Estudio Sobre Contaminación Lumínica en el Parque Natural del Delta del Ebro

STUDY ON LIGHT CONTAMINATION IN THE "PARC NATURAL DEL DELTA D'EBRE"

Héctor Antonio Solano Lamphar[1], Ramón San Martín Páramo[2], Manu García Gil[3]

1. Ingeniero, Phd (C) en ingeniería. Departamento de estudios luminotécnicos, Universidad Politécnica de Cataluña.
2. Ingeniero, Phd en ingeniería. Departamento de estudios luminotécnicos, Universidad Politécnica de Cataluña.
3. Ingeniero, Phd (C) en ingeniería. Departamento de estudios luminotécnicos, Universidad Politécnica de Cataluña.

RESUMEN

Por medio de este trabajo se presenta una investigación realizada en el "Parc Natural del Delta de l'Ebre", cuyo objetivo fue determinar las condiciones lumínicas existentes y su afectación en el Parque. La investigación consistió en: (1) Medición y cualificación de las condiciones lumínicas del Parque; (2) Estudio de las influencias que determinan variaciones lumínicas; y, (3) Relación de la información con las posibles afectaciones a la población biológica de la zona. Se encontró que los factores lumínicos que definían las condiciones nocturnas fueron: la luminancia del fondo de cielo, la iluminancia en el terreno, y la existencia de luminancias puntuales o sectoriales muy elevadas en el horizonte. Así también, después de llevar a cabo el tratamiento de los datos, se determinó que las condiciones lumínicas dependían de las condiciones de iluminación en el entorno, características e índice de emisión lumínica de los focos contaminantes, distancia desde el foco al área de estudio y la extinción atmosférica al momento de la medición.

(Solano H, San Martín R, García M. 2009. Estudio Sobre Contaminación Lumínica en el Parque Natural del Delta del Ebro. Cienc Trab. Oct-Dic; 11 (34): 211-216)

Descriptores: LUZ, ILUMINACIÓN/EFECTOS ADVERSOS, AMBIENTE, CONTAMINACIÓN, ESPAÑA

ABSTRACT

This paper presents a research carried out in the "Parc Natural del Delta de l'Ebre", and its objective was to determine the light conditions existing and it affectation on the park. The research consisted in: (1) Measuring and qualification of light conditions of the park, (2) Study of the influences that determine light variations and (3) Relationship of the information with possible affectations on the biologic population of the zone. It was found that the light factors that defined night conditions were, background sky luminance, terrain luminance and the existence of punctual or sector luminances very high on the horizon. Also, after processing the data, it was determined that light conditions depend on lighting conditions in the surroundings, characteristics and light emission index of contaminating lamps, distance from the lamp to the area of study and atmospheric extinction at the time of measuring.

Descriptors: LIGHT, LIGHTING/ADVERSE EFFECTS, ENVIRONMENT, CONTAMINATION, SPAIN.

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre la problemática de la Contaminación Lumínica se centran con mayor frecuencia en los aspectos de Visión del Cielo, y Consumo de Energía.

Sin embargo, entre las afectaciones que genera la Contaminación Lumínica se encuentra también el perjuicio a la biodiversidad de tanta o más importancia que las anteriores. La luz, o su ausencia que es la obscuridad, son factores ambientales que influyen poderosamente en las condiciones de vida de las especies biológicas.

Correspondencia / *Correspondence:*
Héctor Antonio Solano Lamphar
Departamento de proyectos de ingeniería
de la Universidad Politécnica de Cataluña
Avinguda Diagonal 647, 08028. Barcelona, España.
Tel.: (34 93) 639844701
e-mail: lamphar@gmail.com
Recibido: 29 de octubre de 2008 / Aceptado: 2 de diciembre de 2009.

Por esta razón los organismos se han adaptado a lo largo de su evolución a las condiciones de los ciclos de luz natural en nuestro planeta. Es lógico por tanto que la alteración en dichos ciclos por la creciente repercusión del alumbrado artificial genere impactos, más o menos graves, en los organismos que la experimentan, y de forma más notable en aquellas especies cuya fase de actividad (alimentación, reproducción, desplazamiento, entre otros) transcurre en horas nocturnas.

