



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Contaminación lumínica en el Anillo verde de
Vitoria-Gasteiz

Light pollution in the green Ring of Vitoria-
Gasteiz

Autor

Iñaki Carretón Val

Directora

Susana Malón Giménez

Ponente

María Eugenia Marqués López

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA

2021

Resumen

Los motivos principales que me han hecho llevar a cabo este trabajo han sido mejorar la eficiencia energética de las ciudades y proteger el patrimonio natural y la biodiversidad. Este trabajo ha consistido en tomar mediciones de la cantidad de iluminación que reciben distintos ecosistemas alrededor de la ciudad de Vitoria-Gasteiz, para posteriormente analizar y valorar esas mediciones. En primer lugar, se hizo una valoración medioambiental de los distintos espacios, haciendo referencia a los servicios ambientales que prestan y a la flora y fauna presente. En segundo lugar, se tomaron mediciones de la contaminación lumínica de los distintos espacios para así poder comparar y analizar posibles diferencias existentes. Posteriormente se han expuesto los efectos adversos de la contaminación lumínica sobre la salud y el medio ambiente. Por último, se han propuesto actuaciones para mitigar la contaminación lumínica y así contribuir al ahorro energético.

Palabras clave

Contaminación lumínica – Anillo verde - Mediciones - Vitoria-Gasteiz

Abstract

The main reasons that have made me carry out this work have been to improve the energy efficiency of cities and protect natural heritage and biodiversity. This work has consisted of taking measurements of the amount of illumination received by different ecosystems around the city of Vitoria-Gasteiz to later analyze and assess these measurements. First, an environmental assessment of the different spaces was made, referring to the environmental services they provide and the flora and fauna present. Second, measurements of the light pollution of the different spaces were taken to compare and analyze possible existing differences. Subsequently, the adverse effects of light pollution on health and the environment have been exposed. Finally, actions have been proposed to mitigate light pollution and thus contribute to energy savings.

Key words

Light Pollution - Ring – Measurements – Vitoria-Gasteiz

ÍNDICE

1- Introducción	1
1.1 Efectos adversos de la contaminación lumínica	2
1.1.1 Efectos adversos sobre la flora	3
1.1.2 Efectos adversos sobre la fauna	4
1.1.3 Salud	5
2- Ubicación	7
3- Objetivos	7
4- Metodología	8
5- Exposición ecológica del Anillo verde	9
5.1 Descripción	9
5.2 Superficie	9
5.3 Determinación de zonas	9
5.3.1 Bosque de Armentia	9
5.3.2 Humedal de Salburua	10
5.3.3 Bosque de Zabalgana	10
5.3.4 Ribera del Zadorra	10
5.3.5 Parque de Olarizu	11
5.4 Figuras de protección	11
5.4.1 Los humedales de importancia internacional RAMSAR	12
5.4.2 Espacios RED NATURA 2000	13
5.5 Servicios ambientales	15
5.6 Diversidad de especies	15
5.6.1 Flora	16
5.6.2 Fauna	25
5.7 Cartografías	43
6 Contaminación lumínica en las zonas determinadas	46
6.1 Descripción fuentes de contaminación	46
6.2 Metodología y toma de muestras	67
6.3 Tratamiento valores de contaminación obtenidos durante el muestreo	70
6.4 Cartografías	70
7 Determinación global de los niveles de contaminación para conocimiento de puntos negros	76
7.1 Cartografía	77
7.2 Estadística	77

7.3 Resultados.....	81
7.4 Causas	83
7.5 Legislación	83
8 Discusión.....	86
9 Conclusiones	88
10 Glosario	91
11 Bibliografía	92
12 Anexos	

Anexo 1: Excel muestreo de Zabalzana 2021. Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Excel muestreo de Salburua 2021. Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Excel muestreo de Armentia 2021. Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Excel muestreo de Olarizu 2021. Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Excel muestreo de Zadorra 2021. Fuente: Elaboración propia.

ÍNDICE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Anillo verde de Vitoria-Gasteiz. Fuente: Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz	7
Figura 2: Zonas de estudio dentro del Anillo verde. Fuente: Elaboración propia	11
Figura 3: Humedal de Salburua. Fuente: Elaboración propia.....	13
Figura 4: Falso junco (<i>Schoenoplectus lacustris</i>)	16
Figura 5: Molinia azul (<i>Molinia caerulea</i>)	16
Figura 6: Junco (<i>Juncus inflexus</i>)	16
Figura 7: Junco (<i>Juncus subnodulosus</i>)	17
Figura 8: Junco pelotero (<i>Sparganium erectum</i>)	17
Figura 9: Carrizo (<i>Phragmites australis</i>)	17
Figura 10: Espadilla (<i>Carex riparia</i>)	18
Figura 11: Arroyuella (<i>Lythrum salicaria</i>)	18
Figura 12: Malva blanca (<i>Althaea officinalis</i>)	18
Figura 13: Menta acuática (<i>Mentha aquatica</i>)	19
Figura 14: Lirio amarillo (<i>Iris pseudacorus</i>)	19
Figura 15: Salguero negro (<i>Salix caprea</i>)	19
Figura 16: Sauce blanco (<i>Salix alba</i>)	20
Figura 17: Sargatillo (<i>Salix purpurea</i>)	20
Figura 18: Roble pedunculado (<i>Quercus robur</i>)	21
Figura 19: Arce campestre (<i>Arce campestre</i>)	21
Figura 20: Majuelo navarro (<i>Crataegus laevigata</i>)	21
Figura 21: Espino albar (<i>Crataegus monogyna</i>)	22
Figura 22: Endrino (<i>Prunus spinosa</i>)	22
Figura 23: Zarzamora (<i>Rubus ulmifolia</i>)	22
Figura 24: Cornejo (<i>Cornus sanguínea</i>)	23
Figura 25: Bola de nieve (<i>Viburnum opulus</i>)	23
Figura 26: Bonetero (<i>Euonymus europaeus</i>)	23

Figura 27: Álamo blanco (<i>Populus alba</i>)	24
Figura 28: Fresno de hoja estrecha (<i>Fraxinus angustifolia</i>)	24
Figura 29: Focha común (<i>Fulica cristata</i>)	25
Figura 30: Somormujo Lavanco (<i>Podiceps cristatus</i>)	26
Figura 31: Rascón europeo (<i>Rallus aquaticus</i>)	26
Figura 32: Rascón europeo (<i>Rallus aquaticus</i>)	26
Figura 33: Martin Pescador (<i>Alcedo atthis</i>)	27
Figura 34: Pito real (<i>Picus viridis</i>)	27
Figura 35: Tórtola Turca (<i>Streptopelia decaocta</i>)	28
Figura 36: Garza Real (<i>Ardea cinérea</i>)	28
Figura 37: Arrendajo euroasiático (<i>Garrulus glandarius</i>)	29
Figura 38: Autillo europeo (<i>Otus scops</i>)	29
Figura 39: Carricerín cejudo (<i>Acrocephalus paludícola</i>)	30
Figura 40: Avetoro (<i>Botaurus Stellaris</i>)	30
Figura 41: Tórtola común (<i>Streptopelia Turtur</i>)	31
Figura 42: Carricero Tordal (<i>Acrocephalus scirpaceus</i>)	31
Figura 43: Cigüeña Blanca (<i>Ciconia ciconia</i>)	32
Figura 44: Oropéndola (<i>Oriolus oriolus</i>)	32
Figura 45: Visón europeo (<i>Mustela lutreola</i>)	33
Figura 46: Jabalí (<i>Sus scrofa</i>)	33
Figura 47: Corzo (<i>Capreolus capreolus</i>)	34
Figura 48: Ciervo (<i>Cervus elaphus scoticus</i>)	34
Figura 49: Tritón palmeado (<i>Lissotriton helveticus</i>)	35
Figura 50: Rana ágil (<i>Rana dalmatina</i>)	35
Figura 51: Rana común (<i>Pelophylax perezi</i>)	36
Figura 52: Sapillo pintojo ibérico (<i>Discoglossus galganoi</i>)	36

Figura 53: Bermejuela (<i>Achondrostoma arcasii</i>)	37
Figura 54: Loina (<i>Parachondrostoma miegii</i>)	37
Figura 55: Fraile (<i>Salaria fluviatilis</i>)	37
Figura 56: Lamprehuela (<i>Cobitis calderoni</i>)	38
Figura 57: Barbo (<i>Barbus graellsii</i>)	38
Figura 58: Trucha común (<i>Salmo trutta fario</i>)	38
Figura 59: Lagartija ibérica (<i>Podarcis hispanicus</i>)	39
Figura 60: Eslizón tridáctilo (<i>Chalcides striatus</i>)	39
Figura 61: Galápago leproso (<i>Mauremys leprosa</i>)	40
Figura 62: Ciervo volante europeo (<i>Lucanus cervus</i>)	40
Figura 63: Rosalia Alpina (<i>Rosalia Alpina</i>)	41
Figura 64: Cárabo (<i>Carabus arcensis</i>)	41
Figura 65: Caballito del diablo (<i>Coenagrion mercuriale</i>)	41
Figura 66: Santateresa (<i>Mantis religiosa</i>)	42
Figura 67: Macaón europeobritánico (<i>Papilio machaon</i>)	42
Figura 68: Mosquito común (<i>Culex pipiens</i>)	42
Figura 69: Humedal de Salburua. Fuente: Elaboración propia	43
Figura 70: Bosque de Zabalzana. Fuente: Elaboración propia	43
Figura 71: Río Zadorra. Fuente: Elaboración propia	44
Figura 72: Bosque de Olarizu. Fuente: Elaboración propia	44
Figura 73: Bosque de Armentia. Fuente: Elaboración propia	45
Figura 74: Relación entre el tipo de luz y los grados Kelvin (°K)	47
Figura 75: Ilustración para comprender en que consiste el flujo hemisférico superior	48
Figura 76: Ilustración para comprender que luminarias son las que menos contaminación lumínica emiten	48
Figura 77: Barrio de Salburua. Fuente: Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz	49
Figura 78: Fuentes de contaminación en Salburua. Fuente: Elaboración propia	50

Figura 79: Edificios de Salburua. Fuente: Elaboración propia	51
Figura 80: Luminarias de Salburua. Fuente: Elaboración propia	51
Figura 81: Poblaciones alrededor de Salburua. Fuente: Elaboración propia	52
Figura 82: Polígono industrial de Betoño. Fuente: Elaboración propia	53
Figura 83: Fuentes de contaminación en el río de Zadorra. Fuente: Elaboración propia ..	54
Figura 84: Barrio de Lakua. Fuente: Elaboración propia	54
Figura 85: Vías cerca del Zadorra. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 86: Ribera del Zadorra. Fuente: Elaboración propia	56
Figura 87: Polígono industrial de Ali Gobeo. Fuente: Elaboración propia	57
Figura 88: Fuentes de contaminación en Zabalgana. Fuente: Elaboración propia	58
Figura 89: Barrio de Zabalgana. Fuente: Elaboración propia	58
Figura 90: Vías cerca del bosque de Zabalgana. Fuente: Elaboración propia	59
Figura 91: Poblaciones cerca de Zabalgana. Fuente: Elaboración propia	59
Figura 92: Polígono industrial de Jundiz. Fuente: Elaboración propia	60
Figura 93: Fuentes de contaminación en Armentia. Fuente: Elaboración propia	61
Figura 94: Poblaciones cerca del bosque de Armentia. Fuente: Elaboración propia	61
Figura 95: Vías cerca de Armentia. Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 96: Poblaciones cerca del bosque de Armentia. Fuente: Elaboración propia	63
Figura 97: Polígono industrial de Jundiz. Fuente: Elaboración propia	63
Figura 98: Fuentes de contaminación en Olarizu. Fuente: Elaboración propia	64
Figura 99: Barrio de Adurza. Fuente: Elaboración propia	65
Figura 100: Vías cerca del barrio de Adurza. Fuente: Elaboración propia	66
Figura 101: Poblaciones cerca del barrio de Adurza. Fuente: Elaboración propia	66
Figura 102: Polígono industrial de Uritiasolo. Fuente: Elaboración propia	67
Figura 103: SQM Sky Quality Meter. Fuente: Unihedron	69
Figura 104: Zonas medidas en el Anillo verde. Fuente: Elaboración propia	71
Figura 105: Mediciones obtenidas en Zabalgana. Fuente: Elaboración propia	72

