6.2.1.3 requiere una cobertura de 360° alrededor de un obstáculo. Por consiguiente, el número de luces necesarias para cumplir este requisito dependerá de la apertura del haz horizontal de cada luz así como de la forma del obstáculo. De este modo, con aperturas de haz más estrechas, se necesitarán más luces.

- a) 360° horizontal. Todas las intensidades están expresadas en candelas. Para luces de destello, la intensidad se lee como intensidad efectiva, determinada de conformidad con el *Manual de diseño de aeródromos* (Doc 9157), Parte 4.
b) Para los ángulos de elevación vertical se toma como referencia la horizontal cuando la luz está a igual nivel.
c) La apertura del haz está definida como el ángulo entre el plano horizontal y las direcciones para las cuales la intensidad excede la mencionada en la columna de "intensidad".

Nota.— En caso de una configuración específica justificada por un estudio aeronáutico puede ser necesaria una apertura de haz mayor.

- Las características de la iluminación (tipo y ubicación de la misma) varían en función de la altura del aerogenerador y de su localización respecto de las Servidumbres Aeronáuticas.

a) Tipos de iluminación

TIPO Y UBICACIÓN DE ILUMINACIÓN		
ALTURA DEL AEROGENERADOR (h)	Aerogenerador DENTRO de zonas afectadas por SERVIDUMBRES AERONÁUTICAS	Aerogenerador FUERA de zonas afectadas por SERVIDUMBRES AERONÁUTICAS
$h \leq 45\text{m}$	Balizas baja intensidad Tipo B (24h) en parte superior de góndola	Recomendación: Balizas baja intensidad Tipo B (24h) en parte superior de góndola
$45 < h \leq 80\text{m}$	Balizas Sistema Dual Media A/Media C en parte superior de góndola	Recomendación: Balizas baja intensidad Tipo B (24h) en parte superior de góndola
$80 < h \leq 100\text{m}$	Balizas Sistema Dual Media A/Media C en parte superior de góndola	Recomendación: Balizas Sistema Dual Media A/ Media C en parte superior de góndola
$100 < h \leq 150\text{m}$	Balizas Sistema Dual Media A/Media C en parte superior de góndola	
$h > 150\text{m}$	Balizas Sistema Dual Media A/Media C en parte superior de góndola. Luces intermedias: 3 luces de baja intensidad Tipo E (24h), con separación máxima entre niveles inferior a 52m y a una cota inferior a la de la pala más baja en su posición vertical	

5.2.3.1.1 Altura del aerogenerador: $h \leq 45$ m



- En los casos en los que el aerogenerador se encuentre en una zona afectada por Servidumbres Aeronáuticas, éste debe disponer de balizas de obstáculo de baja intensidad Tipo B en funcionamiento las 24 horas.
- En los casos en los que el aerogenerador se encuentre fuera de dicha zona, se recomienda disponer de balizas de obstáculo de baja intensidad Tipo B en funcionamiento las 24 horas.

5.2.3.1.2 Altura del aerogenerador: $45 \text{ m} < h \leq 80$ m



- Por defecto, en los casos en los que el aerogenerador se encuentre en una zona afectada por Servidumbres Aeronáuticas, éste debe disponer de un sistema Dual Media A / Media C.
- En los casos en los que el aerogenerador se encuentre fuera de dicha zona, se recomienda disponer de balizas de obstáculo de baja intensidad Tipo B en funcionamiento las 24 horas.

5.2.3.1.4 Altura del aerogenerador: $100 \text{ m} < h \leq 150$ m



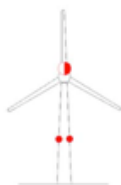
- Por defecto, en todos los casos se debe disponer de un sistema Dual Media A / Media C.

5.2.3.1.3 Altura del aerogenerador: $80 \text{ m} < h \leq 100$ m



- Por defecto, en los casos en los que el aerogenerador se encuentre en una zona afectada por Servidumbres Aeronáuticas, éste debe disponer de un sistema Dual Media A / Media C.
- En los casos en los que el aerogenerador se encuentre fuera de dicha zona, se recomienda disponer de un sistema Dual Media A / Media C.

5.2.3.1.5 Altura del aerogenerador: $h > 150$ m



la reserva.

- En todos los casos se debe disponer de un sistema Dual Media A / Media C además de un nivel intermedio de luces de baja intensidad Tipo E en torre (ver apartado siguiente), salvo que un estudio aeronáutico demuestre que estas no son apropiadas, en cuyo caso se emplearán luces de baja intensidad A o B
- La iluminación en la barquilla tendrá un sistema redundante de forma que en caso de que se funda una baliza se conecte automáticamente la reserva.

b) Ubicación de la iluminación

- La iluminación se instalará en todos los casos en la parte superior de la góndola del aerogenerador.
- Los aerogeneradores cuya altura sea igual o inferior a los 150 m no requerirán de luces adicionales intermedias en su torre.
- Aquellos que superen los 150 m de altura deben tener instaladas en la torre luces de baja intensidad Tipo E a distintos niveles.
- Los niveles de luces adicionales en torre deben disponerse de modo que nunca queden tapados por las palas del aerogenerador en su giro, por lo que la separación máxima mencionada anteriormente considera únicamente la distancia entre la superficie del terreno donde se ubica el aerogenerador y la punta de pala en su posición vertical más baja.
- El número de luces necesario por nivel dependerá del diámetro exterior del mástil de las turbinas eólicas. Los números recomendados para obtener la cobertura adecuada y asegurar la visibilidad desde todos los azimuts, son los siguientes:

Diámetro	Elementos luminosos por nivel
6 m o menos	3
6 m a 30 m	4
30 m a 60 m	6
Más de 60 m	8

Tabla 5.1 Espaciado diametral de luces de obstáculos Doc. 9157 OACI, Parte 4, Cap. 14.

c) Agrupaciones de aerogeneradores / parques eólicos

- Puede omitirse la iluminación de alguno de los aerogeneradores que conforman una agrupación según los criterios que se detallan a continuación.
- Como norma general, la distancia máxima entre aerogeneradores iluminados debe ser de 900 m.

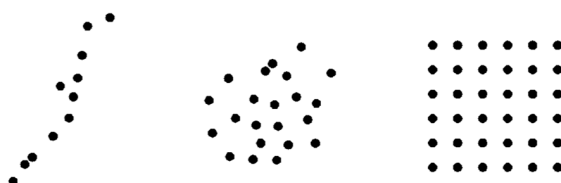


Ilustración 5.4. Tipos de agrupaciones: Lineal, racimo y matricial

- Agrupación es lineal, los aerogeneradores deben iluminarse de modo que se reconozca la alineación, así como cualquier quiebro o cambio de dirección.
- Agrupación es en racimo o matricial, es suficiente con iluminar los aerogeneradores situados en el perímetro exterior. En los casos en los que alguna de las distancias transversales entre extremos de la agrupación sea superior a los 1800 m, se deben iluminar adicionalmente turbinas aproximadamente centradas respecto del conjunto.
- La iluminación de los aerogeneradores que deban estar iluminados y que pertenezcan a un mismo parque eólico, debe estar sincronizada tanto de día como de noche.
- Dentro de un parque eólico, toda turbina sensiblemente mayor que las de su entorno deberá iluminarse independientemente de su posición relativa al resto.
- Asimismo, la iluminación de parques eólicos próximos (aquellos cuya distancia entre los aerogeneradores que marcan las extremidades más próximas entre sí de los parques sea inferior o igual a 10 km) debe estar sincronizada entre sí tanto de día como de noche.

6.2. Seguridad marítima. Criterios IALA

Señalización perimetral y de grupos de estructuras (parques eólicos marinos)

Una Estructura Periférica Significativa (SPS en inglés) es la "esquina" u otro punto significativo en la periferia del Parque Eólico Marítimo (PEM). Cada SPS individual debe estar equipado con luces visibles desde todas las direcciones en el plano horizontal, que deberán estar sincronizadas para mostrar una marca especial característica de la IALA, de **color amarillo intermitente**, con un alcance nominal o MER (Minimum Effective Range) de 5 Millas Náuticas (9,26 km), como se define en el MBS.

En la tabla siguiente se relacionan las intensidades luminosas de las balizas marítimas con el alcance nominal de las mismas para observaciones nocturnas (considerando una transmisibilidad atmosférica de $T=0,74$ y un umbral de iluminación de 0,2 microlux):

Alcance Nominal		Intensidad Luminosa (cd)	Alcance Nominal		Intensidad Luminosa (cd)	Alcance Nominal		Intensidad Luminosa (cd)
NM	Km		NM	Km		NM	Km	
1	1,85	0,9	7	12,96	270	17	31,48	32.000,00
1,5	2,78	2,4	8	14,82	480	18	33,34	49.000,00
2	3,70	5	9	16,67	820	19	35,19	73.000,00
2,5	4,63	9	10	18,52	1400	20	37,04	110.000,00
3	5,56	15	11	20,37	2200	21	38,89	160.000,00
3,5	6,48	24	12	22,22	3.600,00	22	40,74	240.000,00
4	7,41	36	13	24,08	5.700,00	23	42,60	360.000,00
4,5	8,33	53	14	25,93	8.900,00	24	44,45	520.000,00
5	9,26	77	15	27,78	14.000,00	25	46,30	770.000,00
6	11,11	150	16	29,63	21.000,00	26	48,15	1.100.000,00

Tabla de conversión de la IALA para la intensidad luminosa y el alcance nominal para las observaciones nocturnas

Las luces de los SPS deberán tener un ritmo de parpadeo sincronizado para todo el conjunto.

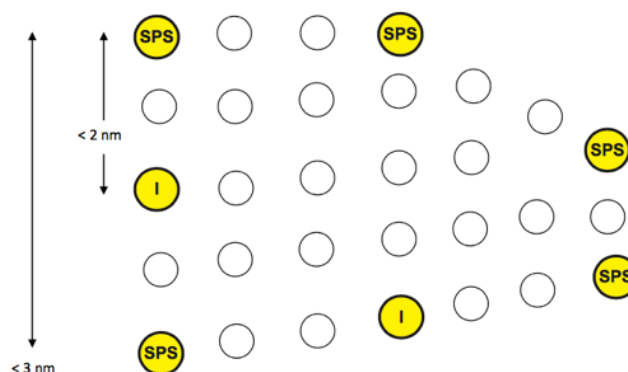
Las estructuras intermedias seleccionadas en la periferia de un PEM, distintas del SPS, deberían estar marcadas con luces amarillas intermitentes que sean visibles para el navegante desde todas las direcciones en el plano horizontal. El carácter de los destellos de estas luces debe ser claramente diferente de los que aparecen en el SPS, con un MER de 2 Millas Náuticas (3,70 km). La distancia lateral entre dichas estructuras iluminadas o el SPS más cercano no debe superar las 2 Millas Náuticas.