Esta afirmación ha podido ser comprobada a partir de los primeros estudios sobre insectos, lepidópteros y aves realizados por Alfons G. Dolsa y Mª Teresa Albarrán y, en el mismo año, por Pascal Raevel y Florent Lamiot, que consumaron un compendio de la afectación de la iluminación artificial nocturna en diferentes especies de Francia, principalmente anfibios, anguilas, peces y pájaros (Dolsa y Albarrán 1998; Raevel y Lamiot 1998).

Estos primeros estudios fueron el inicio de una labor de investigación mucho más amplia. Dichos trabajos han demostrado la afectación negativa sobre especies biológicas muy variadas –insectos, lepidópteros, zooplancton, anfibios, peces, tortugas, mamíferos de vida nocturna, aves (nocturnas, marinas y migratorias)–, que no se limitan únicamente a las animales extendiéndose también a las vegetales (Rich y Longcore 2005).

Esta problemática ha motivado el estudio que se presenta a continuación.

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1. Definición

Aunque la influencia de la contaminación lumínica en la biodiversidad es ya cada día más conocida y más frecuentes los estudios, desde la perspectiva lumínica y biológica su número es todavía escaso y más si consideramos estudios que abarquen ambas facetas.

Por lo tanto, este estudio se propone:

- Medir y cualificar las condiciones lumínicas del Parque Natural del Delta del Ebro.
- Estudiar las influencias que pueden determinar variaciones en las mismas.
- Relacionar estos datos con las posibles afectaciones a la población biológica de la zona.

2. Ámbito de estudio

2.1. El Delta del Ebro.

La cavidad del río Ebro se halla entre las más importantes del Mediterráneo. En su salida da lugar a una plana aluvial de 320 km2 que se introduce en el mar configurando una forma triangular de 25 Km, el Delta del Ebro.

El Parque Natural del Delta del Ebro se encuentra en la desembocadura de dicho río, en la provincia de Tarragona, en la parte más meridional de Cataluña. En el año 1980, dentro de este Delta, se creó un Parque Natural con una extensión total de 7736 hectáreas. El Delta del Ebro es la región húmeda con mayor extensión de Cataluña y la segunda en España tras el Parque Nacional de Doñana. Es una de las más importantes de Europa occidental después del Parque Regional de la Camarga, en Francia.

La población biológica es muy diversa, comprendiendo plantas, peces y aves. Este último es especialmente relevante ya que es territorio nidificante de 95 especies distintas, y también zona de invernada y reposo de aves migratorias. De las 600 especies de aves existentes en Europa, 325 han sido localizadas en el Delta.

3. Programación inicial y fases de trabajo

En un estudio de este tipo son muy numerosas las incógnitas que sólo se pueden ir conociendo, cuantificando y cualificando a medida que avanzan sus trabajos.

Las hipótesis fueron las siguientes:

Los factores lumínicos que pueden definir las condiciones nocturnas son:

- Luminancia del fondo de cielo.
- Iluminancia en el terreno.
- Iluminancia en planos verticales.
- Existencia de luminancias puntuales o sectoriales muy elevadas en el horizonte.

Dichos factores pueden afectar a:

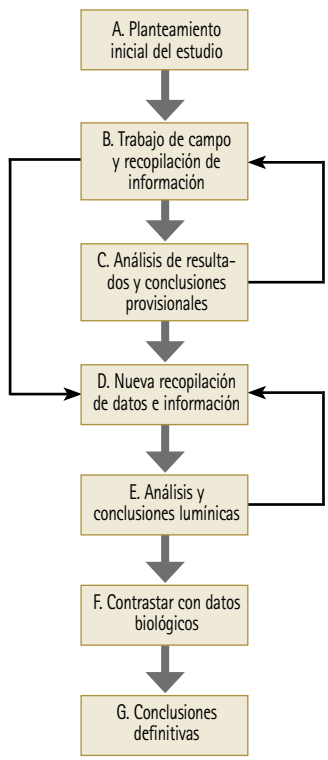
- Relación presas-predadores.
- Localización de alimentos.
- Comportamiento reproductivo.
- Desorientación.
- Efecto barrera.