Figura 106: Mediciones obtenidas en Olarizu. Fuente: Elaboración propia	73
Figura 107: Mediciones obtenidas en Armentia. Fuente: Elaboración propia	74
Figura 108: Mediciones obtenidas en el Zadorra. Fuente: Elaboración propia	75
Figura 109: Mediciones obtenidas en Salburua. Fuente: Elaboración propia	75
Figura 110: Mediciones obtenidas en el Anillo verde. Fuente: Elaboración propia	77
Tabla 1: Tabla de estadística descriptiva. Fuente: Elaboración propia	77
Histogramas 1: valores medios de mag/arcseg ² en función de su frecuencia. Fuente: Elaboración propia	79
Diagrama 1: Distribución de mediciones. Fuente: Elaboración propia	80
Figura 111: Resultados inferencia estadística. Fuente: Elaboración propia	81
Tabla 2: Valoración ambiental en función de la ecología y contaminación lumínica. Fuente: Elaboración propia.....	82

1-INTRODUCCIÓN

La contaminación lumínica es una forma de alteración ambiental que consiste en iluminar el cielo nocturno por medios artificiales que no son naturales, ya que antes de que se utilizasen sistemas de iluminación los únicos elementos que proporcionaban luz en la tierra eran el sol durante el día y la luna y las estrellas durante la noche. El aumento del brillo del cielo nocturno con la consecuente pérdida de visibilidad del firmamento, las alteraciones que se producen en los ecosistemas que rodean las zonas urbanas y la intrusión de la luz en fachadas y viviendas son los principales efectos negativos de la contaminación lumínica.

A pesar de que cada vez pueda haber más evidencias de los efectos adversos de la contaminación lumínica, en la actualidad falta concienciación de la problemática asociada y sigue habiendo escasez de estudios específicos que permitan evaluar los niveles de exposición y que sirvan de base para plantear acciones de mejora.

Con este trabajo se pretende aportar información sobre el nivel de contaminación lumínica que puede haber en el Anillo verde de Vitoria-Gasteiz, aspecto que no se ha abordado con profundidad anteriormente. En concreto, se va a estudiar el alumbrado como fuente de contaminación. Con el conocimiento y divulgación de la contaminación lumínica que hay en esta zona se podrá contribuir a mejorar la eficiencia del alumbrado, reducir la contaminación lumínica, prevenir efectos adversos sobre la flora y la fauna, mejorar la calidad de vida y bienestar del conjunto de la sociedad, y, en definitiva, contribuir al desarrollo sostenible.

Este trabajo dentro de los objetivos del desarrollo sostenible que adoptaron los líderes mundiales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad, se enmarca en el objetivo 11 que trata de lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles y también dentro del objetivo 15 que trata de luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

En este trabajo a diferencia de otros trabajos realizados con anterioridad no solo se van a realizar cartografías sobre la contaminación, sino que también se va a solapar con el valor ecológico, para obtener una visión de las condiciones ambientales de un espacio de forma más detallada.

1.1 EFECTOS ADVERSOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

El crecimiento de la ciudad de Vitoria-Gasteiz y su consecuente ocupación del territorio ha provocado que los espacios que se encuentran en el Anillo verde se encuentren cada vez más expuestos a la contaminación lumínica. La contaminación lumínica que hay en el Anillo verde puede producir efectos adversos sobre la salud de las personas, la flora y la fauna que se distribuye a lo largo de estos espacios. Una de las consecuencias asociadas a la iluminación del cielo nocturno son los efectos biológicos y fisiológicos que se producen sobre los organismos.

El periodo de luz y de oscuridad son factores que influyen en los ritmos circadianos que son cambios físicos, mentales y conductuales que siguen un ciclo de 24 horas. Estos periodos naturales de luz y de oscuridad afectan a la mayoría de los seres vivos. Es bien sabido que, para muchos animales, el cielo nocturno natural señala cuándo comer, dormir, cazar, migrar e incluso cuándo reproducirse. Es por este motivo, que la emisión de luz artificial altera los ciclos vitales de gran cantidad de seres vivos. Las actividades necesarias para la vida de las plantas y los animales, como la alimentación, la reproducción, el sueño y la protección contra los depredadores, está influenciado por los periodos de luz y oscuridad de la tierra. La evidencia científica sugiere que la luz artificial en la noche tiene efectos negativos y mortales en muchas especies, incluyendo anfibios, aves, mamíferos, invertebrados y plantas.

Además de los efectos adversos que la contaminación lumínica tiene en la biodiversidad o la salud de las personas, la contaminación lumínica también va a suponer un consumo excesivo de energía y un mayor gasto económico. Además, como una parte de la energía eléctrica que se emplea para la iluminación de las ciudades no tiene un origen renovable, es decir que no está producida con recursos naturales inagotables y está producida mediante recursos naturales agotables el impacto sobre el medio ambiente es mayor. Es decir, el uso ineficiente de la energía eléctrica también contribuye de forma indirecta a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y consecuentemente contribuye al calentamiento global. **Arriba, J. I. (2010).**

Por otra parte, el uso inadecuado de la iluminación también puede comprometer la seguridad en forma de accidentes de tráfico provocados por el deslumbramiento o por la falta de iluminación.

Por último, la contaminación lumínica también provoca interferencias con la astronomía ya que el exceso de iluminación reduce la visibilidad del firmamento que es un derecho de la sociedad.

1.1.1 EFECTOS ADVERSOS SOBRE LA FLORA

Dentro de los ecosistemas que componen el Anillo verde uno de los elementos que se ve perjudicado por la contaminación lumínica es la flora. La contaminación lumínica va a producir alteraciones en los procesos fisiológicos de muchas especies vegetales produciendo disminución en el crecimiento y desincronización en la floración. Por tanto, la contaminación lumínica es un fenómeno que va a interferir en el desarrollo de la vegetación durante las fases de crecimiento y de floración. Para que la vegetación se desarrolle adecuadamente es imprescindible que se respete el fotoperiodo que necesitan las especies en las distintas etapas del año y que consiste en el número de horas de luz y de oscuridad que cada especie necesita. Es decir, se deben respetar las horas de luz y de oscuridad que hay en el ambiente en las distintas etapas del año para que la vegetación se desarrolle de forma adecuada. Cuando no se respeta el fotoperiodo las plantas sufren estrés ya que no diferencian entre el periodo nocturno y el diurno, y esto hace que la planta no puede realizar sus funciones fisiológicas de manera normal lo cual produce una disminución de su crecimiento y desarrollo y también puede afectar a la floración. Además, el estrés que sufren las plantas al no respetarse el fotoperiodo puede afectar a determinadas especies, provocando alteraciones en las plantas que afectan al intercambio gaseoso y la fijación de CO₂. Esto se produce porque la evapotranspiración que realiza la vegetación no es igual en horario nocturno y en diurno. Es decir, que la vegetación que está afectada por la contaminación lumínica es capaz de fijar menos CO₂ que la vegetación que no sufre contaminación lumínica. Por otra parte, el fotoperiodo es importante que se respete para que la vegetación florezca en el momento del año que le corresponde en función de la especie que sea y así pueda interactuar con el medio de la forma más eficiente posible. Ya que las etapas de floración no solo son importantes para la fauna que se alimenta de flores y frutos y poliniza las especies, sino también lo son para las personas, ya que la calidad y la cantidad de las cosechas va a estar condicionada por este factor. **Font, M. R., & Morera, P. (2006)**. Por último, para terminar con este apartado se van a exponer a continuación los principales efectos adversos de la contaminación lumínica sobre la flora:

- Reducción del crecimiento.
- Estrés vegetal.
- Disminución o pérdida de la floración.
- Desincronización de la floración.
- Reducción de alimentos para la fauna.
- Reducción de cosechas.

- Reducción de fijación de carbono.

1.1.2 EFECTOS ADVERSOS SOBRE LA FAUNA

En este apartado se van a exponer cuales son los principales efectos adversos de la contaminación lumínica sobre la fauna y que especies presentes en el Anillo verde en función de su zona de distribución pueden verse más afectadas por este estresor físico. La noche es el momento de máxima actividad para gran parte de la fauna que se distribuye en las distintas zonas del Anillo verde. Durante la noche las presas tienen más probabilidades de escapar de sus depredadores, mientras que si iluminamos el cielo nocturno esta probabilidad de escapar disminuye, por tanto, la iluminación artificial afecta a la interacción entre presas y depredadores, y así, va a influir en los tamaños poblacionales de ambos. En el caso de las aves, los principales efectos negativos de la luz artificial que hay en el Anillo verde de Vitoria-Gasteiz, son que la iluminación artificial favorece las colisiones por deslumbramientos y que desvía a las aves de sus desplazamientos habituales. Muchas de las aves del Anillo verde que migran o cazan durante la noche se guían por la luz de la luna y las estrellas por lo que la iluminación del cielo nocturno es un efecto negativo sobre ellas. Además, muchos organismos utilizan las estrellas para orientarse durante sus ciclos biológicos por lo que la iluminación del cielo nocturno también va a perjudicar estos procesos. Por otra parte, que la vegetación afectada por la contaminación lumínica no florezca en los momentos oportunos del año también va a producir alteraciones en las poblaciones de muchos seres vivos que interactúan con la vegetación y dependen de ella en muchas etapas de sus ciclos biológicos. Además, los animales poseen un reloj intrínseco que les permite saber el momento del día en el que están, pero cuando reciben iluminación en horas nocturnas ese reloj se ve alterado produciendo desorientación y fatiga en muchos casos.

En el Anillo verde la fauna que más afectada está es la que se distribuye a lo largo del Zadorra. El Zadorra es la zona que más afectada está por la contaminación lumínica. Esta elevada contaminación produce que las presas tengan menos probabilidades de escapar de sus depredadores durante la noche. Una de las especies que se ven afectadas por la contaminación lumínica son los insectos. Los insectos ocupan un lugar intermedio en la cadena trófica y cuando estos se desplazan hacia las luces provoca que otras especies que se alimentan de estos se trasladen fuera de sus hábitats. Además, que los insectos salgan de sus hábitats va a fomentar que haya más plagas agrícolas y que proliferen las enfermedades transmitidas por los insectos entre la población. Por otra parte, la mayoría de los insectos tienen un ciclo biológico muy corto en muchos casos de un día. Durante el transcurso de ese ciclo biológico los insectos tienen que alimentarse y

reproducirse, pero si le añadimos el factor de iluminación, el tiempo que tienen para alimentarse y reproducirse disminuye y esto provoca la disminución de sus poblaciones. **Horts, P. (1999)**. Si la población de insectos disminuye la polinización también lo va a hacer y esto va a provocar que la cantidad de frutos y semillas disponibles sea menor, afectando a las poblaciones de especies que se alimentan de frutos y semillas. Por el contrario, la fauna que menos afectada está es la que se distribuye en Armentia y Salburua porque en estas zonas la oscuridad es mayor. Por último, hay que comentar que los efectos adversos que se producen en la fauna son directamente proporcionales a la contaminación lumínica que se produce. Para terminar con este apartado se van a exponer a continuación los principales efectos adversos de la contaminación lumínica sobre la fauna:

- Alteración en la red trófica.
- Alteración de la distribución de las especies.
- Reducción del alimento disponible.
- Alteración de ciclos biológicos.
- Alteración de las interacciones ecológicas.
- Reducción de los tamaños poblacionales.