En función de la señalización, la iluminación y la separación lateral de las estructuras periféricas, la señalización adicional de las estructuras individuales dentro de un PEM puede considerarse como sigue:

- Iluminación de cada estructura;
- Estructuras individuales no iluminadas con zonas retro-reflectantes;
- Estructuras individuales iluminadas con luces descendentes en escaleras y plataformas de acceso;
- Uso de luces amarillas intermitentes con un MER de 2 Millas Náuticas;
- Racons;
- AIS AtoN;
- Números identificativos en cada estructura individual, iluminada o no.

Por otro lado, un transformador/subestación en alta mar o un mástil meteorológico, si se considera parte compuesta del PEM, debe incluirse como parte del marcado general del mismo. Si no se considera que está dentro del bloque del PEM, debe marcarse como una estructura offshore, es decir, Mo (U) intermitente $W \leq 15$ s.

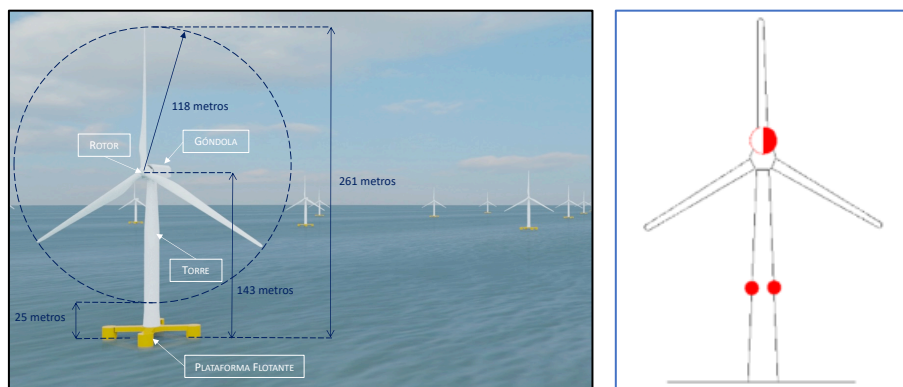
También se puede considerar la provisión de señales de niebla cuando sea apropiado, teniendo en cuenta la visibilidad predominante, la topografía y las condiciones de tráfico de los buques. El alcance típico de estas señales de niebla no debería ser inferior a dos 2 Millas Náuticas.



7. Balizamiento proyectado

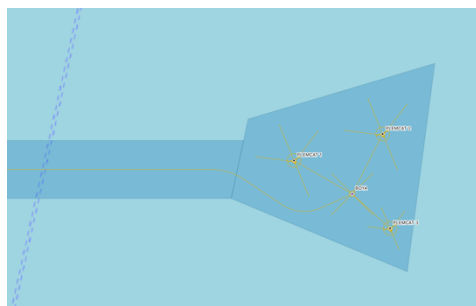
7.1. Aéreo

Según la documentación de proyecto, el balizamiento de los aerogeneradores en el caso concreto de los aerogeneradores de la **plataforma PLEMCAT**, donde la altura del aerogenerador es superior a los 150 m, se realizará con un **sistema de iluminación Dual Media A / Media C**, en la parte superior de la góndola además de un nivel intermedio de luces de baja intensidad Tipo E en la parte inferior de la torre, según la siguiente figura:



Es decir, durante la noche el balizamiento será con **fuentes de luz LED rojas fijas**, las menos nocivas para la biodiversidad nocturna, personas y con menor intensidad de propagación atmosférica (efecto Rayleigh, ver apartado siguiente).

Por otro lado, la configuración de la **plataforma PLEMCAT** consiste en una agrupación tipo lineal, siendo la separación entre máquinas de unos 1600 metros, como se detalla en la imagen siguiente:



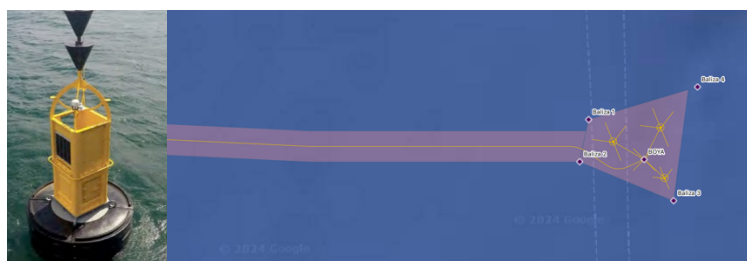
Agrupación de turbinas de la plataforma PLEMCAT

Según esta disposición del proyecto facilitada, y sobre la que se hace esta evaluación medioambiental por contaminación lumínica, en base a los criterios de seguridad aérea de AESA, se requiere iluminación en todas las turbinas (ya que están separadas más de 900m), en periodo nocturno con **balizas LED rojas fijas de media intensidad (Tipo C) e la parte superior y baja intensidad (Tipo E) a media altura.**

7.2. Marítimo

El balizamiento marítimo proyectado, incluye sistemas de balizamiento individual para cada aerogenerador (con la plataforma flotante de color amarillo) y un sistema de balizamiento perimetral con el objetivo de delimitar los contornos del área restringida a la navegación, mediante boyas equipadas con marcas de tope cardinales y especiales equipadas con un sistema de luz amarilla intermitente y sincronizadas entre sí.

En la imagen siguiente se detalla el sistema propuesto:



Balizamiento perimetral de la plataforma PLEMCAT, la boya y de los aerogeneradores

En el caso de la **plataforma PLEMCAT**, la **intensidad lumínica de las balizas debería ser de 77 cd** para garantizar una visibilidad de 5 NM (9,26 km) que establece IALA y con fuentes de luz de color amarillo. **Se recomienda que sea color ámbar-amarillo** (existen distintos dispositivos comerciales disponibles) con nula emisión en la longitud de onda corta (azul) para evitar esparcimiento de la luz en la atmósfera y la afección a la biodiversidad nocturna.

8.2. Mapa de visibilidad lumínica

Con este análisis de visibilidad lumínica de los aerogeneradores proyectados en la **plataforma PLEMCAT**, se determinan las distintas áreas en el entorno próximo donde tanto los aerogeneradores y su balizamiento luminoso aéreo como las balizas del perímetro marítimo son visibles y, por tanto, pueden generar impacto lumínico.

Se han generado dos mapas de visibilidad lumínica del balizamiento en altura previsto, uno de los sistemas de iluminación aéreos y otro con los marítimos, en el que se representan las zonas a la que llega la radiancia directa de dichos sistemas de iluminación, determinando si de cada punto se ven las balizas o no e incluso el número de balizas visibles.

Teniendo la metodología descrita anteriormente, se han generado los mapas de visibilidad lumínica resultantes que se muestran a continuación (y en el mapa 4 y 5 del anexo):

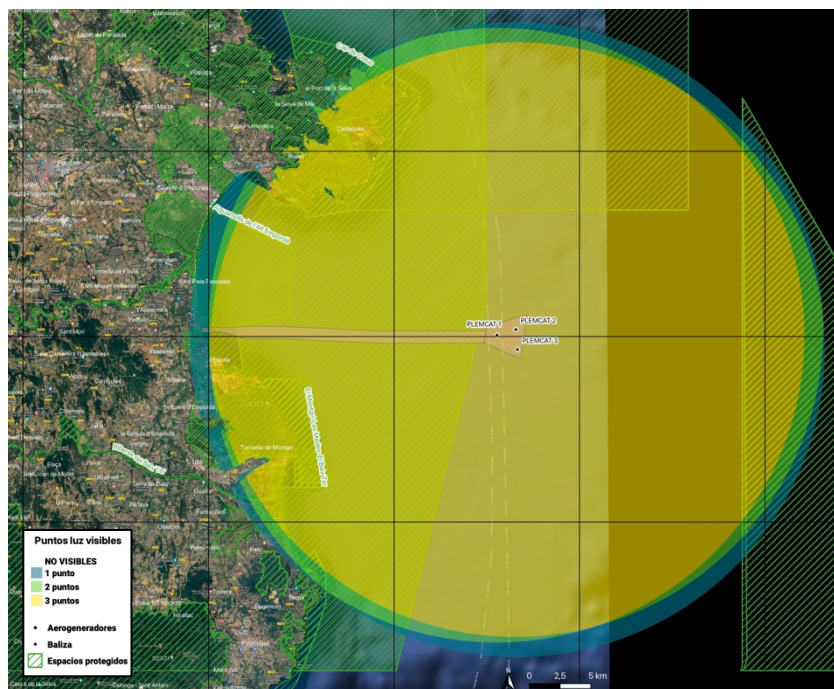


Imagen 3: Mapa visibilidad lumínica nocturna de los aerogeneradores de la plataforma PLEMCAT

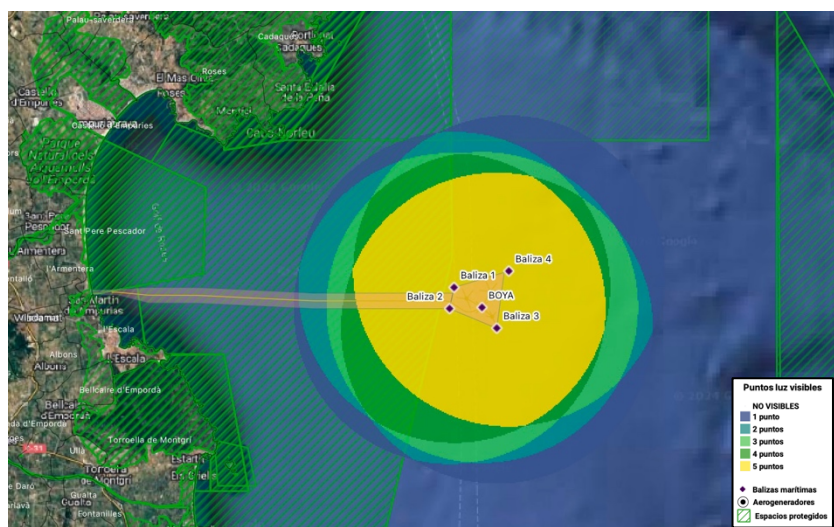


Imagen 4: Mapa visibilidad lumínica nocturna de las balizas perimetrales y boya de la plataforma PLEMCAT

En este análisis se detectan sobre el terreno en el área de influencia de los aerogeneradores y balizas perimetrales, desde qué puntos terrestres, marítimos y zonas de protección medioambiental con especies nocturnas sensibles del entorno, pueden ser deslumbradas y verse afectadas por las balizas del parque eólico.

En este caso, prácticamente la totalidad de las zonas protegidas marinas y parte de las de la costa están afectadas por las balizas de los aerogeneradores, especialmente el Cap de Creus.