Las condiciones lumínicas dependerán de:

- Condiciones de iluminación en el entorno.
- Contaminación atmosférica.
- Fases lunares.
- Meteorología.

Con el objetivo de avanzar en este trabajo se proponen etapas en una tabla de esquema de metodología. Se podrá observar que el esquema propuesto contiene dos fases de recopilación de datos (Fase B y Fase D). Estas fases se trataron por separado y tienen sus propios resultados y conclusiones. Sin embargo, al final del escrito se presentan las conclusiones definitivas que incluyen las dos fases mencionadas y el final del esquema (Figura 1).

Figura 1.
Seguimiento de las etapas de la investigación.



MÉTODO

3.1. Planteamiento inicial del estudio

Tras un estudio teórico y bibliográfico de la problemática se establecieron los siguientes planteamientos:

3.1.1. Espacio de medición cúpula cerrada

Constituido por un volumen en forma de cúpula, donde el cerramiento curvo es la bóveda celeste y la base el suelo del área. Las mediciones harán referencia a:

- Luminancia de la bóveda celeste.
- Iluminancia del suelo.
- Luminancias zonales y puntuales del horizonte.

3.1.2. Dispositivos de medición

Se cuenta como elementos básicos:

- Medidor de luminancia del fondo de cielo.
- Luminancímetro.
- Luxómetro.

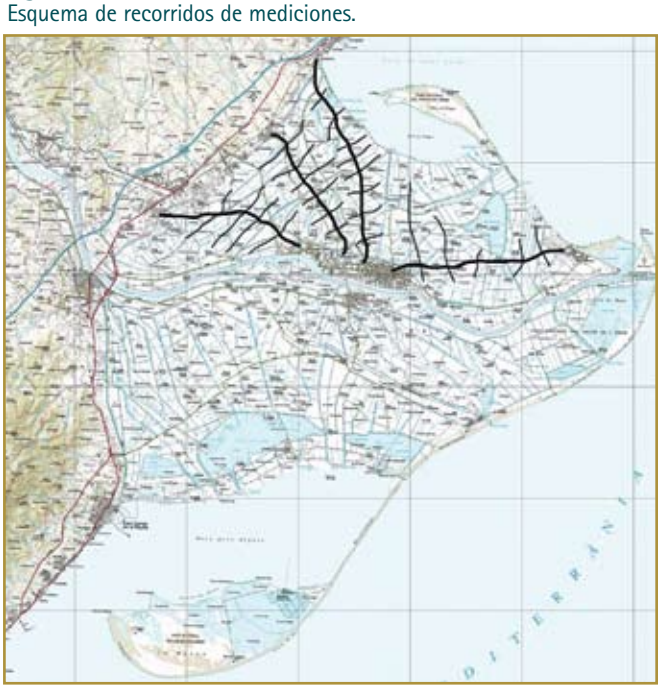
Y como elemento complementario:

- Cámara fotográfica digital.
- Brújula.
- Termómetro.
- GPS.

3.1.3. Determinación de los puntos de estudio

La determinación inicial se efectuó sobre mapa, trazando una cuadrícula regular de dimensiones 500*500 metros que, al estimarse poco precisa, se transformó provisionalmente en 200*200 m. Dicho esquema inicial ha debido cambiarse debido a que el parque presenta zonas de imposible acceso. El esquema final se ha basado en unos caminos rectilíneos paralelos a una distancia de 500 metros entre sí, y sobre los que se efectúan mediciones cada 200 metros. Partiendo de estos ejes se trazan unas "espinas" perpendiculares allí donde existen senderos, bastante frecuente, o zonas secas (Figura 2).

Figura 2.
Esquema de recorridos de mediciones.