1.1.3 SALUD

Es cierto que la iluminación artificial facilita muchas de las actividades que realiza el ser humano, pero no nos podemos olvidar de los efectos negativos que tiene el uso de iluminación artificial de forma inadecuada sobre la salud. Las personas para poder adaptarse a los cambios cíclicos que se producen en el ambiente durante el día y la noche han desarrollado un sistema para medir el paso del tiempo de forma autónoma y así coordinarse con el ambiente cíclico. Este sistema se conoce como sistema circadiano y consiste en sincronizar o asociar la percepción temporal de las personas con las señales periódicas del ambiente, es decir, ubicar la percepción temporal que una persona tiene dentro de un ciclo de 24 horas en función de la luz y oscuridad que percibe. El sistema circadiano utiliza la hormona de la melatonina para mandar una señal a todos los órganos y así sincronizar todo el organismo con el ambiente. En el Anillo verde de Vitoria-Gasteiz y en muchos otros espacios naturales el ciclo natural de luz y oscuridad se ha alterado por el alumbrado instalado. Uno de los efectos fisiológicos negativos que tiene el alumbrado sobre la salud de las personas es la supresión de la síntesis de la melatonina, que conlleva una mayor dificultad para sincronizar el organismo con el ciclo ambiental.

Esta desincronización entre el organismo y el ciclo ambiental se produce cuando nos exponemos durante horas a la iluminación artificial. Los principales efectos negativos que produce la desincronización sobre la salud de las personas son pérdida en la capacidad de dormir y despertar a las horas correspondientes y pérdida de las habilidades cognitivas y motoras. Además, la desincronización del ritmo circadiano tiene efectos sobre incidencias de enfermedades como la diabetes la obesidad o la depresión. Por otra parte, la melatonina además de informar al organismo de la llegada de la noche es un agente antioxidante, inmunoestimulante y oncostático en determinados tipos de cáncer. Se sabe que la melatonina es un agente anticancerígeno y su reducción continuada debido a la luz en un momento inadecuado puede contribuir a la probabilidad de inicio y progresión del cáncer. Como hemos comentado anteriormente la melatonina tiene muchas propiedades beneficiosas para la salud, una de ellas es su acción antioxidante que resulta importante para ralentizar el envejecimiento y las alteraciones degenerativas que están asociadas a éste. Teniendo en cuenta los efectos adversos sobre la salud expuestos en este apartado a consecuencia de la iluminación artificial es muy importante que el sistema circadiano funcione de forma adecuada. Para que el sistema circadiano funcione correctamente debe estar bien sincronizado con el ciclo ambiental y para esto es necesario que se respeten las horas de luz y oscuridad. Además de que se respeten las horas de luz y de oscuridad para evitar, prevenir o reducir afecciones sobre el sistema circadiano de las personas es importante que el alumbrado artificial se gestione de forma eficiente, sostenible y proporcional a las necesidades de iluminación que pueda haber en distintas zonas urbanas. **Chepesiuk, R. (2010).**

Por otra parte, cabe destacar que para mejorar la salud de las personas respecto de la contaminación lumínica es importante controlar la intrusión del alumbrado público en el ámbito privado, hay que evitar la iluminación de las fachadas de las viviendas y además hay que evitar la iluminación innecesaria de espacios que no necesitan ser iluminados en distintas franjas horarias.

Por último y para terminar con este apartado hay que comentar que con los conocimientos científicos y las nuevas tecnologías disponibles actualmente los impactos de la contaminación lumínica sobre la salud de las personas se podrían minimizar de forma que la calidad de vida y el bienestar de las personas mejorase sustancialmente. Es por esta mejora de la calidad de vida y el bienestar social y por las razones mencionadas anteriormente que las sociedades actuales y futuras deberían tener muy en cuenta los efectos negativos de la contaminación lumínica a la hora llevar a cabo el desarrollo y crecimiento de las ciudades. El control y sobre todo la reducción de la contaminación lumínica va a derivar en un menor impacto ambiental y sobre todo en conseguir una mayor

armonía con el medio ambiente, ya que respetar y conservar la naturaleza tal y como es va a ser uno de los mayores retos a los que se va a enfrentar la humanidad en los años venideros.

2-UBICACIÓN

La ciudad de Vitoria-Gasteiz es la capital de la provincia de Álava y del País Vasco. Está situada en el centro de la llanada alavesa, a 525 metros de altitud, al sur del País Vasco y al norte de España. El Anillo verde está situado en los alrededores de la ciudad de Vitoria-Gasteiz (Figura 1). En Vitoria-Gasteiz viven 253.996 personas censadas. La superficie de la ciudad es 276,8 Km².



Figura 1: Anillo verde de Vitoria-Gasteiz. Fuente: Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.

3.- OBJETIVOS

El objetivo general es conocer la contaminación lumínica en las distintas partes del Anillo verde de Vitoria-Gasteiz y en su conjunto. Cruzando los datos con los valores ambientales de la zona se podrán localizar los puntos negros sobre los que proponer acciones de mejora. A continuación, se exponen los objetivos específicos:

- Determinar el valor medioambiental de las distintas zonas que componen el Anillo verde.
- Elaborar un inventario fotográfico de las luminarias que están adyacentes al Anillo verde.

- Evaluar la contaminación lumínica mediante un mapeo del brillo del fondo del cielo expresado en magnitudes por arco segundo al cuadrado ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$).
- Elaborar cartografías que ilustren la contaminación lumínica y valor ecológico en las distintas zonas del Anillo verde.
- Identificar los focos más contaminantes y las zonas más afectadas.
- Proponer alternativas que reduzcan la contaminación lumínica y mejoren la eficiencia energética.

4.- METODOLOGÍA

A continuación, se expone el procedimiento y los programas informáticos que se van a utilizar:

Procedimiento:

- Valoración ambiental de las distintas partes que componen el Anillo verde de Vitoria-Gasteiz en función de su diversidad, figuras especiales de protección, superficie, funciones ecológicas, paisaje, grado de conservación y servicios ambientales.
- Elaboración de cartografías que representen el valor ambiental de las distintas zonas del Anillo verde. Para esto se va a valorar el número de especies que hay en las distintas zonas, las figuras de especial protección como el convenio Ramsar o la ZEC del Zadorra que se han establecido en distintas zonas y los servicios ambientales que proporcionan los elementos naturales de las distintas zonas.
- Realización de un inventario fotográfico de las luminarias que están adyacentes al Anillo verde.
- Toma de datos de contaminación lumínica en las zonas representativas que componen el Anillo verde, empleando un fotómetro específico tipo SQM (*Sky Quality Meter*) que mide brillo del fondo del cielo expresado en la unidad astronómica $\text{mag}/\text{arcsec}^2$.
- Elaboración de cartografías sobre la contaminación lumínica en el Anillo verde.
- Identificación de los puntos negros (más contaminados y problemáticos) a partir del solapamiento de la cartografía que determina el valor ambiental con la cartografía que representa el grado de contaminación lumínica en los distintos puntos.

Programas informáticos:

- R-Commander para el tratamiento de los datos.
- ArcGIS para elaborar las cartografías.

5.- EXPOSICIÓN ECOLÓGICA DEL ANILLO VERDE

5.1 DESCRIPCIÓN

El Anillo verde de Vitoria-Gasteiz es un conjunto de espacios verdes de alto valor ecológico y paisajístico que están unidos mediante corredores eco-recreativos. Estos espacios son el resultado de un ambicioso proyecto que tiene su origen en la década de los 90 y que tiene como objetivo principal restaurar y recuperar la periferia de Vitoria-Gasteiz, tanto desde el punto de vista ambiental como social, para crear una gran área de uso recreativo entorno a la ciudad. El Anillo verde está compuesto por una gran diversidad de espacios ecológicos que proporcionan una gran riqueza ambiental. Estos espacios constituidos por bosques, riberas, humedales, praderas, ríos y setos son los principales elementos que dan forma al Anillo verde. Algunos de estos espacios han sido reconocidos internacionalmente por su alto valor ecológico, como los humedales de Salburua que fueron declarados en 2002 humedales de importancia internacional por el convenio Ramsar. Otras zonas de Salburua y del río Zadorra fueron declaradas Zonas de Especial Conservación (ZEC) dentro de la red natura 2000.

5.2 SUPERFICIE

El Anillo verde actualmente tiene una superficie de 833 ha y un perímetro de más de 30 km de longitud.

5.3 DETERMINACIÓN DE ZONAS

El Anillo verde es el conjunto de parques que rodean la ciudad de Vitoria-Gasteiz. Para la realización de este trabajo se han elegido los parques principales por su valor ecológico y por ser las mayores zonas recreativas de la ciudad. Por ello se ha dividido el Anillo verde en las siguientes zonas (Figura 2): Bosque de Armentia, Humedal de Salburua, Bosque de Zabalgana, Ribera del Zadorra y Parque de Olarizu.

5.3.1 Bosque de Armentia

El bosque de Armentia es la parte más elevada del Anillo verde se encuentra en el sur de la ciudad y es un espacio de transición entre la ciudad y los montes de Vitoria-Gasteiz que son la principal cadena montañosa del municipio. El bosque de Armentia es un espacio con ambientes muy diversos. Tiene zonas con densidades de vegetación muy

altas donde predominan las masas de quejigos que son acompañados por majuelos (*Crataegus laevigata*) y endrinos (*Prunus spinosa*). En otras zonas más elevadas y cercanas a los montes de Vitoria-Gasteiz podemos encontrar hayas (*Fagus sylvatica*) acompañados de acebos (*Ilex aquifolium*) y serbales (*Sorbus aucuparia*), por otra parte, en los múltiples arroyos que atraviesan el bosque podemos encontrar avellanos (*Corylus avellana*), arces (*Acer campestre*) y fresnos (*Fraxinus excelsior*). La principal función de este bosque es como espacio de transición ecológica entre las áreas verdes urbanas y periurbanas y los montes de Vitoria.

5.3.2 Humedal de Salburua

El Humedal de Salburua es un complejo de humedales, formado por dos lagunas principales que se extienden al este de la ciudad de Vitoria-Gasteiz. Surgieron por el afloramiento del denominado “Acuífero Cuaternario”, una enorme bolsa de agua subterránea que se extiende por gran parte del subsuelo de la llanada alavesa. Es uno de los humedales más importantes de Europa y el espacio natural más significativo dentro del Anillo verde. Uno de los elementos que da mucho valor ecológico a este espacio es que dentro de su flora cuenta con una población de espadilla (*Carex riparia*) muy bien conservada. Además, cuenta con el convenio RAMSAR por lo que es un humedal de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas.

5.3.3 Bosque de Zabalgana

El Bosque de Zabalgana está ubicado en la parte oeste de la ciudad. En los años 90 esta zona fue una antigua gravera que fue restaurada y remodelada para formar el actual espacio que tiene un gran valor paisajístico y ecológico. Es un bosque natural de quejigo (*Quercus faginea*) y representa el típico bosque-isla, ya que debido al crecimiento urbano ha quedado aislado, al encontrarse rodeado por la ciudad, por una zona industrial y por campos agrícolas. El Bosque de Zabalgana está rodeado, pero en sus extremos el bosque de Armentia y la ribera del Zadorra le dan continuidad, formando un corredor ecológico entre ambos.

5.3.4 Ribera del Zadorra

La Ribera del Zadorra se sitúa al norte de la ciudad y es el espacio del Anillo verde que mayor perímetro abarca. Es una frontera natural al norte de la ciudad que separa el

suelo urbano del agrícola. La Ribera del Zadorra comunica las zonas verdes de los alrededores del humedal de Salburua con el Bosque de Zabalzana. Tiene una gran importancia como corredor ecológico y como infraestructura verde. Además, esta zona cuenta con figuras de protección ya que el río Zadorra fue declarado Zona de Especial Conservación (ZEC) dentro de la red natura 2000.