La luminancia (cd/m^2) de las balizas aéreas se calcula a partir de la intensidad luminosa (cd) y superficie de emisión de cada fuente de luz. En el proyecto aún no está definido el modelo de balizamiento a instalar, por ello se ha considerado un sistema de balizamiento típico de Baliza Destellante de Media Intensidad Roja/Blanca, como por ejemplo el siguiente:



Modelo/Referencia	Baliza baja intensidad tipo L-810/ 779 54 201
Parámetros	Características técnicas
Intensidad luminosa	>20 000cd modo diurno / >2000cd modo nocturno $\pm$ 25%
Tensión alimentación	230 V ac - 50-60 Hz
Consumo	310 W en modo nocturno/ 95W en modo diurno
Lámparas	Tubos destellantes de xenón de larga vida útil
Frecuencia de los destellos	40 $\pm$ 2 FPM (día)/ 22 $\pm$ 2 FPM (noche),
Fotometría	Intensidad efectiva modo nocturno: 2 000 cd $\pm$ 25%. Intensidad efectiva modo diurno: 20 000 cd $\pm$ 25%. Dispersión del haz 3°. Cobertura horizontal 360°
Ciclo de vida típico de la lámpara blanca/roja	2 años/1,5 años
Óptica Fresnel	Lentes 320 mm
Material de la base	Aluminio /Recubrimiento con pintura azul
Temperatura de funcionamiento	-55C +55 C
Dimensiones baliza (H x D)	712 x 445 mm
Peso	16,36 kg
Clasificación OACI	Media intensidad tipo A (Blanca) y Tipo B (Roja)

Imagen 5: Baliza dual roja/blanca y características técnicas

La intensidad media mínima para balizamiento tipo Media C en modo nocturno es de 2.000 cd a 0° de elevación vertical (disminuyendo a 750 cd a -1°) según los criterios de AESA, por lo que el análisis se realiza con una baliza con esta intensidad para la situación de mayor propagación que es en la propia vertical de la baliza a 143 m de la base:

Tabla 6-3. Distribución de la luz para luces de obstáculos de mediana y alta intensidad de acuerdo con las intensidades de referencia de la Tabla 6-1

Intensidad de referencia	Requisitos mínimos					Recomendaciones				
	Ángulo de elevación vertical b)			Apertura del haz vertical		Ángulo de elevación vertical b)			Apertura del haz vertical	
	0°		-1°	c)		0°	-1°	-10°	c)	
	Intensidad media mínima a)	Intensidad media mínima a)	Intensidad media mínima a)	Apertura mínima del haz	Intensidad a)	Intensidad máxima a)	Intensidad máxima a)	Intensidad máxima a)	Apertura máxima del haz	Intensidad a)
200 000	200 000	150 000	75 000	3°	75 000	250 000	112 500	7 500	7°	75 000
100 000	100 000	75 000	37 500	3°	37 500	125 000	56 250	3 750	7°	37 500
20 000	20 000	15 000	7 500	3°	7 500	25 000	11 250	750	N/A	N/A
2 000	2 000	1 500	750	3°	750	2 500	1 125	75	N/A	N/A

Nota.— Esta tabla no incluye aperturas del haz horizontal recomendadas. 6.2.1.3 requiere una cobertura de 360° alrededor de un obstáculo. Por consiguiente, el número de luces necesarias para cumplir este requisito dependerá de la apertura del haz horizontal de cada luz así como de la forma del obstáculo. De este modo, con aperturas de haz más estrechas, se necesitarán más luces.

- a) 360° horizontal. Todas las intensidades están expresadas en candelas. Para luces de destello, la intensidad se lee como intensidad efectiva, determinada de conformidad con el Manual de diseño de aeródromos (Doc 9157), Parte 4.
b) Para los ángulos de elevación vertical se toma como referencia la horizontal cuando la luz está a igual nivel.
c) La apertura del haz está definida como el ángulo entre el plano horizontal y las direcciones para las cuales la intensidad excede la mencionada en la columna de "intensidad".

Nota.— En caso de una configuración específica justificada por un estudio aeronáutico puede ser necesaria una apertura de haz mayor.

En el caso del balizamiento perimetral por seguridad marítima, se ha considerado un sistema de balizamiento típico como el siguiente:



Imagen 6: Baliza amarilla/ámbar y características técnicas

La **intensidad** para este tipo de balizamiento de zona perimetral debería ser de **77 cd** para garantizar una visibilidad de 5 NM (9,26 km) que establece IALA y con fuentes de luz de color amarillo, por lo que el análisis se realiza con una baliza con esta intensidad para la situación de mayor propagación que es en la propia vertical de la baliza a 1,5m m de la base:

Alcance Nominal		Intensidad Luminosa (cd)	Alcance Nominal		Intensidad Luminosa (cd)	Alcance Nominal		Intensidad Luminosa (cd)
NM	Km		NM	Km		NM	Km	
1	1,85	0,9	7	12,96	270	17	31,48	32.000,00
1,5	2,78	2,4	8	14,82	480	18	33,34	49.000,00
2	3,70	5	9	16,67	820	19	35,19	73.000,00
2,5	4,63	9	10	18,52	1400	20	37,04	110.000,00
3	5,56	15	11	20,37	2200	21	38,89	160.000,00
3,5	6,48	24	12	22,22	3.600,00	22	40,74	240.000,00
4	7,41	36	13	24,08	5.700,00	23	42,60	360.000,00
4,5	8,33	53	14	25,93	8.900,00	24	44,45	520.000,00
5	9,26	77	15	27,78	14.000,00	25	46,30	770.000,00
6	11,11	150	16	29,63	21.000,00	26	48,15	1.100.000,00

Tabla de conversión de la IALA para la intensidad luminosa y el alcance nominal para las observaciones nocturnas

A partir de estos datos y considerando una superficie cilíndrica de emisión luminosa lateral en base a las características del modelo tipo utilizado, la luminancia emitida por cada baliza es aproximadamente de:

Aerogeneradores:

$L = 4.018 \text{ cd/m}^2$ (ángulo 0° sobre la vertical)

$L = 1.507 \text{ cd/m}^2$ (ángulo -1° sobre la vertical)

Baliza perimetral marítima:

$L = 154,02 \text{ cd/m}^2$ (ángulo 0° sobre la vertical)

$L = 58 \text{ cd/m}^2$ (ángulo -1° sobre la vertical)

Para poder comparar estos valores con ejemplo reales, se presentan referencias de luminancia características en medio natural nocturno y para afección de las personas, como, por ejemplo:

- Luminancia del cielo nocturno, despejado y sin Luna ~ 0.2 mili-candelas/ m^2 .
- Luminancia de la Luna $\sim 2500 \text{ cd/m}^2$.
- Luminancia de una pantalla de PC $\sim 100 \text{ cd/m}^2$.

Es decir, que cada una de las balizas aéreas que generan mayor impacto, emite 1,5 veces el brillo de la Luna (a 0° de la vertical) y un 60% (a -1° de la vertical), lo que es un valor elevado en términos biológicos.

En base a la curva fotométrica de la baliza (calculada en un laboratorio, de forma similar a las curvas fotometrías de las luminarias de alumbrado exterior) sería posible calcular la emisión en los distintos grados. Pero, el tipo de balizamiento aún no está definido, y se toman los criterios mínimos exigidos por AESA e IALA, para cumplir con las especificaciones de seguridad aérea y marítima y generar el menor impacto ambiental posible por contaminación lumínica.

Sin embargo, el **grado de dispersión de la luz roja y ámbar en la atmósfera es menor** que la luz blanca debido al esparcimiento Rayleigh, cuya intensidad es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda: $\sigma_R \propto \lambda^{-4}$. Es el mismo fenómeno que explica el color azul del cielo en las horas centrales del día.

Según esta ley física, se puede comprobar que este fenómeno de esparcimiento en la atmósfera es más intenso en las longitudes de onda cortas (azul y violeta del visible y ultravioleta-UV típicas de la luz destellante blanca) que en las de onda más larga (roja, ámbar). En concreto, las longitudes de onda del azul sufren este efecto con cuatro veces más de intensidad que la parte roja del espectro, y la UV trece veces más.

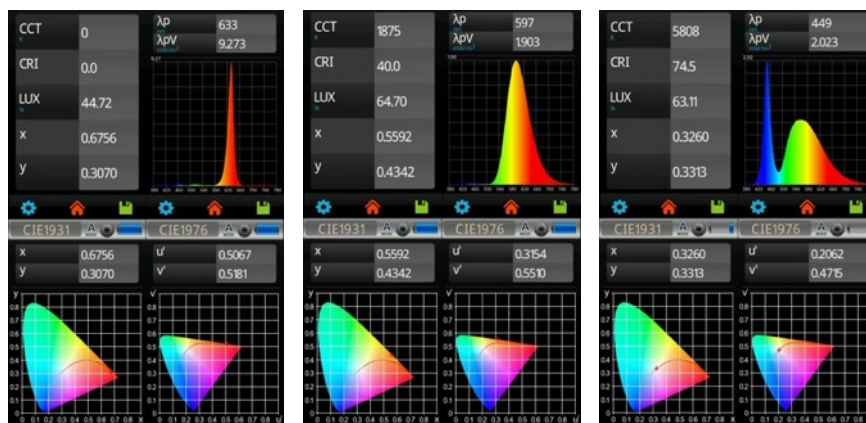


Imagen 7: Radiancia espectral de un LED de color rojo (izda.), ámbar (centro) y blanco (dcha.).
Fuente: LUMÍNICA ABIENTAL

Por tanto, **la luz roja que se va a instalar en el balizamiento de los aerogeneradores en horario nocturno y la luz ámbar en el perímetro marino, tiene mucho menor impacto que la blanca** sobre los ecosistemas y los seres vivos y genera menor deslumbramiento, debido a su casi nula radiancia espectral por debajo de los 500nm, luz azul (*Eisenbeis et al. 2006, van Langevelde et al. 2011, Barghini y de Medeiros 2012, De Jong, M et al. 2017, Rebke, M et al. 2019, Carrie Ann Adams et al. 2019*).

Aún así, el número de fuentes de luz visibles que pueden actuar como distracción, es casi constante en todas las zonas afectadas debido a que es superficie marina y se extiende a muchos km, puesto que la luminancia (cd/m^2) sólo se reduce por atenuación atmosférica no por el hecho de propagarse, como sucede con la iluminancia (lux) que se analiza en el siguiente apartado.

Por tanto, se recomienda analizar la posibilidad de reducir el número de aerogeneradores y de balizas perimetrales a iluminar e incluso reducir la intensidad del balizamiento en función de la visibilidad meteorológica, en base a los criterios de AESA e IALA.

8.3. Mapa de propagación lumínica

A partir del mapa de visibilidad y de la intensidad lumínica (cd) utilizada para caracterizar la baliza de los aerogeneradores (Dual Media A / Media C, blanca/roja) y la perimetral (ámbar) de la zona marina, se ha obtenido un mapa de propagación lumínica por cada tipo de balizamiento.