3.2. Trabajo de campo y recopilación de información

3.2.1. Autorización del estudio

Antes de iniciar el trabajo de campo se realizó un informe que fue presentado en la alcaldía de Deltebre (la población que gestiona el parque natural). El alcalde aprobó la investigación, tras lo cual se mantuvieron reuniones con los biólogos responsables del parque natural, que han demostrado posteriormente su interés y apoyo al trabajo.

3.2.2. Identificación de los focos de contaminación

Ha tenido tres fases:

- Localización mediante observación sobre el terreno.
- Comprobación del grado de influencia aplicando la Ley de Walker.
- Selección de los valores significativos.

3.2.3. Trabajo de campo

El trabajo de campo realizado hasta el momento ha sido recorridos nocturnos de reconocimiento y medición. En estos recorridos, en puntos reconocibles por medición GPS, se efectúa toda la serie de mediciones de luminancia e iluminancia, fondo de cielo, así como del círculo completo de horizonte, del cual se realiza también una fotografía panorámica.

Se ha procurado realizar en primer lugar una serie completa de mediciones en condiciones de luna nueva y atmósfera despejada, para poder comparar en medidas sucesivas la influencia de condiciones atmosféricas y lunares distintas.

RESULTADOS

Resultados de la Fase B

Después de realizar la primera fase de trabajo de campo, se afina el método y se obtienen las primeras tendencias, donde se puede percibir la relación entre los focos contaminantes (normalmente y, en este caso, núcleos de población), y la contaminación lumínica.

4. Medidas obtenidas

A continuación se presenta un ejemplo de los datos en formato numérico y extrapolados a Cd/m^2 y Luxes. Recorrido perteneciente a La Aldea–Deltebre (Tabla 1).

Tabla 1.
Ejemplo de mediciones de recorrido entre La Aldea y Deltebre.

Luminancia fondo del cielo Valor de referencia $2.474x10^{-4}$ Cd/m^2		Iluminancia en suelo Valor de referencia $5x10^{-5}$ Luxes	
Punto	Cd/m^2	Punto	Luxes
1	.07268148	1	8.24668072
2	.15900975	2	9.97455668
3	.01228637	3	0.13665928
4	.00890069	4	0.95425877
5	.11205307	5	0.00699004
6	.00147715	6	0.0007854
7	.00120621	7	0.00064795

Estos datos corresponden a una parte del trayecto entre La Aldea y Deltebre, de aproximadamente 9 km. Ninguna de las medidas realizadas llegó a los parámetros considerados como cielo obscuro natural (21.6 mg/arcseg o $2.474x10^{-4}$ cd/m^2).

Los datos expuestos son de fondo de cielo y de luminancia medida a nivel de suelo, sobre una superficie de reflectancia igual a 0.8, respectivamente. Su representación gráfica (Figura 3):

Se tuvieron considerables incrementos de luminancia de fondo de cielo próximos a los núcleos de población. Con aumento muy significativo y una cierta estabilidad a partir de aproximadamente 2 km de ellos. Pese a, como se ha comentado, no llegar nunca al estado de cielo obscuro.

4.1. Mapas de intensidad lumínica celeste

Si representamos en plano los datos obtenidos, podremos observar (Figura 4):

Figura 3.
Porcentaje de mediciones entre La Aldea y Deltebre; los colores corresponden a los elegidos para el mapa lumínico.
% en mediciones MgArcseg.

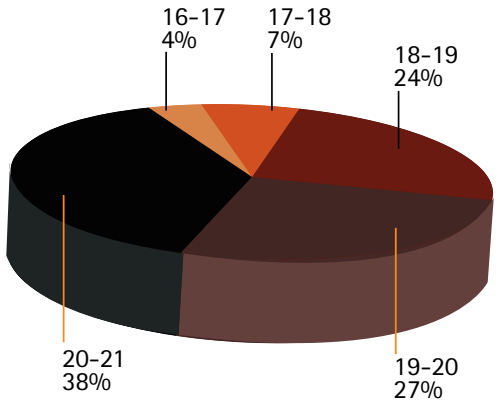


Figura 4.
Mapa lumínico del fondo del cielo según MgArcseg.