5.3.5 Parque de Olarizu

El Parque de Olarizu está situado al sur de la ciudad entre el Bosque de Armentia y el Humedal de Salburua. Esta zona cuenta con un jardín botánico de más de 120 ha, el jardín acoge distintas colecciones de plantas, entre las que destaca una representación de los principales bosques de Europa, albergando más de un millar de especies diferentes.

A continuación, se muestra una ortofoto con los espacios del Anillo verde que se han descrito anteriormente y que se van a utilizar para realizar este estudio:

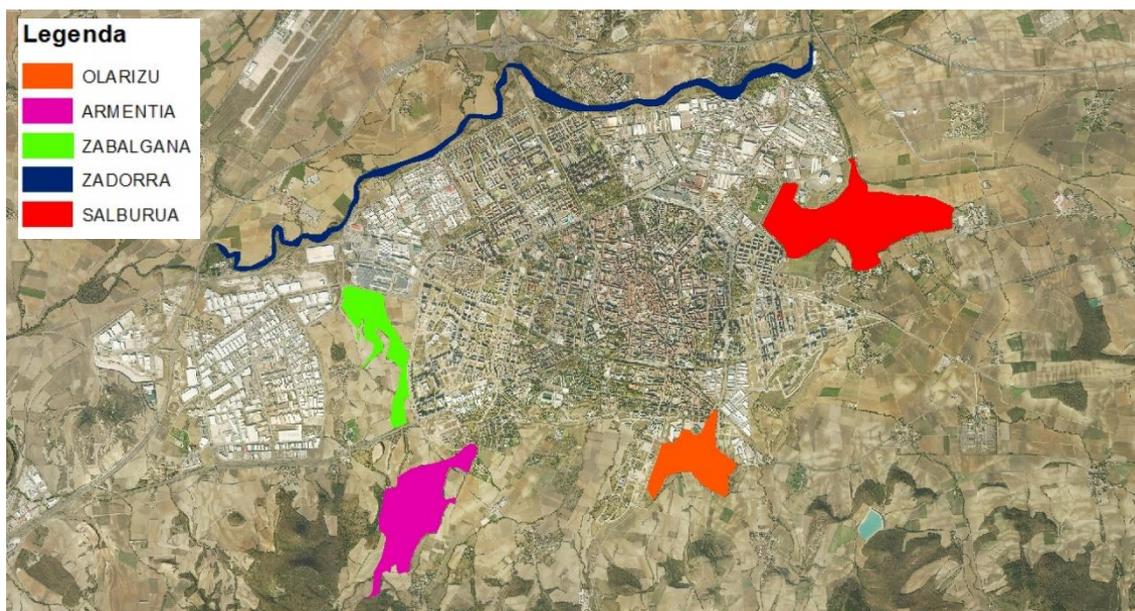


Figura 2: Zonas de estudio dentro del Anillo verde. Fuente: Elaboración propia.

5.4 FIGURAS DE PROTECCIÓN

El Anillo verde de Vitoria-Gasteiz alberga espacios de elevado interés naturalístico, algunos de los cuales están catalogados. Entre los espacios en los que se va a estudiar la contaminación lumínica se encuentran:

- Los humedales de Salburua (ZEC-ZEPA de Salburua ES2110014 y humedal incluido en la Lista del Convenio RAMSAR).
- Río Zadorra (ZEC ES2110010).

5.4.1 Los Humedales de importancia internacional RAMSAR

La Convención sobre los humedales es un tratado intergubernamental, aprobado el 2 de febrero de 1971 en la ciudad iraní de Ramsar y que entró en vigor el año 1975. En un primer momento la Convención Ramsar se centró en la conservación de los humedales "como hábitat de aves acuáticas" pero, se ha ido ampliando su alcance a fin de abarcar todos los aspectos de conservación y uso racional de los humedales, reconociendo que estos ecosistemas son extremadamente importantes para la conservación global de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades humanas.

Salburua es una zona húmeda formada por varias lagunas, Arcaute y Betoño son las principales, junto con espacios empedradizados y un pequeño robledal. El humedal de Salburua fue desecado siglos atrás para transformar la zona en campos de cultivo, pero los trabajos de recuperación iniciados en 1994 han revertido esta situación y en la actualidad Salburua es uno de los humedales continentales más valiosos del País Vasco.

El humedal de Salburua (Figura 3) representa un enclave refugio de numerosas especies animales, es una importante representación de avifauna protegida, que lo convierten en un espacio de alto valor ecológico y ambiental, relevante para la conservación de la biodiversidad. Debido a la importancia ecológica del humedal de Salburua, fue incluido entre los humedales de Importancia Internacional del Convenio Ramsar en el año 2002.

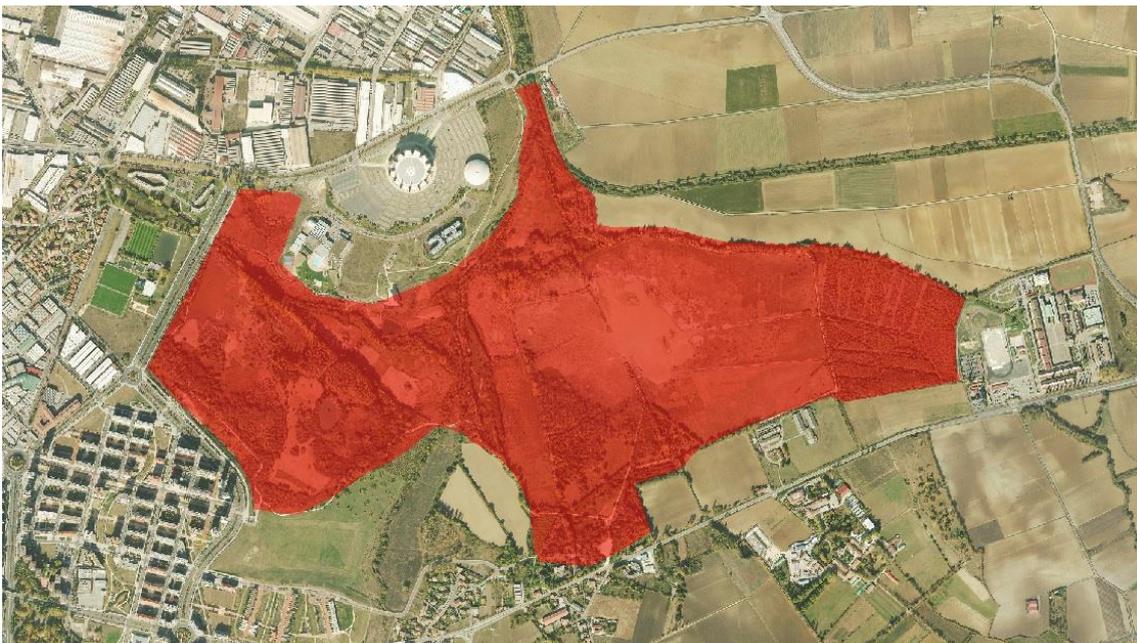




Figura 3: Humedal de Salburua. Fuente: Elaboración propia.

El espacio Salburua pertenece a la región biogeográfica atlántica; en la ZEC/ZEPA han sido descritos diferentes hábitats y especies de los anexos I, II y IV de la Directiva 92/43/CEE. Se ha descrito la presencia de al menos 9 hábitats de interés comunitario, uno de ellos prioritario, así como especies presentes en los catálogos autonómicos o regionales, y una larga lista de especies de aves incluidas en el anexo I de la Directiva 2009/147/CE. Todo ello motivó su inclusión en la Red ecológica europea Natura 2000 como lugar de Importancia Comunitaria (LIC) en el año 2003.

Además de la avifauna, destaca la presencia del visón europeo (*Mustela lutreola*), la rana ágil (*Rana dalmatina*) o el galápago leproso (*Mauremys leprosa*), y constituye un área de especial interés para la conservación de los odonatos y otros invertebrados en el País Vasco. Este espacio es muy relevante como escala y zona de alimentación para las aves acuáticas de Europa en su ruta migratoria occidental y, en particular, juega un papel muy importante para la migración postnupcial del carricerín cejudo (*Acrocephalus paludicola*), el único passeriforme europeo clasificado como globalmente amenazado. Las formaciones de espadilla (*Carex riparia*) están consideradas como las mejor conservadas de la Península Ibérica. Entre los hábitats más representativos de este espacio se encuentran las aguas oligomesotróficas calcáreas con vegetación béntica, así como los juncales y prados húmedos mediterráneos y las turberas bajas alcalinas. Las saucedas tienen también una importante representación en Salburua.

5.4.2 Espacios RED NATURA 2000

Humedales de Salburua

Acuerdo 583/2015, del Consejo de diputados de 13 de octubre, que incorpora el documento de “Directrices y Medidas de Gestión” para la conservación favorable y para evitar el deterioro de hábitats y alteraciones sobre las especies de la Zona Especial de Conservación (ZEC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) de Salburua, y aprueba su publicación como anexo al Decreto 121/2015, de 30 de junio, por el que se

designa Zona Especial de Conservación y Zona de Especial Protección para las Aves del humedal de Salburua, con sus medidas de conservación.

Asimismo, resulta de aplicación el Decreto 34/2015, de 17 de marzo, por el que se aprueban las normas generales para las Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) vinculadas al medio hídrico.

Con una superficie de 217,5 ha, se sitúa en el límite oriental del núcleo urbano de Vitoria-Gasteiz y se encuentra también incluido, aunque con límites ligeramente distintos, en la Lista Ramsar de Humedales de importancia Internacional. El área periférica de protección abarca el acuífero cuaternario y los cauces de los tributarios, como el río Alegría y varios arroyos que mantienen la conectividad ecológica.

Se trata de una zona húmeda que fue profundamente transformada para su aprovechamiento agrícola desde el siglo XIX. Desde 1994 el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz ha ido acometiendo su recuperación ambiental, mediante la reinundación de sus lagunas de alimentación freática principalmente. Desde entonces, se ha producido un aumento significativo de sus valores naturalísticos, con el aumento de la riqueza y diversidad de las comunidades biológicas propias de este tipo de ecosistemas. En especial, la flora acuática y perilagunar, distintos tipos de anfibios, diversos invertebrados de interés y especialmente las aves acuáticas han ido colonizando estos espacios. Su situación en plena ruta migratoria de las aves de Europa occidental proporciona un lugar de invernada y reproducción que ha facilitado la mejora naturalística de este espacio.

Ribera del río Zadorra

La ribera del río Zadorra es un espacio natural con alto valor ecológico y forma parte de la red Natura 2000. En este espacio la conservación de la naturaleza, los beneficios para los ciudadanos y la economía en general son los aspectos que más relevancia tienen a la hora de gestionar este espacio. La ribera del Zadorra presta servicios ambientales como el almacenamiento de carbono, el mantenimiento de la calidad de agua y la protección frente a inundaciones.

Este lugar conserva enclaves de gran valor e interés faunístico y florístico, encontrándose hábitats de interés comunitario característicos como los bosques de ribera, entre las que destacan las alisedas y fresnedas, así como otros hábitats acuáticos.

Mantiene una comunidad piscícola de interés, como la bermejuela (*Achondrostoma arcasi*), la madrilla (*Parachondrostoma miegi*), el fraile o el blenio de río (*Salaria fluviatilis*) e invertebrados dulceacuícolas. Destaca particularmente la presencia de dos mamíferos

semiacuáticos como son el visón europeo (*Mustela lutreola*) y la nutria (*Lutra lutra*), ambas "en peligro de extinción" en el catálogo vasco de especies amenazadas.