El resultado muestra la propagación de la luz en términos de **iluminancia vertical E_v (lux)** a la **altura de la baliza**, es decir, la iluminancia en un plano perpendicular a la dirección de propagación horizontal desde la fuente de luz y a la altura de éste:

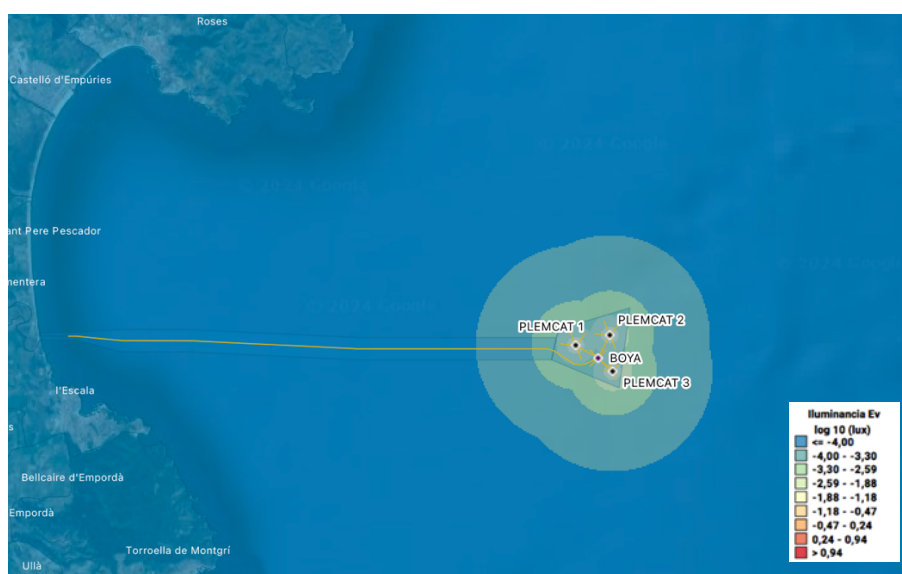


Imagen 8: Mapa propagación lumínica del balizamiento de aerogeneradores de la plataforma PLEMCAT

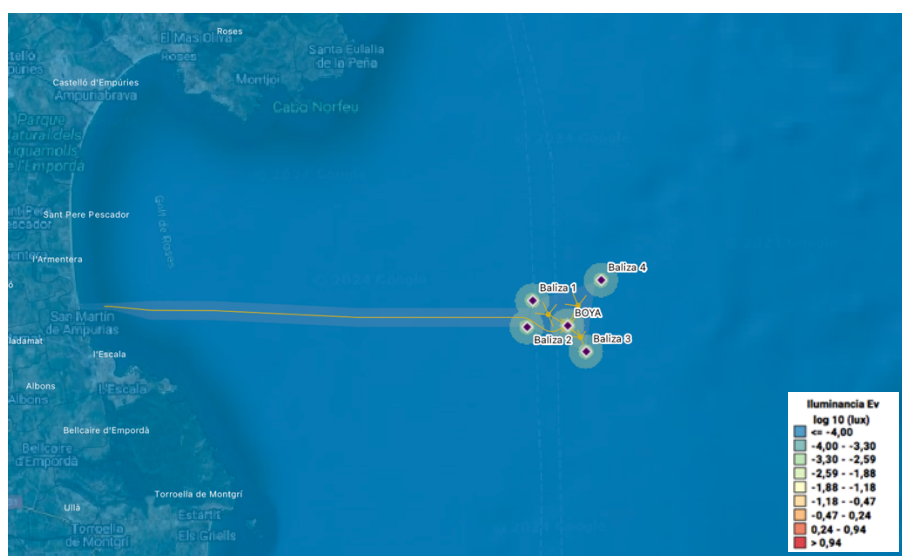


Imagen 9: Mapa propagación lumínica del balizamiento perimetral marítimo de la plataforma PLEMCAT

Aerogeneradores

Aplicando la ley de propagación de la luz en función de la distancia a partir de una fuente luminosa de 2000 cd, como es el caso del balizamiento bajo estudio, a unos 45 m el valor de esta iluminancia es de $E = 1$ lux en el plano perpendicular a la emisión de la luz.

Justo en la base del fuste del aerogenerador el valor de la iluminancia horizontal en el suelo será de 0,10 lx y a 143 m de 0,03 lux, suponiendo una fuente de luz puntual que emite la misma intensidad en todos sus ángulos. Si bien, para obtener el valor real es necesario conocer la curva fotométrica de la baliza con la distribución de intensidad en los distintos ángulos. Considerando por ejemplo la intensidad máxima de 750 cd (a -1° sobre el plano vertical según criterios de AESA), los valores serían 0,04 lux y 0,01 lux respectivamente.

En términos biológicos, 1 lux es un valor muy elevado de iluminación para gran variedad de especies nocturnas (*Azam et al.2018*). Las especies que tienen doble sistema de bastones pueden ver colores en un terreno sólo iluminado por la luz de las estrellas (un mililux o inferior). Por ejemplo, el comportamiento de los murciélagos sensibles a la luz puede verse afectado en un radio de hasta 50 m de distancia a la fuente de luz, incluso si el nivel de iluminancia es muy bajo como 1 lux. Y las diferencias a niveles muy bajos de iluminancia nocturnas (0.01 ó 0.001 lux) son muy importantes en términos biológicos, aunque no tanto para las personas. Por ello, se ha representado el mapa en escala logarítmica (habitual en este tipo de análisis).

Para contextualizar el resultado, el valor natural de referencia para la iluminancia horizontal de un cielo natural (noche despejada sin Luna) ~ 0.0005 lx sin airglow ($\log_{10} = -3,30$) y 0.001 lx con airglow ($\log_{10} = -3,00$), que es una superficie alrededor de 2km del parque eólico y que además se superpone en la parte oeste con espacios marinos REDNATURA2000, como se muestra en la imagen siguiente:



Imagen 10: Mapa propagación lumínica aerogeneradores sobre espacios protegidos

El valor de iluminancia horizontal en el suelo equiparable al valor de cielo natural (noche despejada sin Luna y con airglow) se produciría a unos 640m desde la base del fuste del aerogenerador, considerando una fuente puntual emitiendo 2000 cd en todas las direcciones.

Por otro lado, y en términos relacionados con la calidad del cielo nocturno desde el punto de vista astronómico, la zona del mapa de propagación con valores de $\log_{10}=-4$ (aproximadamente a unos 4,5km del PEM) presenta una cantidad de luz artificial cercana al 10% de la iluminación natural generada por el parque eólico, que es el valor límite de la Unión Astronómica Internacional (UAI) para sitios 'contaminados'.

Como se ha comentado anteriormente, la luz roja que se va a instalar en el balizamiento de los aerogeneradores en horarios nocturno, tiene un notable menor impacto que la blanca sobre los ecosistemas y los seres vivos y genera menor deslumbramiento. Aún así, existe una amplia zona donde son visibles los aerogeneradores, por lo que se recomienda reducir el número de ellos que estén iluminados, e incluso reducir la intensidad del balizamiento en función de la visibilidad meteorológica, en base a los criterios de AESA.

Balizas marítimas

La superficie de impacto de las balizas perimetrales marítimas con luz ámbar, es más reducido puesto que la intensidad de cada una de ellas es de 77 cd.

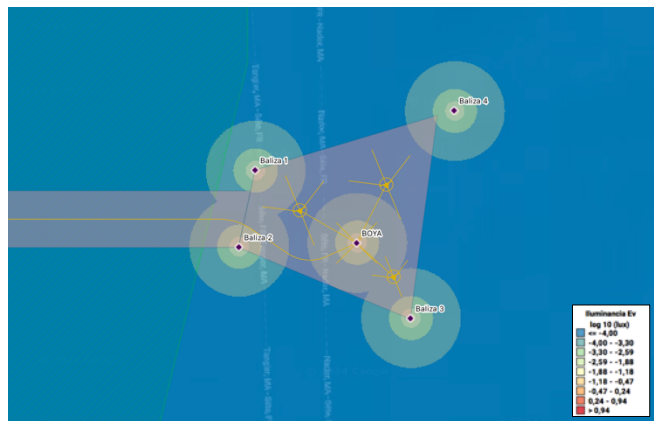


Imagen 11: Mapa propagación lumínica balizamiento marítimo sobre espacios protegidos

Por ejemplo, a unos 9 m el valor de la iluminancia es de $E = 1$ lux en el plano perpendicular a la emisión de la luz. Y el valor de iluminancia horizontal en la superficie marina equiparable al valor de cielo natural (noche despejada sin Luna y con airglow) se produciría a unos 49m desde la base del sistema de balizamiento, considerando una fuente puntual emitiendo 77cd en todas las direcciones.

Justo en la base de este sistema de balizamiento marítimo, el valor de la iluminancia horizontal en la superficie del mar será de 34,22 lx y a 1,5 m de 17,10 lux (suponiendo una fuente de luz puntual que emite la misma intensidad en todos sus ángulos) lo que es desproporcionado para las condiciones naturales nocturnas en los ecosistemas nocturnos.

Si bien debemos tener en cuenta que según IALA, las balizas de seguridad marítima deben emitir en la dirección horizontal, por lo que la emisión directa hacia el mar debería ser mínima y, por tanto, los valores de iluminancia sobre la superficie marina en la base del sistema de balizamiento son mínimos también. Aún así, se recomienda instalar algún sistema de apantallamiento en las balizas para que no emitan luz directa hacia el mar y evitar el impacto lumínico hacia el ecosistema marino. También intentar reducir al mínimo las balizas marítimas con sistemas de iluminación nocturna y la intensidad de las mismas.

8.4. Mapa de contaminación lumínica

Se ha utilizado el mapa de contaminación lumínica generado y publicado por la Generalitat de Catalunya, con datos actualizados en buena parte del territorio potencialmente afectado por el parque eólico, tal y como se muestra en la imagen siguiente:



Imagen 12: Mapa brillo fondo del cielo en Cataluña. Fuente: Generalitat Catalunya

Los estándares principalmente utilizados para valorar la oscuridad o brillo del fondo del cielo de un territorio se muestran en la siguiente tabla donde se detallan las distintas calidades del cielo con sus respectivos valores:

mag/arcsec ²	Cielo (estado)
< 19.5	Fuertemente luminoso
20.0	Muy luminoso
20.5	Luminoso
21.0	Poco luminoso
21.5	Medianamente oscuro
> 21.5	Muy oscuro

Imagen 13. Valores del brillo del fondo del cielo y su estado

Ref. Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia. Cinzano P., Falchi F., Elvidge C.

En un cielo no contaminado el valor de este parámetro debe ser superior a 21,5 mag/arcsec², de hecho, la certificación de un territorio como Reserva Starlight implica disponer de valores de brillo del fondo del cielo superiores a 21,4 mag/arcsec² y como Destino Turístico Starlight por encima de 21,0 mag/arcsec².

Sin bien, a día de hoy no está contemplado en la normativa la limitación de este parámetro, sí debe considerarse este rango de valores para la evaluación y caracterización de la calidad del cielo nocturno, y por supuesto, disponer de mediciones in situ de la contaminación lumínica de forma previa y posterior a las obras de renovación de una instalación de alumbrado exterior, o la puesta en marcha y explotación de una infraestructura de cualquier tipo, para poder valorar el grado de impacto medioambiental.