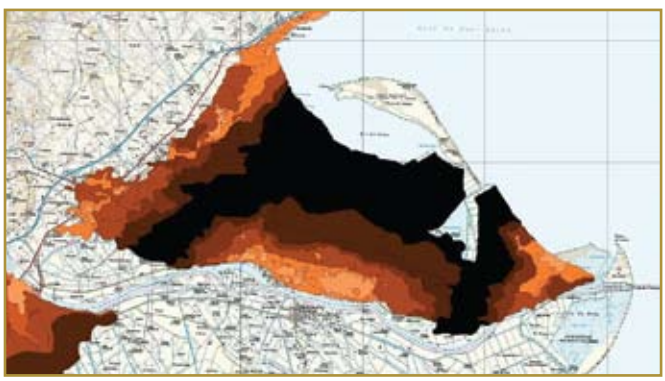
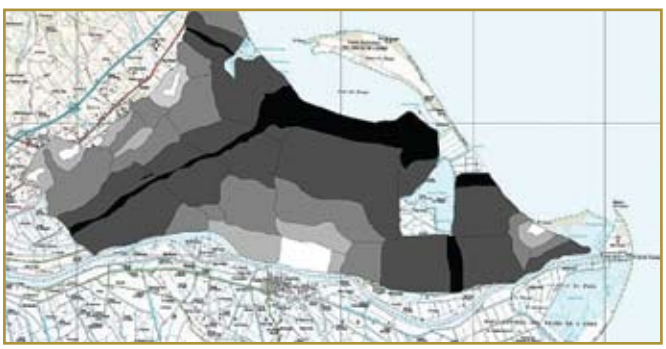


Figura 5.
Mapa lumínico de iluminancias del suelo según Luxes.



En la representación de nivel según fondo de cielo, se puede ver la afectación a este valor, claramente dependiente de las poblaciones de alrededor, es decir de los focos de contaminación. De igual manera en las mediciones se vio el rápido ascenso en este valor, y el valor residual latente, que evita que se consigan los 21,6 mg/arcseg (2.474×10^{-4} Cd/m^2) necesarios para obtener la noche natural (Figura 5).

En la representación de la figura anterior, se observan los niveles de iluminancias a nivel de suelo. En ésta se puede ver una correspondencia bastante cercana al mapa de fondo de cielo. Es decir, unos valores bastante altos en los lugares cercanos a las poblaciones, y una reducción acusada y muy pronunciada a medida que nos vamos alejando de ellas, con los valores más altos en los puntos de intersección entre ellas.

4.2. Cuantificación de EFS /GRE y afectación al lugar de estudio

Se cuantificó la emisión de flujo superior y el grado relativo de emisión (EFS/GRE), índices utilizados por el laboratorio de estudios luminotécnicos de la universidad politécnica de Cataluña, para determinar el grado en que una población contribuye a la contaminación lumínica resultante.

El estudio de núcleos contaminantes se condiciona a un estudio preliminar mediante la Ley de Walker, de la teórica afectación de éstos, teniendo en cuenta su población y su distancia al punto de análisis.

La Ley de Walker fue desarrollada por Merle Walker en 1973. La ley tiene como objetivo encontrar los lugares más adecuados para las observaciones astronómicas, estimando el brillo del cielo en un lugar de observación determinado. En el caso de esta investigación, se utilizó con el objetivo de determinar las poblaciones a estudiar (Narisada y Schreuder 2004).