También aparecen diversas especies de aves ligadas al medio fluvial, como Martín pescador (*Alcedo atthis*), mirlo acuático (*Cinclus cinclus*) y avión zapador (*Riparia riparia*), entre otras. En relación con varias de estas especies, diversos tramos del río están afectados por los correspondientes planes de gestión específicos.

5.5 SERVICIOS AMBIENTALES

Los espacios que componen el Anillo verde de Vitoria-Gasteiz proporcionan servicios ambientales imprescindibles para sustentar la calidad de vida y el bienestar del conjunto de la sociedad. Los ecosistemas que componen el Anillo verde producen bienes ambientales como la producción de alimento y de materia prima. Los ecosistemas como el bosque de Armentia o la ribera del Zadorra son importantes para mejorar la calidad de las aguas, para purificar el aire y dar protección frente a fenómenos climáticos adversos como sequías o inundaciones. Por otra parte, estos ecosistemas también sirven de refugio a muchas especies, incrementando la biodiversidad, la polinización y facilitando enclaves donde la flora y la fauna que caracterizan el territorio pueda conservarse. Por último, cabe destacar que en estos espacios se realizan actividades culturales, paisajísticas y recreativas que también contribuyen al bienestar social.

5.6 DIVERSIDAD DE ESPECIES

En este apartado se va a describir la flora que está presente en el Anillo verde. Debido a la gran diversidad con la que cuentan estos espacios se van a describir las especies más abundantes y representativas para así poder obtener una perspectiva global del entorno en el que se va a estudiar la contaminación lumínica y poder valorar los efectos adversos de la contaminación lumínica en relación con el valor ecológico de las distintas zonas.

5.6.1 FLORA

Falso junco (*Schoenoplectus lacustris*)

Es una especie que pertenece a la familia *Cyperaceae* (figura 4). Es una planta perenne que puede alcanzar los 2 metros de altura. Tiene un fuerte rizoma que va produciendo tallos hasta invadir completamente las masas de agua. Es una especie presente en los bordes del humedal de Salburua entre el bosque y el agua, en terrenos inundables.



Figura 4: Falso junco (*Schoenoplectus lacustris*).

Molinia azul (*Molinia caerulea*)



Figura 5: Molina Azul (*Molinia caerulea*).

Es una especie perenne que pertenece a la familia de las *Poaceae*. Es una herbácea de tallos delgados, largos, erectos y rígidos de entre 15 y 150 centímetros de altura (Figura 5). Presenta una inflorescencia simple racemosa en forma de espiga. Sus hojas son aplanadas oblongas y lineares de color verde. Es una especie que resiste bien las bajas temperaturas y al igual que el falso junco la podemos encontrar en los bordes del humedal de Salburua.

Junco (*Juncus inflexus*)

Es una especie de la familia *Juncaceae*. Presenta tallos glaucos con la médula discontinua, erectos y rígidos de 20 a 90 cm de altura (Figura 6). Es una planta cespitosa con hojas reducidas a vainas. Tiene una inflorescencia por lo general con más de 25 flores y las brácteas basales de longitud menor que la mitad del tallo. Es una especie de ambientes húmedos diversos que habita en el humedal de Salburua.



Figura 6: Junco (*Juncus inflexus*).

Junco (*Juncus subnodulosus*)



Figura 7: *Junco* (*Juncus subnodulosus*).

Es una especie perenne de la familia *Juncaceae*. Presenta tallos erectos y rígidos de unos 100 cm de altura y de 2 a 3 milímetros de diámetro que renueva cada primavera (Figura 7). Es una planta vivaz con hojas caulinares diferentes al tallo. Tiene inflorescencias reunidas en glómérulos sin bractéolas involucrales con 5 a 18 flores pequeñas, apretujadas y con tépalos de color marrón claro. Especie de ambientes húmedos diversos que habita en el humedal de Salburua.

Junco pelotero (*Sparganium erectum*)

Esta especie monoica pertenece a la familia *Sparganiaceae*. Es una planta de en torno a los 50 y 150 centímetros de altura de tallos robustos (Figura 8). Es una especie que florece entre mayo y noviembre. Las flores se reúnen en una inflorescencia ramificada y que presentan numerosos capítulos esféricos. En el humedal de Salburua se puede encontrar en los terrenos que están inundados permanentemente.



Figura 8: *Junco pelotero* (*Sparganium erectum*).

Carrizo (*Phragmites australis*)



Figura 9: *Carrizo* (*Phragmites australis*).

Especie perteneciente a las *Poaceae*. Es una planta vivaz, rizomatosa, que puede superar los 2 metros de altura (Figura 9). Esta planta domina de forma sofocante a las demás plantas del humedal de Salburua. Presenta raquis y lemas con largos pelos sedosos que sobresalen de las espiguillas. Es una especie que forma densas masas en el humedal de Salburua. Esta especie es muy importante en el humedal de Salburua por que los densos carrizales que se forman en pequeñas cubetas son utilizados por las aves acuáticas para nidificar.

Espadilla (*Carex riparia*)



Figura 10: Espadilla (*Carex riparia*).

Esta especie está dentro de la familia *Cypreaceae*. Es una planta herbácea laxamente cespitosa. Tiene una inflorescencia con espigas superiores masculinas anchamente cilíndricas y fusiformes (Figura 10). Las glumas femeninas de ordinario más largas que los utrículos, a menudo con arista o mucrón largo. Las espadillas forman masas vegetales que requieren unas condiciones ecológicas intermedias entre los prados-juncales y los carrizales ya que el suelo debe mantenerse encharcado hasta bien entrado el verano. Es una comunidad de notable singularidad en el paisaje de la llanada alavesa, y en Salburua están las poblaciones mejor conservadas de la Península Ibérica.

Arroyuella (*Lythrum salicaria*)

Es una especie perenne perteneciente a la familia *Lythraceae*. Es una planta densamente pubescente por lo general. Presenta hojas de 2 a 9 centímetros opuestas y verticiladas (Figura 11). La inflorescencia es espiciforme terminal, con grupos de flores numerosas en las axilas de las brácteas. Las flores son de color rojo púrpureo de 10 a 15 mm de diámetro y muy escondidas en las axilas de las brácteas. Es una planta frecuente entre el nivel del mar y los 900 metros. En el humedal de Salburua habita en los terrenos húmedos o encharcados.



Figura 11: Arroyuella (*Lythrum salicaria*).

Malva blanca (*Althaea officinalis*)



Figura 12: Malva blanca (*Althaea officinalis*).

Es una especie perteneciente a la familia *Malvaceae*. Es una planta que sus tallos pueden alcanzar 150 centímetros y presenta unas flores de color blanco (Figura 12). Las hojas son pubescentes y con el borde serrado. En el humedal de Salburua esta especie está situada en terrenos muy húmedos que incluso pueden permanecer inundados en invierno y primavera. Esta especie es de elevado interés botánico ya que las comunidades dominadas por el malvavisco son una rareza en el País Vasco.

Menta acuática (*Mentha aquatica*)

Es una especie perteneciente a la familia *Lamiaceae*. Puede alcanzar el metro de altura y presenta unas hojas entre ovadas-lanceoladas (Figura 13). Es una especie que tiene un característico olor a menta y florece de julio a septiembre. La inflorescencia está formada por un glomérulo terminal. Se encuentra en las orillas del humedal de Salburua por ser un terreno muy húmedo y encharcado ocasionalmente.



Figura 13: Menta acuática (*Mentha aquatica*).

Lirio amarillo (*Iris pseudacorus*)



Figura 14: Lirio amarillo (*Iris pseudacorus*).

Es una especie perteneciente a la familia *Iridaceae*. Los tallos son subcilíndricos y pueden medir en torno a 100 centímetros (Figura 14). Las hojas desaparecen en invierno y tienen unos nervios centrales muy marcados. Esta especie presenta unas flores amarillas, con pedicelos de longitud similar a la del ovario. Sobre todo, la podemos encontrar en las zonas más húmedas del humedal de Salburua cerca de sus orillas y en los terrenos encharcados.

Salguero negro (*Salix caprea*)

Es una especie que pertenece a la familia *Salicácea*. Es un arbusto o pequeño árbol de hoja caduca y de 6 a 12 metros de altura (Figura 15). Presenta hojas ovaladas, con base redondeada y ápice aguado y curvado, nervios prominentes, haz glauco y envés tormentoso. Esta especie florece de enero a mayo. Las flores están dispuestas en amentos masculinos aovados y sésiles, los órganos femeninos son cilíndricos y



Figura 15: Salguero negro (*Salix caprea*).

pedunculados, ambos tormentosos. Esta especie cubre los márgenes de los ríos y arroyos que circulan por Salburua. Su papel es proteger las riberas al reducir la erosión que se produce en las orillas. Además, esta especie ofrece sombra y reduce la contaminación lumínica que llega al humedal. También contribuye a la depuración de las aguas.

Sauce blanco (*Salix alba*)



Figura 16: Sauce blanco (*Salix alba*).

Es una especie caducifolia que pertenece a la familia *Salicácea*. Es un árbol de hoja caduca de hasta 25 metros de altura. Sus hojas son aserradas de color gris plateado (Figura 16). Las flores están dispuestas en amentos cilíndricos. Esta especie cubre los márgenes de los ríos y arroyos que circulan por Salburua. Su papel es el

de proteger las riberas al reducir la erosión que se produce en las orillas. Además, esta especie ofrece sombra y reduce la contaminación lumínica que llega al humedal. También contribuye a la depuración de las aguas.

Sargatillo (*Salix purpurea*)

Es una especie que pertenece a las *Salicáceas*. Es un árbol que puede alcanzar los 6 metros de altura (Figura 17), aunque generalmente tiene un porte arbustivo. Sus hojas son opuestas, caducas y linear-lanceoladas. Las flores aparecen en amentos alargados. Aparece en los márgenes de los arroyos que atraviesan Salburua. Además, como otros sauces ayuda a fijar los márgenes de las masas de agua.



Figura 17: Sargatillo (*Salix purpurea*).

Roble pedunculado (*Quercus robur*)



Figura 18: Roble pedunculado (*Quercus robur*).

Es una especie perteneciente a las *Fagáceas*. Es un árbol robusto que su porte puede superar los 30 metros de altura. Las hojas son completamente glabras con un limbo foliar de contorno obovado y auriculado en la base. Los frutos están más o menos distantes entre sí colgando de un largo pedúnculo (Figura 18). En Salburua se sitúa en los terrenos más húmedos y profundos y juega un papel muy importante para la supervivencia de muchas especies.

Arce campestre (*Arce campestre*)

Esta especie pertenece a la familia *Aceráceas*. Tiene un porte arbóreo de unos 7 a 10 metros. El color de la corteza es grisáceo con escamas y fisuras que van apareciendo con los años. Presenta lóbulos de las hojas triangulares en su extremo distal, con 0 a 3 dientes en cada lóbulo (Figura 19). Las disámaras tiene alas muy divergentes, prácticamente opuestas. Las inflorescencias son corimbosas y erectas. Es una de las especies más representativas del estrato arbóreo de Salburua junto con fresnos y robles.



Figura 19: Arce campestre (*Arce campestre*).

Majuelo navarro (*Crataegus laevigata*)

El majuelo navarro es una especie perteneciente a las *Rosáceas*. Es un arbusto espinoso que raramente supera los 8 metros de altura. Las hojas tienen 1 ó 2 pares de lóbulos serrulados y estipulas desigualmente inciso-aserradas (Figura 20). Las flores tienen de 2 a 3 estilos y los frutos de 2 a 3 pirenos. Aparece en la parte más interna del bosque de Salburua.



Figura 20: Majuelo navarro (*Crataegus laevigata*).

Espino albar (*Crataegus monogyna*)



Figura 21: Espino albar (*Crataegus monogyna*).

Aparece en distintas zonas del Anillo verde.