Según los datos del mapa de Cataluña utilizados, los valores de este parámetro en la zona costera donde son visibles los balizamientos luminosos de los aerogeneradores, presentan valores entre por debajo de 21 mag/arcsec², es decir, un cielo luminoso. También existen zonas dentro de la RED NATURA2000 Cap de Creus y el espacio protegido El Montgrí-Les Medes-El Baix Ter con valores entre 21 y 21,4 mag/arcsec² (cielo poco y medianamente oscuro).

Los balizamientos luminosos no van a incrementar ese valor del brillo del cielo en el cenit en la zona de costa cercana al parque eólico (aunque sean visibles en ciertas zonas de la costa) que en la actualidad ya está afectada por el alumbrado exterior urbano y de otras infraestructuras industriales en tierra.

Debido también a la propia forma de emisión de la luz desde las balizas (principalmente en la horizontal y hacia el hemisferio inferior pero sólo en los primeros grados de dispersión hacia el suelo) y que es luz roja (se propaga menos en la atmósfera como se ha comentado), se estima que no tiene impacto en el brillo del fondo del cielo en el cenit.

9. Conclusiones

Tras el estudio de impacto ambiental generado por la iluminación de los balizamientos aéreos y marítimos de la **Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT)**, el impacto por contaminación lumínica en términos de brillo del fondo del cielo en el cenit es despreciable en la zona costera y en los espacios naturales protegidos afectados potencialmente por el mismo. Según las características lumínicas utilizadas para hacer los análisis, cada una de las balizas aéreas que generan mayor impacto, emite 1,5 veces el brillo de la Luna (a 0º de la vertical) y un 60% del mismo (a -1º de la vertical), lo que es un valor elevado en términos biológicos.

Y a nivel de visibilidad lumínica del balizamiento nocturno el parque eólico, las balizas se detectan prácticamente en la totalidad de las zonas protegidas marinas y en parte de las costeras, especialmente el Cap de Creus, pudiendo producir principalmente deslumbramiento y distracción en las especies nocturnas sensibles en las zonas de protección medioambiental.

En cuanto a la cantidad de luz que se propaga en términos de iluminancia vertical (con la que se valora la luz intrusa y molesta en fachada de viviendas), a unos 45 m el valor de esta iluminancia es de $E = 1$ lux en el plano perpendicular a la emisión de la luz. En términos biológicos, 1 lux es un valor muy elevado de iluminación para gran variedad de especies nocturnas. Y las diferencias a niveles muy bajos de iluminancia nocturnas (0.01 ó 0.001 lux) son muy importantes en términos biológicos, aunque no tanto para las personas.

A unos 640m desde la base del fuste del aerogenerador más occidental se producen valores de iluminancia superiores al valor de cielo natural (noche despejada sin Luna y con airglow), y que impacta ligeramente con espacios marinos REDNATURA2000.

Sin embargo, ya desde el proyecto el balizamiento nocturno será con fuentes de luz LED rojas fijas, las menos nocivas para la biodiversidad nocturna, personas y con menor intensidad de propagación atmosférica.

Por eso, el impacto medioambiental lumínico producido por la **Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT)**, se define como compatible, dado que se incluyen desde el inicio las medidas correctoras necesarias, respetando las exigencias de seguridad aérea y marítima, como es el balizamiento lumínico con fuentes de luz LED rojas fijas y se analizará la aplicación en las siguientes fases del proyecto, de las recomendaciones que se detallan a continuación.

10. Recomendaciones

Teniendo en cuenta la legislación aplicable para este proyecto en materia de contaminación lumínica (RD190/2015 de Cataluña), la **Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT)**, queda fuera del mapa de zonificación lumínica de Cataluña, pero es adyacente a zonas de máxima protección medioambiental marinas e incluso terrestres. Esto implica que el alumbrado de señalización nocturna de los aerogeneradores ha de ser con luz roja fija (luz de media intensidad, tipo C), siempre y cuando ello no contravenga la normativa de seguridad aérea. Y las balizas perimetrales de seguridad marítima no sean de luz blanca.

En concreto, el **balizamiento de los aerogeneradores propuesto en proyecto de la Plataforma PLEMCAT**, se ejecutará con luz de color roja (iluminación Dual Media A / Media C), y el **perimetral marítimo con luz ámbar**, por lo que se cumplen las obligaciones legislativas autonómicas en materia de contaminación lumínica, además de cumplir las especificaciones de AESA e IALA respectivamente

Si bien, dado que tanto el análisis de visibilidad como el de propagación lumínica derivado del balizamiento de los aerogeneradores y el perímetro marítimo, indica una cierta perturbación de las condiciones de oscuridad de la noche en el entorno y su biodiversidad, se debe analizar siguiendo los criterios AESA e IALA la posibilidad de:

1. Reducir la intensidad de las fuentes de luz de balizamiento

Según recoge la “Guía de señalamiento e iluminación de turbinas y parques eólicos”, ciertos condicionantes medioambientales pueden establecer la recomendación de reducir la intensidad luminosa. En los casos en los que se opte o se exija la instalación de un sistema de reducción de intensidad luminosa en función de la visibilidad en el emplazamiento del parque eólico, éste deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Si la visibilidad meteorológica es superior a 5 km, la intensidad podrá reducirse a un máximo del 30 %.
- Si la visibilidad meteorológica es superior a 10 km, la intensidad podrá reducirse a un máximo del 10 %.
- El sensor de visibilidad deberá instalarse sobre la góndola del aerogenerador.

Por tanto, se recomienda analizar la viabilidad técnica de esta opción para poder reducir la

intensidad luminosa lo máximo posible para evitar la afección por contaminación lumínica y deslumbramiento en el entorno del parque eólico marítimo, a pesar de que ya son luces de color rojo y por tanto menos contaminantes que las blancas destellantes.

En el caso de las balizas marítimas, según criterios de IALA las balizas intermedias deben estar iluminadas con sistemas que garanticen su visibilidad hasta 2 NM (3,70 km), y sus destellos deben ser claramente diferentes de los que aparecen en el SPS. Lo que implica que la intensidad luminosa de las balizas intermedias debe ser de 5 cd, mientras que las de SPS sean de 77 cd.

2. Apantallamiento de las balizas del perímetro marítimo

Las fuentes luminosas a utilizar en los sistemas de balizamiento lumínico en la zona perimetral del parque eólico por seguridad marítima, deben garantizar su emisión de 360º en la dirección horizontal desde la fuente de luz, por lo que la emisión directa hacía el mar debe ser mínima. Sin embargo, se recomienda instalar un sistema de apantallamiento por debajo de las balizas para evitar su impacto lumínico directo en el mar y los ecosistemas marinos.

3. Sincronizar sistemas de balizamiento con otros parques próximos

Sincronizar la iluminación de los aerogeneradores **de la plataforma PLEMCAT** y de los parques eólicos próximos situados a una distancia de 10 km o menos (si existen o se van a desarrollar).

4. Instalar sistemas de iluminación bajo demanda

Son sistemas basados en el uso de sistemas de detección (p.e. radar primario) o notificación de la aproximación de aeronaves que permiten activar el balizamiento de seguridad aeronáutica en cualquier momento en que una aeronave se encuentre dentro de la zona de influencia de una turbina eólica.

Existen referencias de soluciones similares en algunos parques eólicos onshore de Alemania, basados en el uso de transpondedores en las aeronaves.

Se recomienda analizar la viabilidad de sistemas de este tipo, sin menoscabo de la seguridad aérea.

11. Referencias

- Para la mayoría de las necesidades ecológicas en casi todas las especies de murciélagos, ALAN (Artificial Light At Night) es un factor perturbador (*Voigt et al. 2018*).
- ALAN amenaza a muchos grupos de taxones nocturnos en peligro de extinción como murciélagos y anfibios (*Hölker et al. 2010b*), pero también amenaza el hábitat y las funciones ecológicas de los organismos no amenazados, incluidos muchas especies de insectos, flores silvestres, pequeños mamíferos y aves.
- Emisión significativa en longitudes de onda ultravioleta o azul, es muy atrayente a los insectos (*Eisenbeis 2006, Frank 2006, van Langevelde et al. 2011, Barghini y de Medeiros 2012*) y están sujetos a una mayor depredación por parte de una variedad de depredadores, incluidos murciélagos, aves, mofetas, sapos y arañas (*Blake et al. 1994, Frank 2006*).
- Algunas especies de vuelo más rápido y más maniobrables, pueden ser atraídas hacia ALAN explotando la gran abundancia de presas. Las especies más lentas y menos maniobrables evitarán ALAN, sintiendo repulsión por su presencia (*Stone et al. 2009, Stone et al. 2012, Stone et al. 2015*).
- El comportamiento de los murciélagos sensibles a la luz puede verse afectado en un radio de hasta 50 m de distancia a la fuente de luz, incluso si el nivel de iluminancia es muy bajo como 1 lx (*Azam et al. 2018, Pauwels y col. 2019*).
- Las principales rutas de migración de aves cruzan zonas contaminadas por ALAN. Muchas aves migratorias atraviesan grandes extensiones de territorio dos veces al año durante la noche en zonas con resplandor luminoso nocturno (*Cabrera-Cruz et al. 2018*). Una herramienta útil en investigación sobre la migración nocturna de aves es un radar meteorológico, que puede detectar especies de aves migratorias.
- Numerosos estudios presentan el riesgo de colisión de aves costeras con estructuras naturales o edificios debido a ALAN (*Telfer et al. 1987; Rodríguez & Rodríguez 2009; Miles y col. 2010; Rodríguez y col. 2014, 2015*) y cómo los espectros de luz cálida y las intensidades de luz reguladas pueden reducir las colisiones fatales (*Rodríguez et al. 2017; Rebke et al. 2019*).