Debido a la orografía del terreno (la cordillera litoral hace de pantalla natural, como la serra del Cardó, Serra de les Comes, Serra de Montsia, entre otras), la lejanía de poblaciones realmente importantes, y la superposición de focos más importantes por su proximidad, se ha tenido en cuenta el estudio de los siguientes núcleos de población y algunas instalaciones inmersas dentro del Delta:

- L'aldea
- Ampolla
- Camarles
- Deltebre
- Amposta
- Sant Carles de la Ràpita
- Sant Jaume d`Enveja
- Poble Nou del Delta
- Les Salines de la Trinidad (industria aislada)
- Urbanización Eucaliptus
- Els Muntells
- La Fustera (industria aislada)
- Riumar

Para analizar los focos de contaminación se realizó una encuesta a los municipios y núcleos de población analizados sobre el tipo y estado de sus instalaciones. Complementada con visitas de campo y estudios de niveles, características urbanísticas, estado de las instalaciones y demás datos de interés a la investigación. Mediante ello se pretende conseguir información acerca de su EFS y GRE como valores de estudio representativos de su grado de contaminación lumínica.

De forma provisional, y como orden de magnitud, se pueden observar –representados en mapa– los centros de contaminación estudiados, y proporcionalmente a su teórica afectación (proporcional a su población) (Figura 6):

Conclusiones aplicadas

Conclusiones de la Fase B

De las medidas y preliminar tratamiento de los datos efectuados

Figura 6.
Representación de las poblaciones de interés de estudio.



hasta ahora, se extrae la dirección a seguir en la metodología, mediante las mediciones más eficientes y rápidas, sobre todo en la recogida de datos en campo.
Los datos nos muestran la inexistencia de la noche natural en toda la zona de estudio, pese a la lejanía de núcleos muy importantes de población. Esto nos podría servir para determinar la afectación a algunas especies animales con un comportamiento altamente nocturno.
Los datos de iluminancia y luminancia del fondo de cielo al zénit, nos develan la altísima subida de estos niveles en las proximidades a los municipios, a la vez que su valor residual en toda la zona, quedando latente la necesidad de implementar medidas correctivas al respecto.
En los resultados preliminares, además, vemos la correspondencia de las medidas de fondo de cielo y niveles de iluminancia a nivel de suelo. Por lo que a priori se podría considerar que son estos valores los que pueden darnos otros más significativos de la afectación de contaminación lumínica general. Dejando aparte los puntos de iluminación puntual (puntos brillantes) responsables de los fenómenos de efecto barrera o atracción.

5. Fase D, nuevas mediciones lumínicas

Basándonos en el esquema metodológico, se han llevado a cabo nuevas recopilaciones de datos en el espacio de estudio. Estas recopilaciones no sólo involucran datos lumínicos: en esta ocasión también se han tomado datos relacionados al clima que se tenía en el momento de las mediciones. Esto con el objetivo de contrastar los datos y tratar de encontrar una relación en su aumento o su disminución.

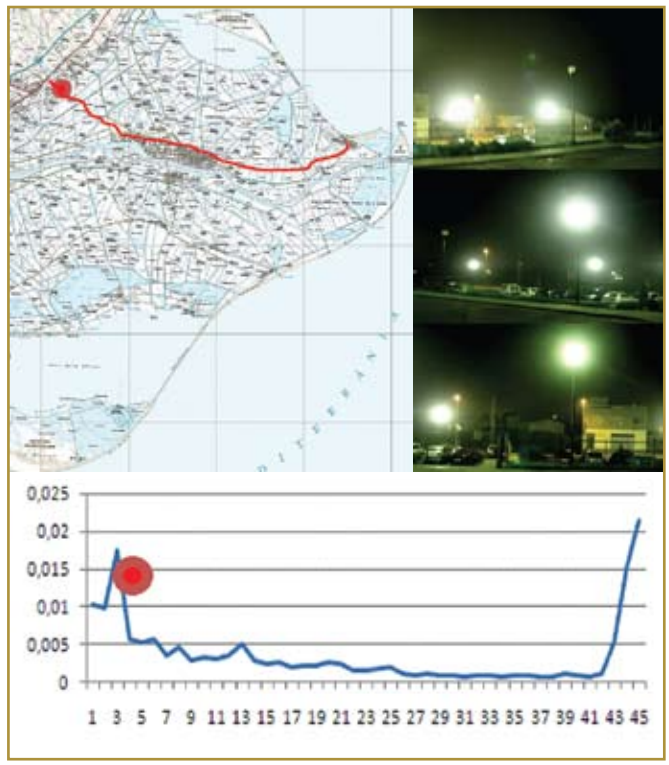
5.1. Mediciones lumínicas y humedad relativa

Se llevaron a cabo correlaciones entre los datos lumínicos y la humedad relativa y temperatura que se tenían al momento de cada medición. Los datos se tomaron auxiliándose de las estaciones meteorológicas localizadas en la región del Parque.