El Espino albar es una especie perteneciente a las *Rosáceas*. Tiene un porte arbustivo que raramente supera los 8 metros de altura. Las hojas tienen 1-2 ó 3 pares de lóbulos enteros o con unos pocos dientes agudos (Figura 21). Tiene una inflorescencia con cima corimbiforme. Las flores tienen 1 estilo y los frutos 1

Endrino (*Prunus spinosa*)

Es un arbusto caducifolio perteneciente a la familia de las *Rosáceas*. Es una especie muy espinosa que no suele sobrepasar los 4 metros de altura. Las hojas son pecioladas, están dispuestas de forma alterna y tienen forma oval. Las flores presentan una corola de color blanco con 5 pétalos. Presenta unos frutos de color azul oscuro casi negro (Figura 22). En el Anillo verde se puede encontrar en espacios abiertos.



Figura 22: Endrino (*Prunus spinosa*).

Zarzamora (*Rubus ulmifolius*)



Figura 23: Zarzamora (*Rubus ulmifolius*).

En las zonas más húmedas.

La zarzamora es una especie de la familia de las *Rosáceas*. Es una especie arbustiva que raramente supera los 3 metros de altura. Tiene hojas imparipinadas la mayoría compuestas por 5 folíolos. Las flores son de color blanco y nacen en racimos dando lugar a una inflorescencia con forma piramidal. El fruto consiste en muchas drupas unidas entre sí formando una polidrupa (Figura 23). En el Anillo verde se puede encontrar en las

Cornejo (*Cornus sanguinea*)

Esta especie pertenece a la familia de las *Cornáceas*. Tiene un porte arbustivo que no suele sobrepasar los 5 metros de altura. Presenta hojas simples pecioladas dispuestas de forma opuesta. Una de las características que la diferencia es la nerviación de su hoja, que es pinnada y con los nervios secundarios muy marcados (Figura 24). Esta especie tiene inflorescencias en cimas corimbiformes. Sobre todo, aparece en suelos frescos y encharcados de la ribera del Zadorra o el humedal de Salburua.



Figura 24: Cornejo (*Cornus sanguinea*).

Bola de nieve (*Viburnum opulus*)



Figura 25: Bola de nieve (*Viburnum opulus*).
Zadorra.

Es una especie que pertenece a la familia de las *Caprifoliáceas*. La bola de nieve es un arbusto que no suele superar los 4 metros de altura. Presenta hojas palmatilobadas. Las inflorescencias presentan las flores externas estériles, más grandes que las internas que son más fértiles (Figura 25). Los frutos son drupas globosas de color rojo vivo en la madurez. Aparece en el robledal de Salburua y en los claros de la ribera del

Bonetero (*Euonymus europaeus*)

Esta especie pertenece a la familia de las *Celastráceas*. Es un árbol con forma arbustiva o arbórea que rara vez supera los 3 metros de altura. Las hojas son caducas y mates de forma ovado-lanceolada a elípticas. El margen de las hojas es crenado-serrulado. Las flores son muy características, siendo cápsulas de caras angulosas y de color rosa (Figura 26). Se puede encontrar en los bosques frescos y húmedos del Anillo verde, pero sobre todo en lindes de fincas y caminos. Esta especie junto con otras especies arbustivas tiene gran



Figura 26: Bonetero (*Euonymus europaeus*).

importancia al funcionar como corredor ecológico entre los bosques y los campos de cultivo.

Álamo blanco (*Populus alba*)



Figura 27: Álamo blanco (*Populus alba*).
Salburua.

El Álamo blanco es una especie que pertenece a la familia de las *Salicáceas*. Es una especie arbórea que tiene un crecimiento muy rápido, pudiendo alcanzar los 30 metros de altura en algunas ocasiones. Presenta unas hojas de haz verde-oscuro y envés blanquecino (Figura 27). El fruto en cápsula bivalva, ovoidea y lampiña. Es una especie presente en la ribera del Zadorra y en

Fresno de hoja estrecha (*Fraxinus angustifolia*)

Es una especie perteneciente a las *Oleáceas*. Esta especie caducifolia puede superar los 30 metros de altura. Es un fresno de hojas compuestas, imparipinadas, opuestas, con 5 o más folíolos dentados (Figura 28). Las flores no tienen corola y están reunidas en panículas axilares que aparecen antes que las hojas. El fruto aparece en sámara con el cuerpo aplastado. Esta especie forma parte del bosque ribereño del Zadorra y del bosque de Salburua.



Figura 28: Fresno de hoja estrecha (*Fraxinus angustifolia*).

5.6.2 FAUNA

En los espacios que componen el Anillo verde hay una gran diversidad de especies de fauna. Concretamente en estos espacios y en sus entornos podemos encontrar 70 especies de aves, 40 especies de aves migratorias, 40 de mamíferos, 12 de reptiles, 9 de anfibios, 5 de peces y una gran variedad de especies invertebradas. Debido al gran número de especies con las que cuenta el Anillo verde en este apartado se van a mencionar y describir las especies más abundantes y representativas y las que más afectadas se pueden ver por la contaminación lumínica como las aves y los insectos. (Horts, P. 1999).

Aves

Dentro de las aves para exponer las distintas especies que están presentes en las distintas zonas del Anillo verde, vamos a separar las aves residentes que pasan todo el año en alguna de las zonas que componen el Anillo verde y por otro lado las aves migratorias que solo pasan una parte del año en alguna de las zonas del Anillo verde.

Aves residentes

Las aves residentes o sedentarias son aquellas que no realizan migraciones y por tanto realizan sus procesos biológicos en la misma área. A continuación, se exponen las principales aves residentes que están presentes en el Anillo verde y que pueden verse afectadas por la contaminación lumínica.

Focha común (*Fulica cristata*)

La focha es un ave acuática que se le reconoce por el escudete frontal blanco que contrasta con su plumaje negro (Figura 29). Esta ave mide entre 32 y 42 cm de longitud y pesa entre 500 y 1000 gramos. Es una especie agresiva y territorial que no teme a ninguna otra especie. Cabe destacar que esta especie suele mantener constantes luchas con individuos de su misma especie durante la época de cría, pero fuera de esta época vive en comunidad. Dentro del Anillo verde las poblaciones de esta especie más abundantes se encuentran en el humedal de Salburua, pero también la podemos encontrar a lo largo del río Zadorra.



Figura 29: Focha común (*Fulica cristata*).

Somormujo lavanco (*Podiceps cristatus*)



Figura 30: Somormujo lavanco (*Podiceps cristatus*).

Esta ave acuática ocupa una amplia variedad de zonas húmedas. Se trata de un ave con un cuello estilizado y un pico muy largo (Figura 30). Cabe destacar que esta especie tiene un plumaje distinto a lo largo del año siendo más vistoso el de verano que el del invierno. Además, a diferencia de otras aves no existe dimorfismo sexual. El somormujo es un ave muy asustadiza y esquiva que permanece casi siempre al descubierto y lejos de la vegetación acuática. Entre junio y julio se puede observar en ocasiones como un adulto nada con pollo sobre su espalda.

Rascón europeo (*Rallus aquaticus*)

El rascón europeo es un ave tímida que vive en humedales densamente poblados de espadañas y carrizos, por lo que suele ser más frecuente oírlo que verlo. Esta ave tiene actividad nocturna por lo que sobre todo se suele oír durante la noche entre febrero y abril. Se trata de un ave parcialmente omnívora, que se alimenta básicamente de invertebrados. Se puede identificar por su largo pico de color rojo intenso (Figura 31). Dentro del Anillo verde la podemos encontrar en el humedal de Salburua ya que esta especie tiene preferencia por las aguas dulces estancadas.



Figura 31: Rascón europeo (*Rallus aquaticus*).

Curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*)



Figura 32: Curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*).

La curruca es una especie de ave paseriforme que delata su presencia por el canto persistente que emite. El capirote o píleo es la marca distintiva que le da nombre, siendo de color negro brillante el del macho y castaño rojizo el de la hembra (Figura 32). Durante marzo y abril miles de ejemplares atraviesan nuestro entorno por lo que esta especie puede

verse en cualquier punto del Anillo verde. Es una especie forestal de ambientes frescos y húmedos. Sus mayores abundancias se encuentran en sotos, robledales y encinares, con buen desarrollo del sotobosque y con presencia de claro forestales.

Martin Pescador (*Alcedo atthis*)

El martín pescador es un ave de pequeño tamaño y aspecto compacto, que se caracteriza por poseer uno de los más vistosos plumajes de nuestra fauna. Se puede identificar al observar un azul metálico brillante que se desplaza a gran velocidad pudiendo alcanzar los 72 km por hora (Figura 33). Su color azul metálico es inconfundible. Es una especie



Figura 33: Martin Pescador (*Alcedo atthis*).

esquiva que no permite que nos acerquemos para observarla. Es difícil verla cuando está posada, pero con un poco de paciencia se puede observar sumergiéndose para pescar algún pececillo. Dentro del Anillo verde la podemos encontrar a lo largo de toda la ribera del Zadorra. El martín pescador es una especie que se incluye en el catálogo nacional de especies amenazadas en la categoría “De interés especial” y aparece en el Libro Rojo de las aves de España como “Casi amenazado”. Por lo que conservar las riberas y reducir la contaminación que se produce en éstas va a contribuir a la conservación de esta especie.

Pito real (*Picus viridis*)



Figura 34: Pito real (*Podiceps cristatus*).

El pito real es el más común y extendido de nuestros pájaros carpinteros. Se caracteriza por su color verde amarillento (Figura 34). Esta especie a la hora de buscar su hábitat no es muy exigente, por lo que ocupa una gran variedad de hábitats, ya sean forestales, semiforestales o, incluso, parcialmente arbolados. No es raro que frecuente parques y jardines, aun en grandes ciudades. Para finales de marzo los machos tienen excavado un espacioso agujero en un viejo árbol que lo defienden de sus rivales abriendo las alas y la cola, a la par que mueven la cabeza de un lado a otro. En el Anillo verde de Vitoria-Gasteiz podemos encontrar esta especie en cualquiera de sus zonas, siendo más frecuente su presencia en los bosques de Armentia o de Zabalgana debido a su densa masa forestal.

Tórtola turca (*Streptopelia decaocta*)

Es un ave de mediano tamaño, similar a la tórtola europea, aunque de tamaño algo mayor. Se caracteriza por sus tonos ante pálidos y su cola alargada con el extremo blanco y la base negra (Figura 35). Es una especie sedentaria que muestra gran fidelidad a ocupar el mismo lugar donde crió el año anterior. A principios de marzo comienza a construir el nido, una plataforma plana de palos y tallo secos, tan ligera que no se comprende cómo puede soportar los huevos sin que caigan a través de las hendiduras. Su área de distribución consiste en zonas abiertas, semiesteparias y con formaciones arbustivas dispersas. Muchas de las poblaciones de esta especie ocupan ambientes urbanos, suburbanos y su entorno. En el Anillo verde la podemos observar en cualquiera de sus áreas, pero el parque de Olarizu tiene mejores condiciones para sustentar a esta especie al contar con espacios abiertos como zonas ajardinadas, cultivos, arboledas y matorral.



Figura 35: *Tortola turca (Streptopelia decaocta)*.

Garza real (*Ardea cinerea*)



Figura 36: *Garza real (Ardea cinerea)*.

La garza real es un ave de gran tamaño de figura estilizada, largo cuello y coloración general grisácea, con un diseño variable según la edad y la época del año (Figura 36). Es un ave fácil de oír y de ver durante todo el año al emitir chillidos con bastante frecuencia, incluso cuando vuela. Descansa con el cuerpo erguido y la cabeza hundida entre los hombros. Si algo le inquieta estira el cuello y permanece en estado de alerta hasta que la situación se normaliza. Cuando pesca mantiene el cuerpo horizontal y el cuello en forma de “S”. Esta especie se puede observar en el humedal de Salburua y a lo largo de toda la ribera del Zadorra.