- La iluminación continua en torres de comunicación se asocia con importantes muertes anuales de aves correlacionadas con dicha iluminación (*Longcore et al. 2012, 2013, Gehring et al. 2009*).
- Estudio experimental del efecto de luminarias (Iluminancia horizontal promedio E=20 lx) sobre la densidad de aves reproductoras implica un impacto negativo (*De Molenaar et al. 2006*).
- Early birds by light at night: effects of light color and intensity on daily activity patterns in blue tits. Journal of biological rhythms. *De Jong, M., Caro, S. P., Gienapp, P., Spoelstra, K., & Visser, M. E. (2017)*.
- Attraction of nocturnally migrating birds to artificial light: The influence of colour, intensity and blinking mode under different cloud cover conditions. *Rebke, M., Dierschke, V., Weiner, C. N., Aumüller, R., Hill, K., & Hill, R. 2019. Biological Conservation 233: 220-227.*
- Effects of artificial light on bird movement and distribution: a systematic map *Carrie Ann Adams, Esteban Fernández-Juricic, Erin Michael Bayne and Colleen Cassady St. Clair. Adams et al. Environmental Evidence (2021) 10:37.*
- Expected Effects of Offshore Wind Farms on Mediterranean Marine Life. J. Mar. Sci. Eng. 2016.
- *Boscarino, B. T., L. G. Rudstam, J. L. Eillenberger and R. Gorman (2009)*. "Importance of light, temperature, zooplankton and sh in predicting the nighttime vertical distribution of Mysis diluviana." Aquatic Biology 5(3): 263- 279.
- *Bruning, A., F. Holker, S. Franke, T. Preuer and W. Kloas (2015)*. "Spotlight on sh: Light pollution affects circadian rhythms of European perch but does not cause stress." Science of The Total Environment 511(0): 516-522.
- *M. Depledge et al. 2015; Marine Pollution Bulletin 60(9):1383-5; Longcore, T., Rich, C., 2004. Ecological light pollution; Peter A. Todd, Oikos 128: 1215-1242, 2019, Towards an urban marine ecology).*
- 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine. *Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash and Michael W. Young*, for their discoveries of molecular mechanisms controlling the circadian rhythm.
- Direcció General de Qualitat Ambiental (2014): Identificació del nombre d'aerogeneradors que podrien deixar d'estar senyalitzats lumínicament o canviar el tipus de balisa nocturna aplicant els criteris de l'AESA.

Anexo. Mapas

Mapa 1. Localización

Mapa 2. Zonificación lumínica (Decret 190/2015)

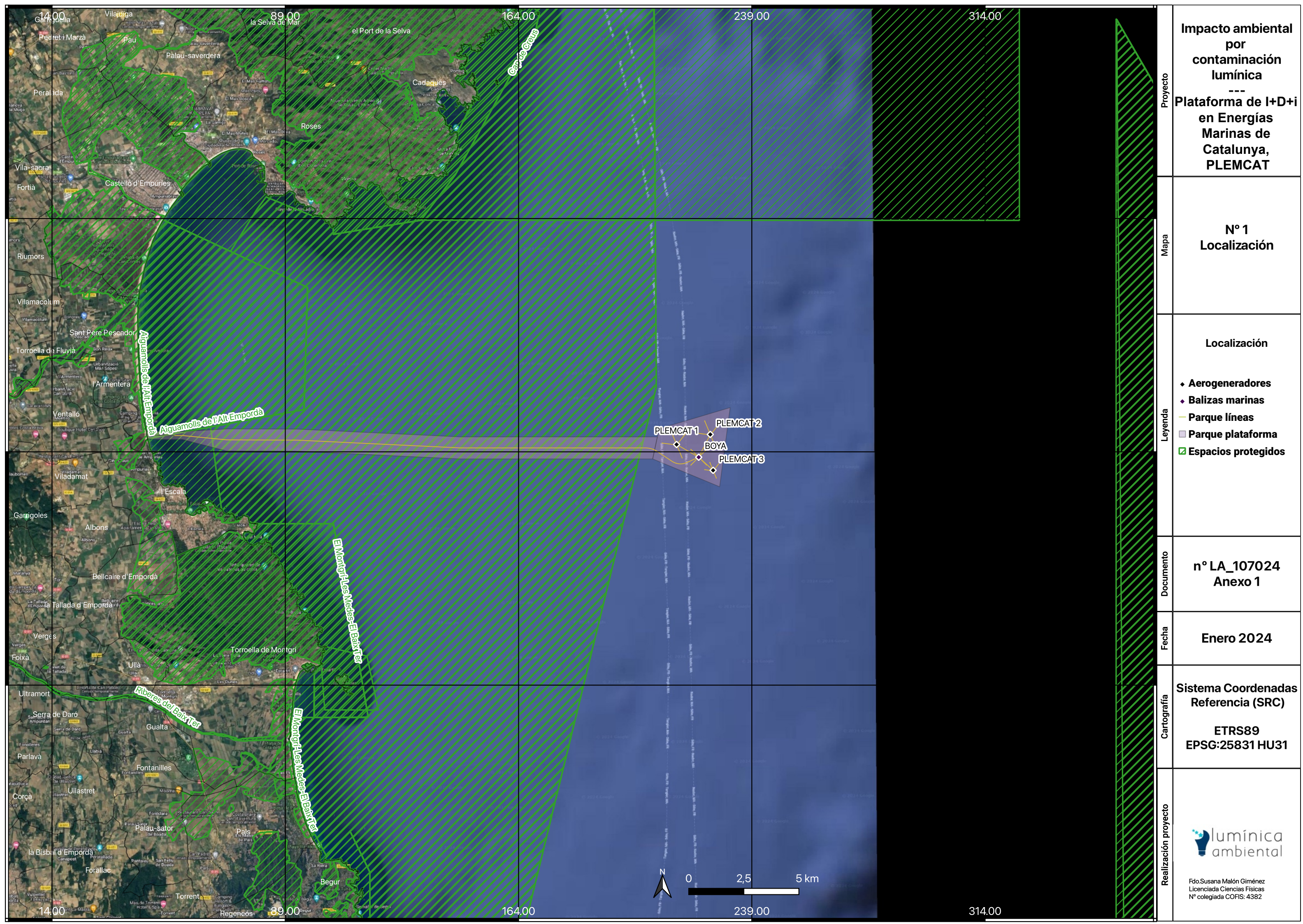
Mapa 3. Brillo fondo del cielo en Cataluña

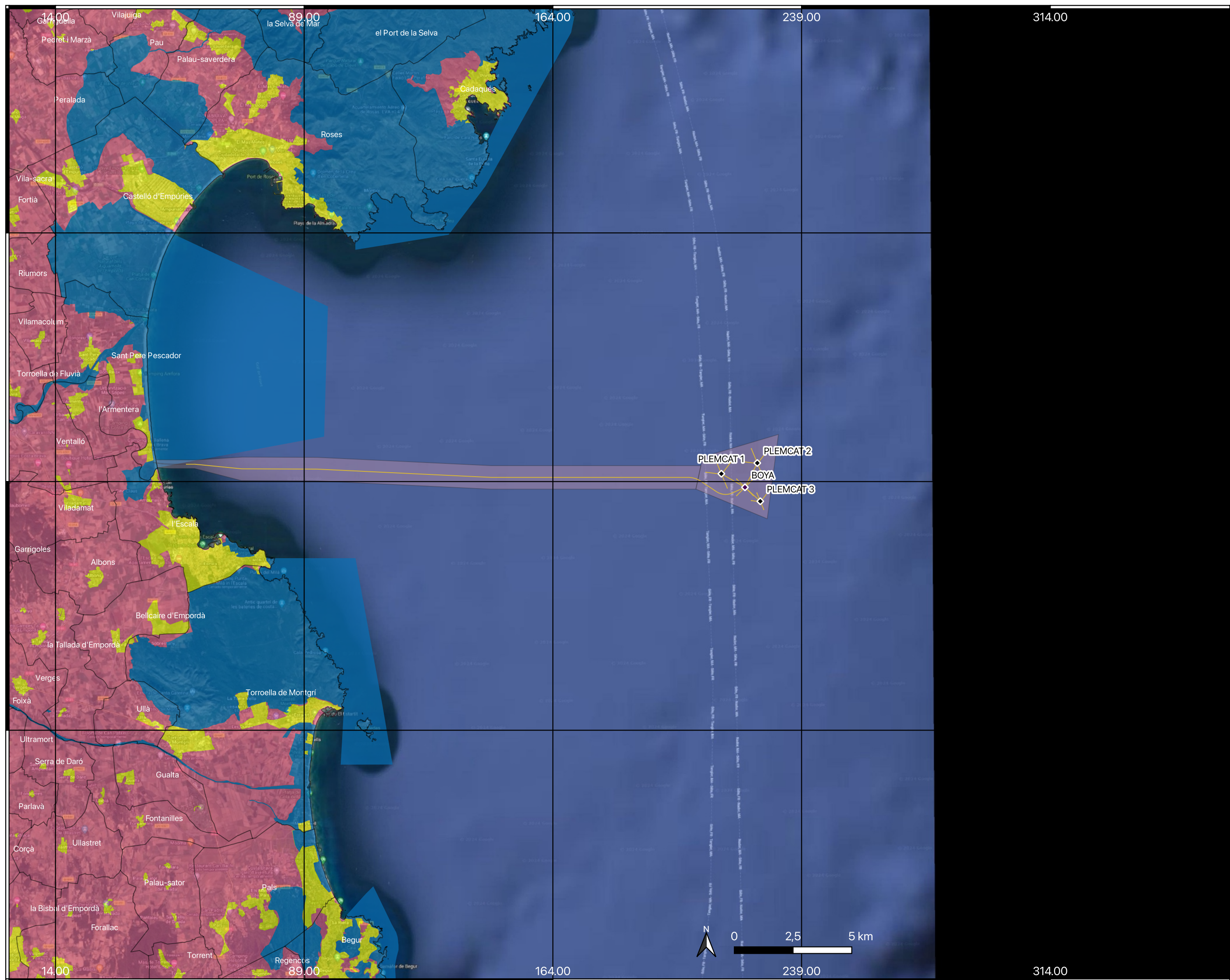
Mapa 4. Visibilidad lumínica aerogeneradores