5.2. Mediciones Sky Quality Meter (hacia el cielo).

También se realizaron nuevas mediciones habituales con el fin de comparar las gráficas de recorrido y la fiabilidad de los instrumentos de medición.

Tabla 2.
Recorrido de medición en imágenes.



5.3. Mediciones Luminancímetro (hacia superficie reflectante).

Al igual que el punto anterior, se llevaron a cabo mediciones habituales, en esta ocasión tomadas con el luminancímetro.

5.4. Mediciones hacia el horizonte

Estas mediciones fueron realizadas hacia los cuatro puntos cardinales y, cuando era posible, hacia los focos contaminantes.

5.5. Ley de Walker

La Ley de Walker fue utilizada con el objetivo de localizar las poblaciones a estudiar.

5.6. Datos reales de instalación

En la Fase A del trabajo no se había realizado toda la caracterización de la iluminación artificial de las poblaciones elegidas para el estudio. En esta Fase ya se tiene la totalidad de estos datos. Los datos fueron obtenidos por medio del modelo de análisis RAMAL-UPC.

5.7. Datos hacia el horizonte en contraste con los datos de GRE

Se realizaron mediciones hacia la localización de los focos contaminantes; estos datos se contrastaron con el índice GRE de cada población.

Resultados de la Fase D

En esta Fase se realizó un análisis de los datos con modelos de regresión lineal; en este caso se utilizaron los modelos de corre-

lación de Pearson, Spearman y Kendall. En resumen, son modelos matemáticos que nos ayudan a estimar la relación que existe entre dos variables cuantitativas.

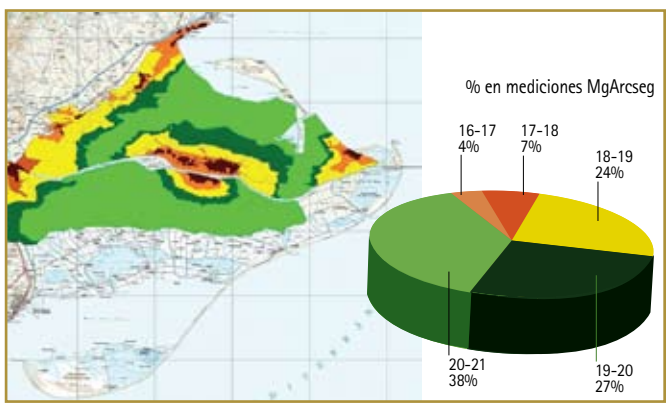
6. Recorrido en imágenes

A continuación se presenta un ejemplo de recorrido de medición al horizonte de las poblaciones. Se podrá observar el mapa con un punto que indica el punto de toma de las imágenes y algunas de las imágenes que fueron tomadas en dichos puntos. Así también, la gráfica de recorrido que se obtuvo de dichas mediciones (Tabla 2).

6.1. Mapa definitivo

Después de realizar nuevas mediciones y tomar correlaciones entre probables factores que pudieran aumentar o disminuir la contaminación lumínica, se ha realizado un nuevo mapa de colores donde se pueden observar las condiciones lumínicas del Parque. El mapa y la escala de colores se muestran a continuación (Figura 7).

Figura 7.
Mapa definitivo.



CONCLUSIONES

Estas conclusiones incluyen tanto los resultados de la Fase B como los de la Fase D.

A partir de la segunda fase del trabajo, se han llevado a cabo nuevas mediciones y un nuevo análisis de los datos con el fin de cerrar la investigación de manera definitiva.