Arrendajo euroasiático (*Garrulus glandarius*)

El arrendajo es un córvido de mediano tamaño, presenta un plumaje dominado por tonos ocre, con ciertos tintes rosados y grisáceos, los cuales se tornan blanquecinos en la zona anal (Figura 37). Las alas lucen un llamativo diseño, con un panel de plumas de color azul turquesa. Es un ave de hábitos



Figura 37: Arrendajo euroasiático (*Garrulus glandarius*).

netamente forestales, que se alimenta tanto de invertebrados como de frutas y semillas. Tiene la costumbre de enterrar una parte de los frutos que recolecta, con lo que contribuye a la expansión de las masas forestales. Esta especie la podemos localizar en la parte más forestal del Anillo verde, pero sobre todo en las inmediaciones de los bosques de Armentia y de Zabalzana ya que las densas masas de encinas y robles proporcionan un hábitat idóneo para esta especie.

Autillo europeo (*Otus scops*)



Figura 38: Autillo europeo (*Otus scops*).

Esta especie es la más pequeña de las rapaces nocturnas, es un ave discreta y en general reservada, que suele pasar inadvertida gracias al excelente camuflaje que le proporciona su plumaje, aunque es fácil de detectar por su característico canto.

Esta ave se caracteriza por tener un plumaje grisáceo o pardo rojizo, que presenta un complejo diseño de salpicaduras, franjas y vermiculados, en diferentes tonalidades, lo que le permite pasar completamente inadvertida cuando descansa en las ramas de los árboles (Figura 38). De dieta básicamente insectívora, el autillo europeo resulta muy sensible a las transformaciones del hábitat.

Aves migratorias

Las aves migratorias son especies que tienen un área de reproducción durante la primavera y el verano donde crían y otra área para pasar el invierno. Los desplazamientos entre ambas zonas se denomina migración y al trayecto del viaje entre ambas zonas se le

denomina ruta migratoria. Debido a que estas especies necesitan varios hábitats, son muy vulnerables a la pérdida y reducción de estos. A continuación, se van a exponer las aves migratorias más representativas del Anillo verde y que pueden verse afectadas por la contaminación lumínica.

Carricerín cejudo (*Acrocephalus paludicola*)

El carricerín cejudo es uno de los passeriformes más amenazados de todo el continente europeo (Figura 39). Sus principales zonas de cría están situadas en Bielorrusia, Ucrania y Polonia. Esta especie se desplaza a África Occidental, donde busca pasar un invierno más cálido. Durante su viaje a África esta especie utiliza el humedal de Salburua como área de



Figura 39: Carricerín cejudo (*Acrocephalus paludicola*).

descanso y recuperación. Uno de los hábitats poco abundantes que frecuenta esta especie durante su estancia en la Península Ibérica son las zonas húmedas con formación de herbazales encharcados. La gran extensión de carices que se encuentran en la balsa de Betoño, del humedal de Salburua es un espacio que esta especie frecuenta durante sus migraciones. Por tanto, la reducción de la contaminación lumínica en esta zona de Salburua es importante para mejorar las condiciones de hábitat que tiene esta especie cuando frecuenta durante sus migraciones el humedal de Salburua.

Avetoro (*Botaurus stellaris*)

El avetoro es una garza de mediano tamaño y de hábitos nocturnos y crepusculares muy escasa en la Península Ibérica. El hábitat de esta especie está formado por vegetación palustre como el carrizo (*Phragmites australis*) donde pasa desapercibida. Aunque no es una especie habitual en Salburua, algún ejemplar se deja ver u oír durante las épocas de paso migratorio (primavera y otoño) en diferentes puntos del humedal (Figura 40). El avetoro es un ave reservada que le gusta esconderse en cañaverales y en



Figura 40: Avetoro (*Botaurus stellaris*).

zonas de vegetación espesa cerca de los cuerpos de agua. La contaminación lumínica que hay en el humedal de Salburua puede afectar los hábitos nocturnos de esta especie.

Tórtola común (*Streptopelia turtur*)

La tórtola común es una especie migratoria de la familia de las palomas, que se extiende por el centro y sur de Europa para criar (Figura 41). A principios de abril llega a la Península Ibérica procedente de África y con los primeros fríos de septiembre la abandona para regresar al continente africano, donde pasa el invierno. Estas migraciones suele realizarlas en pequeños bandos y de noche, debido a su carácter solitario y territorial. Las poblaciones de tórtola se encuentran en regresión, por el cambio en las prácticas agrícolas y por la caza que se realiza en algunos países. La reducción de la contaminación lumínica es un factor que va a mejorar las condiciones físicas de los ecosistemas que se encuentran en el Anillo verde y por tanto, en el hábitat de esta especie.



Figura 41: Tortola común (*Streptopelia turtur*).

Carricero tordal (*Acrocephalus scirpaceus*)



Figura 42: Carricero tordal (*Acrocephalus scirpaceus*).

El carricero tordal es una especie de ave passeriforme. Es una especie de tonos pardos uniformes. Presenta el dorso marrón rojizo o grisáceo, según la edad y el desgaste de la pluma, y tiene las partes inferiores de tonos pardos amarillentos (Figura 42). Es un ave estival que llega a la laguna durante el mes de abril e inmediatamente se delata por su llamativo canto, más parecido al sonido de un anfibio que al de un ave. Habita en grandes carrizales donde cada macho defiende ruidosamente su territorio de unos cuantos metros encaramado en lo alto de un tallo. En septiembre los carrizales enmudecen con la partida de las aves hacia África.

Cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*)

La cigüeña blanca es un ave inconfundible, de gran tamaño y notable envergadura, que luce un característico plumaje blanco, aunque con las plumas de vuelo de color negro. El pico es largo de color rojo o anaranjado, sucio en los juveniles y prácticamente negro en los pollos (Figura 43). Es una especie zancuda de silueta muy conocida.



Figura 43: Cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*).

Esta especie se puede observar con facilidad en los núcleos urbanos. En el entorno de Salburua son espectaculares las grandes concentraciones que forman entre julio y agosto antes de partir para África. Estos bandos, formados por individuos adultos, jóvenes y por inmaduros nacidos aquí, acogen en algunas ocasiones a ejemplares anillados de origen europeo.

Oropéndola (*Oriolus oriolus*)



Figura 44: Oropéndola (*Oriolus oriolus*).

Es un ave de llamativo color amarillento. El macho exhibe un intenso color amarillo limón en la cabeza. El cuerpo también es de coloración amarilla que contrasta con la coloración negra de las alas (Figura 44). Es una ave arborícola y migradora que vive en los bosques próximos al agua. A partir de abril su presencia se detecta por el incansable silbido aflautado que emite desde las copas de los árboles.

En un mes y medio termina la reproducción y los primeros movimientos migratorios hacia África tiene lugar a finales de julio. En el Anillo verde se puede detectar su presencia en el humedal de Salburua y en las inmediaciones del río Zadorra.

Mamíferos

A continuación, se van a exponer las especies de mamíferos más representativas del Anillo verde.

Visón europeo (*Mustela lutreola*)



Figura 45: Visón europeo (*Mustela lutreola*).

El visón europeo es un mamífero semiacuático de mediano tamaño. Su pelo es marrón oscuro y tiene una mancha blanca alrededor de la boca, tanto en el labio superior como en el inferior, característica que le diferencia de su principal amenaza, el introducido visón americano (Figura 45). Se encuentra incluido en la Lista Roja de la UICN en la categoría de Especie en

Peligro de Extinción, al quedar menos de 500 ejemplares en la Península Ibérica. Los humedales de Salburua albergan unos pocos ejemplares de este mustélido.

Jabalí (*Sus scrofa*)

El jabalí es un mamífero artiodáctilo de la familia de los suidos. Es el ancestro del cerdo doméstico y tiene muchos rasgos en común con él. El cuerpo es rechoncho, el cuello y la cola cortos, la cabeza es grande y el hocico alargado (Figura 46). Está cubierto con un manto de pelos duros, que se tornan más oscuros en invierno. Todo su cuerpo está aplanado verticalmente para desplazarse mejor entre la vegetación. Es una especie de hábitos nocturnos omnívora que se alimenta de bulbos, tubérculos, bellotas, frutos, hongos y carroña.



Figura 46: Jabalí (*Sus scrofa*).

Corzo (*Capreolus capreolus*)



Figura 47: Corzo (*Capreolus capreolus*).

El corzo es un habitante sigiloso y nocturno de los bosques. Es una especie que cada vez frecuenta más hábitats suburbanos. Es pardo rojizo por encima, más gris en invierno, tiene una mancha en la grupa blanca y la cola corta y blanca. Las cuernas del macho son cortas de tres puntas cada una (Figura 47). Los machos se frotan contra los árboles para retirar el terciopelo de sus cuernas dejando marcas en la corteza. Es una especie que ramonea arbustos y árboles bajos en los lindes forestales, plantas cultivadas y bayas en

otoño.

Ciervo (*Cervus elaphus scoticus*)

El ciervo es el único animal introducido en el humedal de Salburua y su justificación responde a la necesidad de controlar y mantener a raya la vegetación del entorno de la balsa de Arcaute. Gracias al pastoreo extensivo de estos animales el control de la cubierta vegetal se realiza por el aprovechamiento “a diente”. Al fin y al cabo, el ciervo es un herbívoro de gran tamaño. Tiene una longitud de en torno a 160 y 250 cm y un peso que a veces alcanza los 200 kg (Figura 48). Las hembras son más pequeñas y menos corpulentas que los machos. Estos últimos desarrollan unas imponentes cuernas para luchar contra otros machos durante la época de apareamiento o berrea.



Figura 48: Ciervo (*Cervus elaphus scoticus*).

Anfibios

A continuación, se van a exponer las especies de anfibios más abundantes en el Anillo verde.

Tritón palmeado (*Lissotriton helveticus*)



Figura 49: Tritón palmeado (*Lissotriton helveticus*).

El tritón palmeado es una especie de anfibio urodelo de unos 10 cm de longitud de la familia *Salamandridae*. Es un tritón de color marrón con los dedos de las patas posteriores palmeados (Figura 49). En época de celo el macho exhibe una cresta en la cola, la cual acaba en un delgado filamento característico. En su fase larvaria tiene costumbres diurnas, sin embargo, de adulto se hace nocturno. Esta especie se puede encontrar en masas de agua con vegetación sumergida como en el humedal de Salburua. En Salburua la introducción del cangrejo rojo constituye su principal amenaza.

Rana ágil (*Rana dalmatina*)

La rana ágil es una especie de anfibio anuro de la familia *Ranidae*. Es una rana de color pardo-rojizo con pequeñas manchas negras y vientre blanco-amarillento. Las patas posteriores son más largas que el resto del cuerpo lo que le permite dar saltos de hasta 2 metros de altura, y la convierte en la más ágil de las ranas europeas (Figura 50). Es una especie amenazada y de hábitos nocturnos. Aunque es preferentemente terrestre, en febrero se acerca al agua de las balsas de Betoño y Arcaute para reproducirse.



Figura 50: Rana ágil (*Rana dalmatina*).

Rana común (*Pelophylax perezi*)



Figura 51: Rana común (*Pelophylax perezi*).

Es el anfibio más popular y fácil de observar que hay en el Anillo verde. La actividad de la rana común es mucho más diurna que el resto de los anfibios. Su aspecto estilizado e hidrodinámico hace que esté perfectamente adaptado para el salto y el buceo. La coloración del cuerpo es muy variable, dominando los tonos de fondo verdoso y pardos (Figura 51). No se enfrenta a graves

problemas de conservación, al ser poco exigente y adaptarse fácilmente a distintos ambientes.