Mapa 5. Visibilidad lumínica balizas marítimas

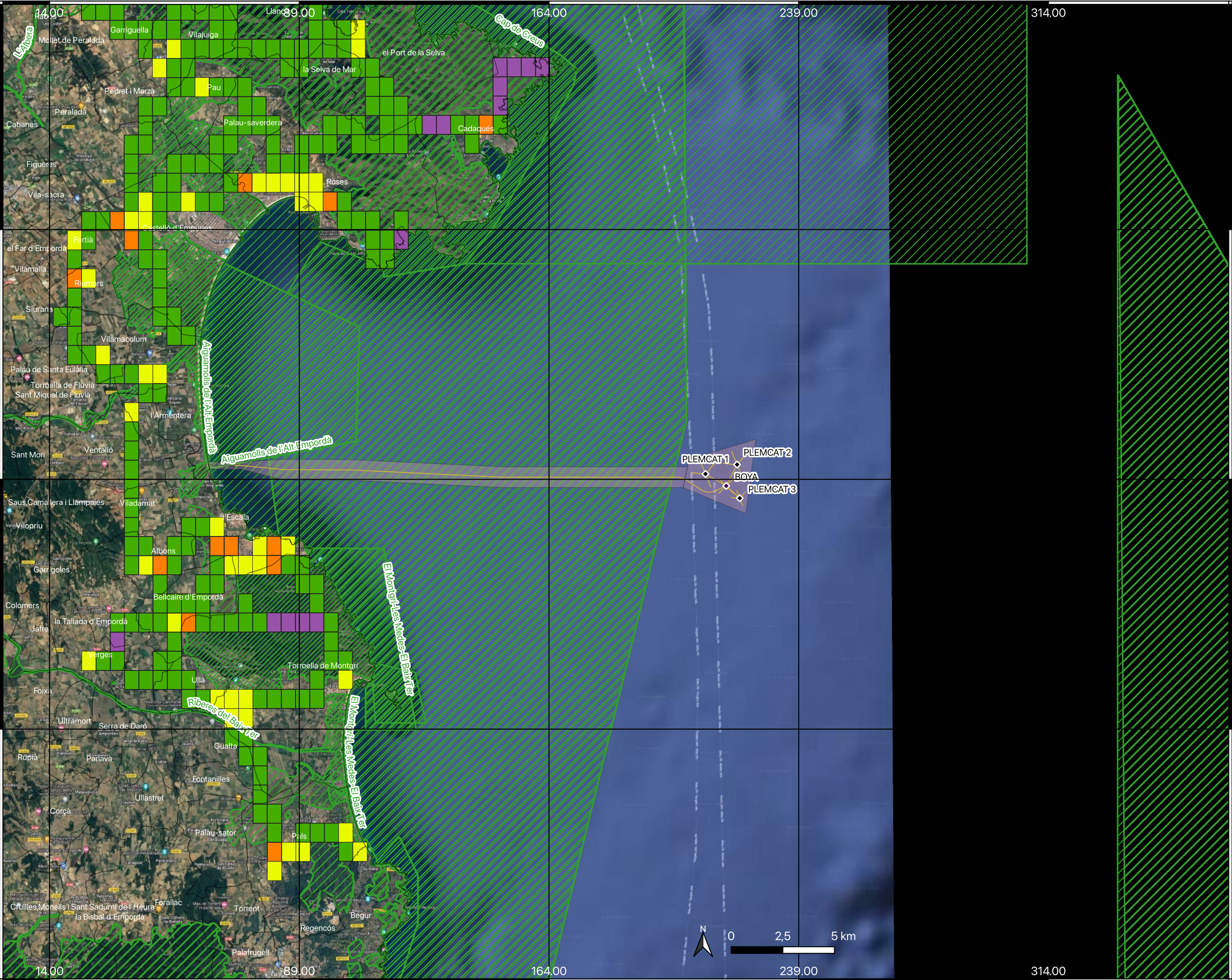
Mapa 6. Propagación lumínica aerogeneradores

Mapa 7. Propagación lumínica balizas marítimas

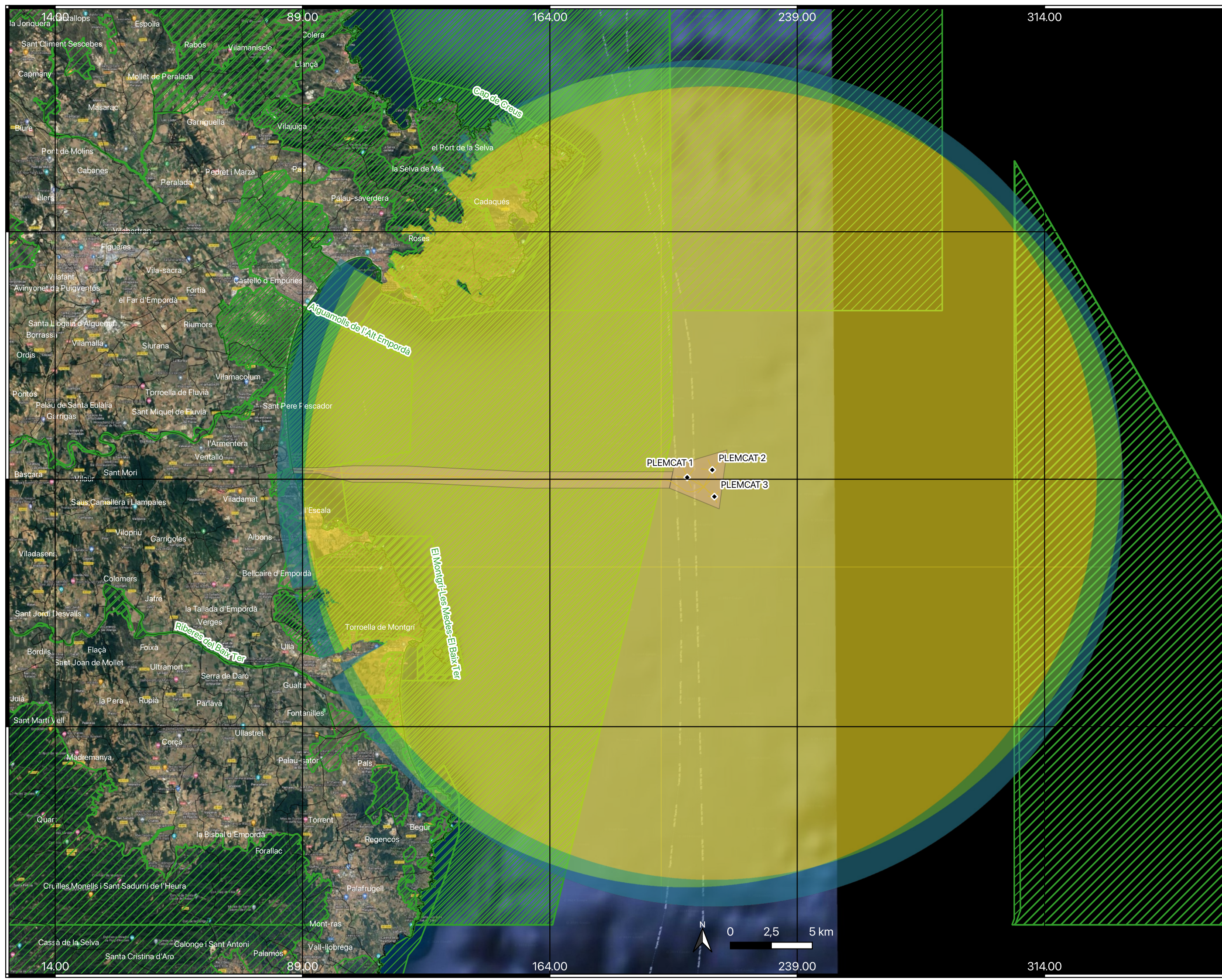




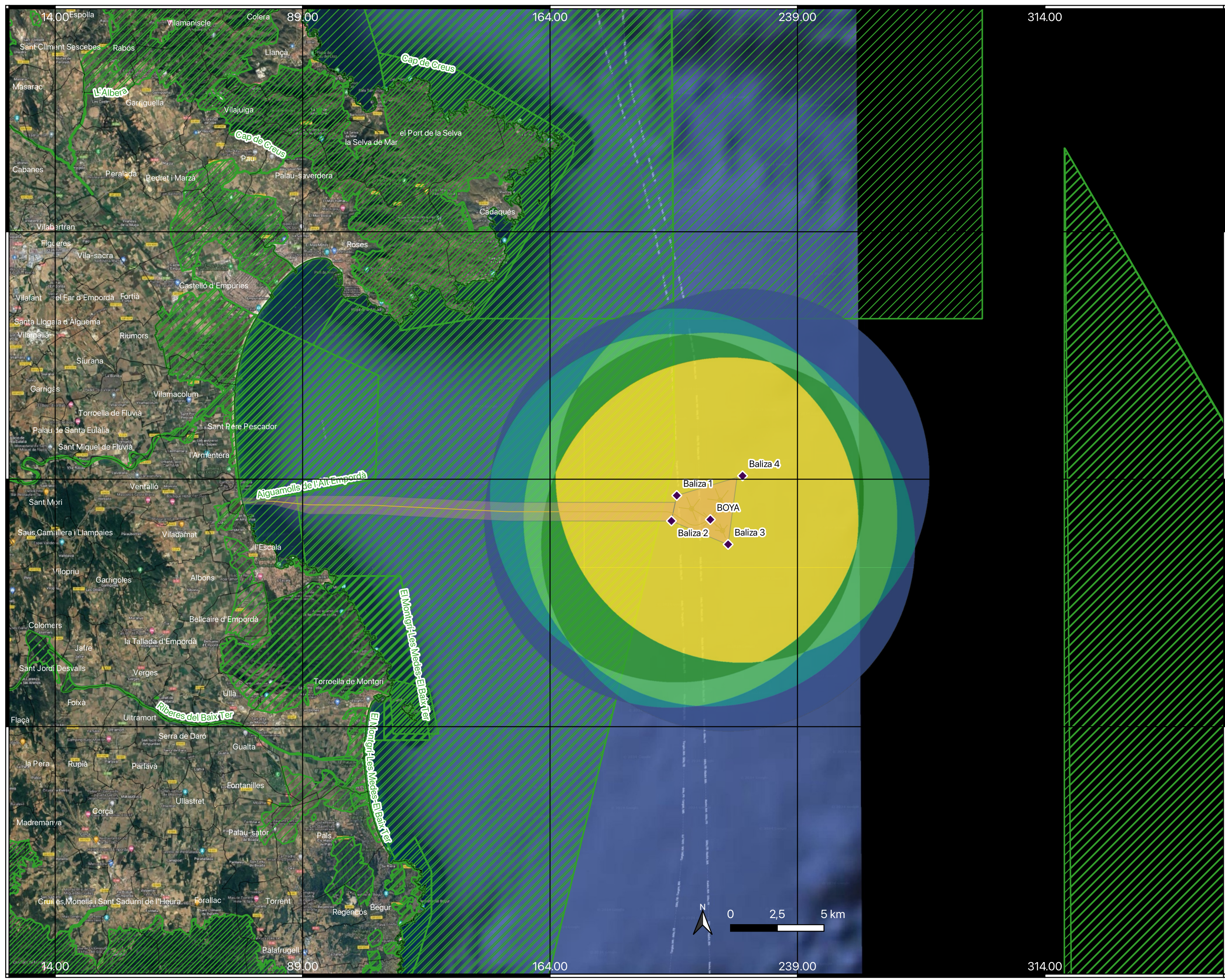
Proyecto	Impacto ambiental por contaminación lumínica --- Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya, PLEMCAT
Mapa	Nº 2 Zonificación Sensibilidad contaminación lumínica (Decreto 190/2015 Cataluña)
Leyenda	Zonificación Grados protección contaminación lumínica Zonas E E1. Prot. máxima E2. Prot. alta E3. Prot. moderada Zona E4 ◆ Aerogeneradores ◆ Balizas marinas
Documento	nº LA_107024 Anexo 1
Fecha	Enero 2024
Cartografía	Sistema Coordenadas Referencia (SRC) ETRS89 EPSG:25831 HU31
Realización proyecto	 Fdo.Susana Malón Giménez Licenciada Ciencias Físicas Nº colegiada COFIS: 4382