En esta ocasión, el análisis se llevó a cabo con el refuerzo de herramientas estadísticas de correlación. Las herramientas utilizadas fueron las adecuadas a estos casos: grupos de datos paramétricos que pudieran tratarse con inferencias de relación entre ellos.

Las conclusiones que podemos deducir después de estos análisis son las siguientes:

Se realizó una toma de datos lumínicos y, al momento, una toma de datos meteorológicos apoyados en las estaciones meteorológicas que se localizan dentro y alrededor del Delta del Ebro. Las estaciones meteorológicas fueron elegidas de acuerdo al sector que se estaba estudiando. Los datos registrados, además de los lumínicos, fueron los de humedad relativa y de temperatura. La correlación de esta información nos ayudó a concluir que:

1. El aumento de la contaminación lumínica se relaciona directamente con el aumento de la humedad relativa en el ambiente estudiado.
2. La contaminación lumínica no presenta ninguna relación con el aumento o disminución de la temperatura que se tenga en el ambiente estudiado.

- Se realizaron mediciones habituales y se graficaron de nuevo con el fin de observar su comportamiento. Las gráficas continúan presentando un aumento dentro y fuera de las poblaciones y una disminución a medida que nos alejamos de las mismas. En otras palabras, estas gráficas nos indican que la contaminación lumínica varía dependiendo de la distancia a la que se encuentre el observador del foco contaminante.
- En la anterior entrega se comentó que fue utilizada la Ley de Walker con el objetivo de realizar una selección de las poblaciones que pudieran estar afectando al Parque en materia de contaminación lumínica. En esta ocasión, para tener la seguridad de que la elección de esta ley fue adecuada, se llevó a cabo una correlación entre los datos que arrojó y el número de habitantes de cada población. La correlación, casi perfecta, nos indica que, para estos casos, la utilización de la Ley de Walker es válida.
- Se llevaron a cabo mediciones hacia el horizonte, hacia los cuatro puntos cardinales y, en algunas ocasiones, hacia donde se localizaba la población que en ese momento se encontraba dentro del recorrido. Estas mediciones se realizaron con los dos instrumentos de medición. La correlación que se hizo entre los datos que arrojaron ambos instrumentos (luminancímetro y SQM), nos sirvió para afirmar que los datos de los dos instrumentos presentaban características similares. Por lo tanto, se concluye que la elección de su utilización fue adecuada.
- Estas mediciones hacia el horizonte han demostrado, también, la existencia de luminancias muy intensas que pueden ser origen de molestias o desorientación a la población biológica del Parque.
- Se ha terminado de recopilar la totalidad de los datos reales de instalación de las poblaciones estudiadas. Con esos datos se obtuvieron los índices de GRE para cada población. Los datos de GRE se correlacionaron con el número de habitantes de cada población. La correlación casi perfecta nos ayuda a concluir que las poblaciones estudiadas como focos contaminantes que afectan directamente al parque poseen un grado de contaminación homogéneo.
- Los datos de GRE también se correlacionaron con mediciones hacia el horizonte. En este caso en particular se seleccionó la población de Deltebre por ser la que cuenta con más casos de medición a diferentes distancias. La correlación casi perfecta nos ayuda a concluir que con la distancia disminuye el índice GRE.

REFERENCIAS

Dolsa AG, Albarrán MT. 1998. La problemática de la contaminación lumínica en la conservación de la biodiversidad. I Sesión de trabajo sobre la Contaminación Lumínica; 1998 jul. 29; Barcelona, España: Departament de Medi Ambient.

Narisada K, Schreuder D. 2004. Light pollution and astronomy. En: Narisada K, Schreuder D. Light pollution hand book. Netherlands: Springer. p. 115

Raevel P, Lamiot F. 1998. Incidences de l'éclairage artificiel des infrastructures routières sur les milieux naturels. 3ème Congrès Routes & Faune sauvage Strasbourg; 1998 sept. 30-oct. 2; Strasbourg, France: Direction environnement, énergie et déchets.

Rich C, Longcore T. 2006. Ecological consequences of artificial night lighting. 1st ed. Los Angeles, USA: Island Press.