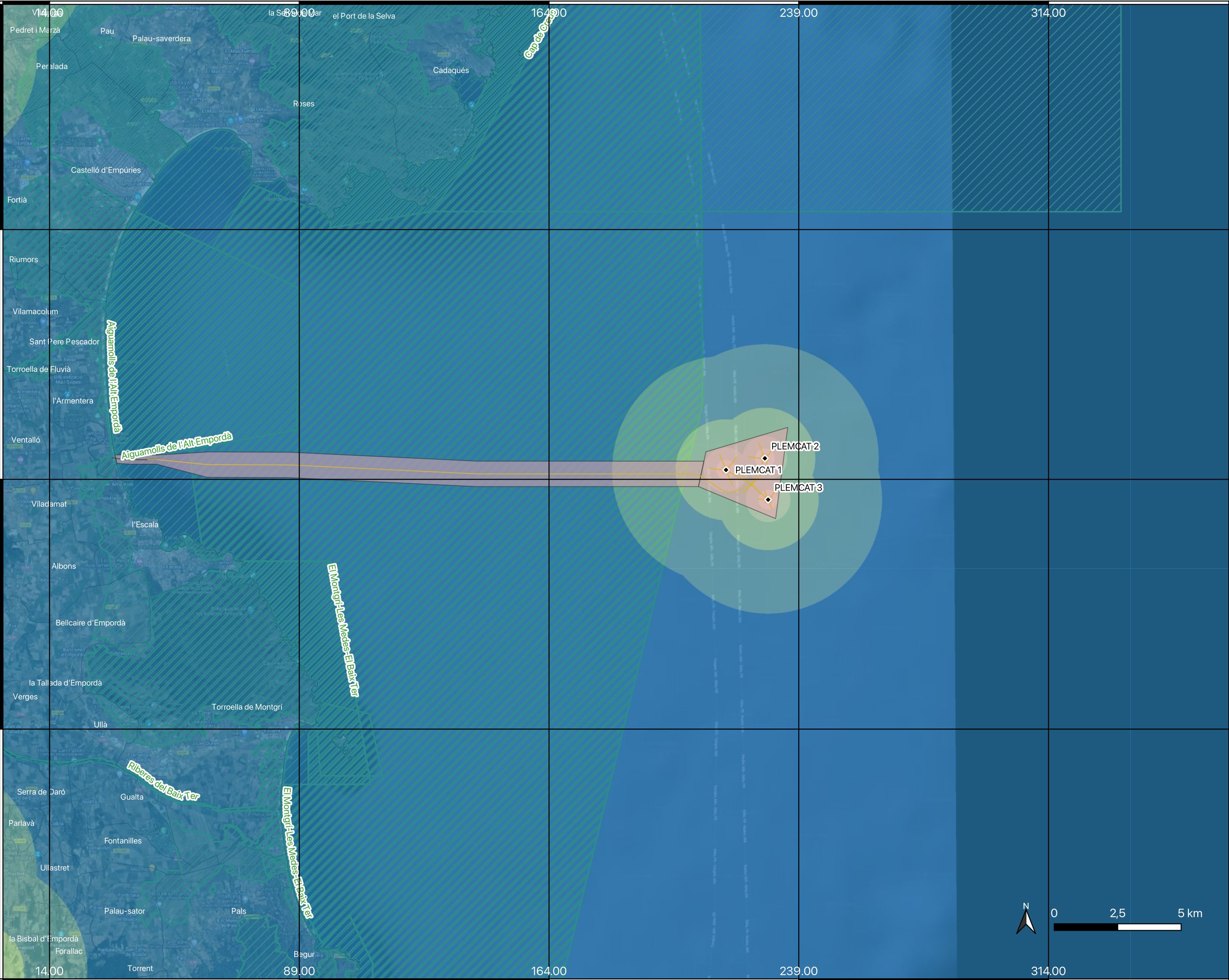
Proyecto	Impacto ambiental por contaminación lumínica --- Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya, PLEMCAT
Mapa	Nº 3 Mapa Brillo del fondo del cielo ---- Cataluña
Leyenda	Brillo fondo del cielo mag/arcsec2 0 - 19.0 19.0-20.0 20.0-21.0 21.0-21.4 21.4-22.2 Parque eólico Espacios protegidos
Documento	nº LA_107024 Anexo 1
Fecha	Enero 2024
Cartografía	Sistema Coordenadas Referencia (SRC) ETRS89 EPSG:25831 HU31
Realización proyecto	 Fdo.Susana Malón Giménez Licenciada Ciencias Físicas Nº colegiada COFIS: 4382



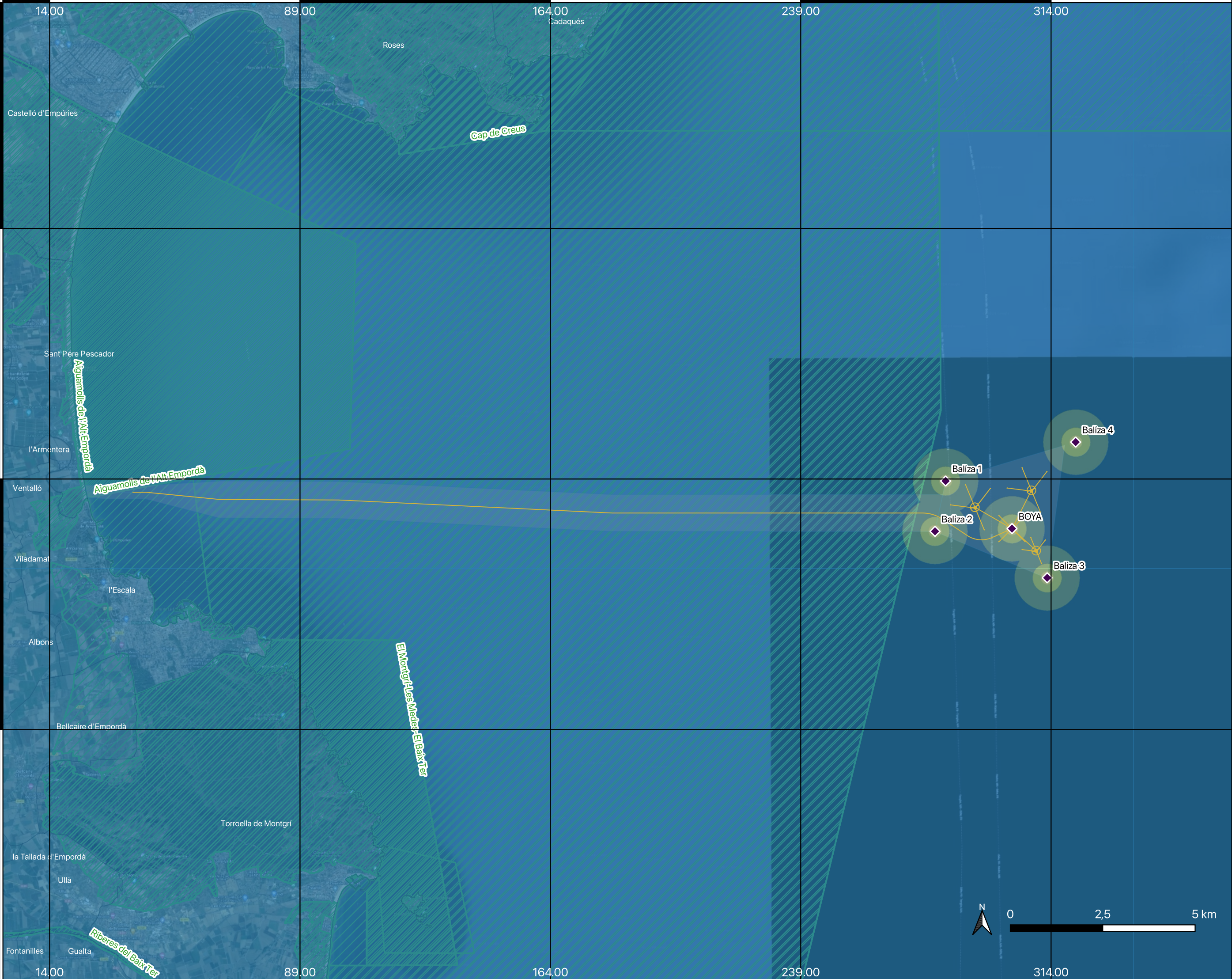
Proyecto	Impacto ambiental por contaminación lumínica --- Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya, PLEMCAT
Mapa	Nº 4 Mapa de visibilidad lumínica --- Aerogeneradores
Legenda	Puntos luz visibles NO VISIBLES 1 punto 2 puntos 3 puntos ◆ Aerogeneradores ◆ Baliza Espacios protegidos
Documento	nº LA_107024 Anexo 1
Fecha	Enero 2024
Cartografía	Sistema Coordenadas Referencia (SRC) ETRS89 EPSG:25831 HU31
Realización proyecto	Fdo.Susana Malón Giménez Licenciada Ciencias Físicas Nº colegiada COFIS: 4382



Proyecto	Impacto ambiental por contaminación lumínica --- Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya, PLEMCAT
Mapa	Nº 5 Mapa propagación lumínica ---- Aerogeneradores
Legenda	Puntos luz visibles NO VISIBLES 1 punto 2 puntos 3 puntos 4 puntos 5 puntos ◆ Balizas marítimas ● Aerogeneradores Espacios protegidos
Documento	nº LA_107024 Anexo 1
Fecha	Enero 2024
Cartografía	Sistema Coordenadas Referencia (SRC) ETRS89 EPSG:25831 HU31
Realización proyecto	 Fdo.Susana Malón Giménez Licenciada Ciencias Físicas Nº colegiada COFIS: 4382



Proyecto	Impacto ambiental por contaminación lumínica --- Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya, PLEMCAT
Mapa	Nº 6 Mapa propagación lumínica --- Aerogeneradores
Leyenda	Iluminancia Ev log 10 (lux) Banda 1 (Gray) <= -4,00 -4,00 - -3,30 -3,30 - -2,59 -2,59 - -1,88 -1,88 - -1,18 -1,18 - -0,47 -0,47 - 0,24 0,24 - 0,94 > 0,94 ◆ Balizas marinas ◆ Aerogeneradores ▣ Espacios protegidos
Documento	nº LA_107024 Anexo 1
Fecha	Enero 2024
Cartografía	Sistema Coordenadas Referencia (SRC) ETRS89 EPSG:25831 HU31
Realización proyecto	Fdo.Susana Malón Giménez Licenciada Ciencias Físicas Nº colegiada COFIS: 4382



Proyecto	Impacto ambiental por contaminación lumínica --- Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya, PLEMCAT
Mapa	Nº 7 Mapa de propagación lumínica ----- Balizas marítimas
Leyenda	Iluminancia Ev log 10 (lux) Banda 1 (Gray) ≤ -4,00 -4,00 - -3,30 -3,30 - -2,59 -2,59 - -1,88 -1,88 - -1,18 -1,18 - -0,47 -0,47 - 0,24 0,24 - 0,94 > 0,94 ◆ Balizas marinas ◆ Aerogeneradores ▣ Espacios protegidos
Documento	nº LA_107024 Anexo 1
Fecha	Enero 2024
Cartografía	Sistema Coordenadas Referencia (SRC) ETRS89 EPSG:25831 HU31
Realización proyecto	 Fdo.Susana Malón Giménez Licenciada Ciencias Físicas Nº colegiada COFIS: 4382