Sapillo pintojo ibérico (*Discoglossus galganoi*)

Anfibio endémico de la Península Ibérica que, debido a su rechoncho aspecto, recuerda más a una rana que a un sapo (Figura 52). Es de hábitos nocturnos y suele permanecer durante el día enterrado en el lodo o debajo de las piedras. Se reproduce entre febrero y abril. Su distribución está en claro retroceso debido a que los requisitos ecológicos tan exigentes que muestra a la hora de reproducirse son cada vez más difíciles de encontrar en unos ambientes acuáticos progresivamente más degradados.



Figura 52: Sapillo pintojo ibérico (*Discoglossus galganoi*).

Peces

A continuación, se van a exponer las especies de peces más representativas del Anillo verde.

Bermejuela (*Achondrostoma arcasii*)



Figura 53: Bermejuela (*Achondrostoma arcasii*).

Es una especie de pequeño tamaño, con una longitud máxima de 10 cm y un peso de 40 g (Figura 53). Vive en los cursos de los ríos con lechos fangosos y vegetación acuática palustre. Su alimentación está basada principalmente en invertebrados acuáticos, aunque en algunos casos se alimentan también de algunas plantas. Estos hábitos de alimentación le hacen ser una especie

más resistente a la estacionalidad que se produce en los ríos.

Loina (*Parachondrostoma miegii*)

La loina es una especie de color pardo que puede alcanzar los 20 cm de longitud (Figura 54). Se alimenta de invertebrados y plantas acuáticas. Esta especie habita en el curso medio de los ríos formando grandes grupos. Su periodo reproductor se sitúa entre los meses de abril y junio.



Figura 54: Loina (*Parachondrostoma miegii*).

Fraile (*Salaria fluviatilis*)



Figura 55: Fraile (*Salaria fluviatilis*).

Es un pez de pequeño tamaño que no suele alcanzar los 9 cm. Las aletas dorsal y anal son largas y recorren la mayor parte del cuerpo (Figura 55). Esta especie puede vivir en aguas quietas y turbias siempre que disponga de piedras donde pueda realizar la puesta. Se alimenta de insectos y crustáceos e incluso alevines de otros peces.

Lamprehuela (*Cobitis calderoni*)

Es una especie de pequeño tamaño que no suele superar los 9 cm de longitud se caracteriza por tener un cuerpo alargado y comprimido lateralmente con un pedúnculo caudal largo y estrecho (Figura 56). Vive en aguas claras con fondo de grava o arena. Normalmente se encuentra en el curso alto y medio de los ríos. Su alimentación está compuesta generalmente por invertebrados y algas unicelulares.



Figura 56: Lamprehuela (*Cobitis calderoni*).

Barbo (*Barbus graellsii*)



Figura 57: Barbo (*Barbus graellsii*).

Es una especie de gran tamaño, que puede alcanzar un máximo de 80 cm de longitud (Figura 57). Esta especie puede colonizar todo tipo de medios, aunque prefiere los tramos medios y bajos de los ríos con vegetación y raíces de árboles donde encuentra refugio. En general se alimenta tanto de algas como de macroinvertebrados.

Trucha común (*Salmo trutta fario*)

Es una especie que no suele superar los 100 cm de longitud y 20 kg de peso. La coloración es variable, normalmente con manchas negras y rojas oceladas, que no están presentes en la aleta caudal y que se extienden por el opérculo (Figura 58). Vive en aguas rápidas y frías y su alimentación está basada fundamentalmente en invertebrados.



Figura 58: Trucha común (*Salmo trutta fario*).

Reptiles

A continuación, se van a exponer las especies de reptiles más representativas del Anillo verde.

Lagartija ibérica (*Podarcis hispanicus*)



Figura 59: Lagartija ibérica (*Podarcis hispanicus*).

Es la lagartija más abundante en Salburua. Es trepadora y de costumbres diurnas. Suele tomar el sol cerca de un refugio, donde se introduce rápidamente a la menor alarma. El aplanamiento de su cuerpo le permite refugiarse fácilmente en los resquicios y grietas de rocas y muros (Figura 59). Es una especie territorial,

siendo frecuentes luchas entre los machos durante la época de celo como mecanismo de defensa de su territorio.

Eslizón tridáctilo (*Chalcides striatus*)



Figura 60: Eslizón tridáctilo (*Chalcides striatus*).

Esta especie es un reptil de aspecto serpentiforme, con cuerpo cilíndrico del que salen cuatro extremidades semiatrofiadas con tres dedos cada una (Figura 60). Habita lugares húmedos como prados y zonas próximas a arroyos. Desarrolla su actividad durante todo el día, permaneciendo inactivo durante el verano y el invierno. Se refugia

bajo piedras y troncos, en oquedades naturales y entre la vegetación espesa, pasando fácilmente inadvertido. Es una especie muy ágil y rápida cuando se desplaza por la superficie. Su alimentación consta de caracoles y de babosas. En el Anillo verde lo podemos encontrar en cualquiera de sus zonas, pero más frecuentemente la podríamos encontrar en la ribera del Zadorra o en el humedal de Salburua que son las zonas más húmedas.

Galápago leproso (*Mauremys leprosa*)

Tortuga acuática que suele tomar el sol cerca del agua, donde se sumerge rápidamente al menor indicio de peligro. Su caparazón es aplanado de coloración pardo-verdosa y, a veces, está cubierto por algas, lo que le confiere un aspecto deteriorado, de ahí la denominación de leproso (Figura 61). Como defensa suele expeler un líquido maloliente.



Figura 61: Galápago leproso (*Mauremys leprosa*).

Invertebrados

La contaminación lumínica es una de las mayores amenazas para los insectos ya que la mitad de las especies de insectos son de hábitos nocturnos y la iluminación artificial durante el horario nocturno afecta negativamente a las condiciones de sus ecosistemas. El efecto negativo de la contaminación lumínica sobre los insectos es debido a que muchos insectos voladores son atraídos por las luces artificiales. Además, una mayor visibilidad durante el horario nocturno facilita su depredación por parte de sus depredadores. En el parque de Salburua hay dos especies de insectos protegidos a escala europea el ciervo volante y la rosalia alpina.

Ciervo volante europeo (*Lucanus cervus*)

El ciervo volante europeo es una especie de coleóptero escarabeiforme perteneciente a la familia *Lucanidae* (Figura 62). Es el escarabajo más grande de Europa. Las larvas de este insecto pasan 5 años alimentándose de madera en descomposición. Los adultos solo viven entre 15 y 30 días. Esta especie está incluida en el anexo III (especie protegida) del Convenio de Berna y en el Anexo II (especies que requieren zonas especiales de protección) de la directiva de hábitats. A nivel nacional se incluye en el catálogo nacional de especies amenazadas.



Figura 62: Ciervo volante europeo (*Lucanus cervus*).

Rosalia alpina (Rosalia Alpina)



Figura 63: *Rosalia alpina* (*Rosalia alpina*).

La *rosalia alpina* es una especie de cerambícido de gran tamaño y coloración característica. Los élitros son planos, de color azul grisáceo, con un patrón variable de manchas negras, incluyendo una prominente en el tórax, una más adelante y otra pequeña más atrás (Figura 63). Su coloración proporciona un buen camuflaje en los fustes de los hayedos, ya que su hábitat característico se encuentra en la corteza

de los árboles. Las larvas se alimentan de la corteza y forman las pupas en el interior al alcanzar los tres años. Este insecto se encuentra protegido por la Unión Europea y su estado de conservación está calificado como vulnerable.

Cáрабо (Carabus arcensis)



Figura 64: *Carabo* (*Carabus arcensis*).

Es un escarabajo de gran talla y de tonos cobrizos en la cabeza y en los élitros (Figura 64). Su alta dependencia de lugares encharcados para vivir le conduce a manifestar ocasionalmente comportamientos subacuáticos. Los adultos son fáciles de ver en primavera y otoño, meses en los que incrementan su actividad a causa de la bonanza térmica y pluviométrica

que se registra en esta época.

Caballito del diablo (Coenagrion mercuriale)

Es una libélula que vuela frecuentemente entre la vegetación baja de las orillas o a poca altura sobre el agua (Figura 65). Viven en aguas corrientes poco caudalosas, con vegetación emergente desarrollada en ambientes soleados. Está amenazada por la degradación general de los



Figura 65: *Caballito del diablo* (*Coenagrion mercuriale*).

medios acuáticos y de sus entornos. Existe un gran desconocimiento sobre su estado de conservación y sobre su distribución actual, así como sobre su biología y requerimientos ecológicos.

Santateresa (*Mantis religiosa*)



Figura 66: Santateresa (*Mantis religiosa*).

Insecto voraz, que consigue capturar a sus presas gracias al mimetismo de su coloración (Figura 66). Las patas anteriores están provistas de fuertes espinas para sujetar a las presas y normalmente suelen mantenerlas recogidas en “actitud orante” ante la cabeza. El apareamiento se produce a finales de verano, y tiene trágicas consecuencias para el macho, ya

que suele ser devorado por la hembra.

Macaón europeobritánico (*Papilio machaon*)

Es una especie de lepidóptero ditrisio de la familia *Papilionidae*. Es una mariposa fácil de identificar y una de las más conocidas de Europa. Tiene entre 32 y 56 mm de envergadura y se caracteriza por las colas que poseen en las alas posteriores (Figura 67). La oruga posee un órgano defensivo bifurcado de color naranja detrás de la cabeza, que proyecta cuando se le molesta, generando además un fuerte olor.



Figura 67: Macaón europeobritánico (*Papilio machaon*).

Mosquito común (*Culex pipiens*)



Figura 68: Mosquito común (*Culex pipiens*).

Es un mosquito de cabeza plumosa y de pequeño tamaño que no se alimenta de sangre como otros insectos (Figura 68). Vive en lugares de agua fresca como lagos, lagunas y ríos. Los adultos emergen del agua al mismo tiempo y en grandes cantidades, formando nubes en las que se aparean. Son los primeros colonizadores de los humedales y son muy resistentes a la contaminación orgánica.

5.7 CARTOGRAFÍAS

Humedal de Salburua

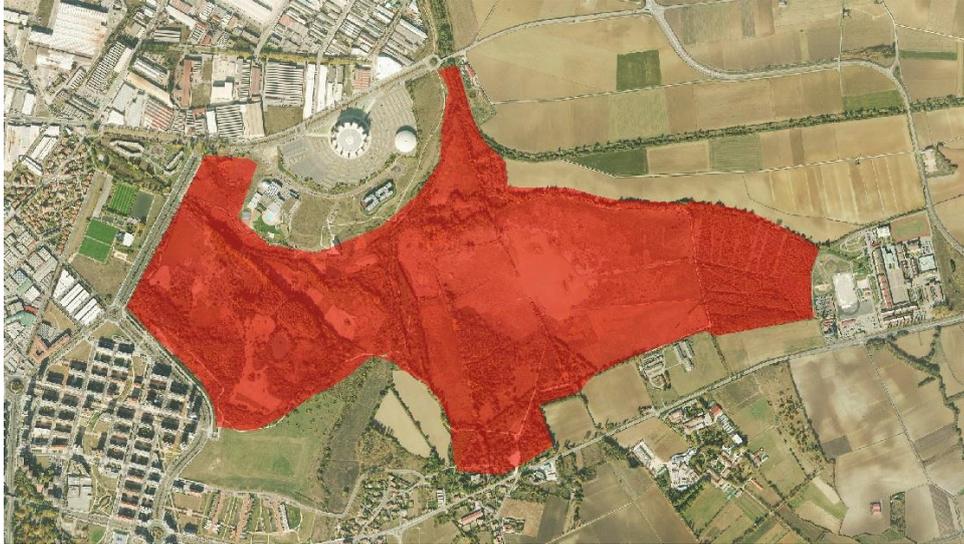


Figura 69: Humedal de Salburua. Fuente: Elaboración propia.

Bosque de Zabalzana



Figura 70: Bosque de Zabalzana. Fuente: Elaboración propia.

Río Zadorra

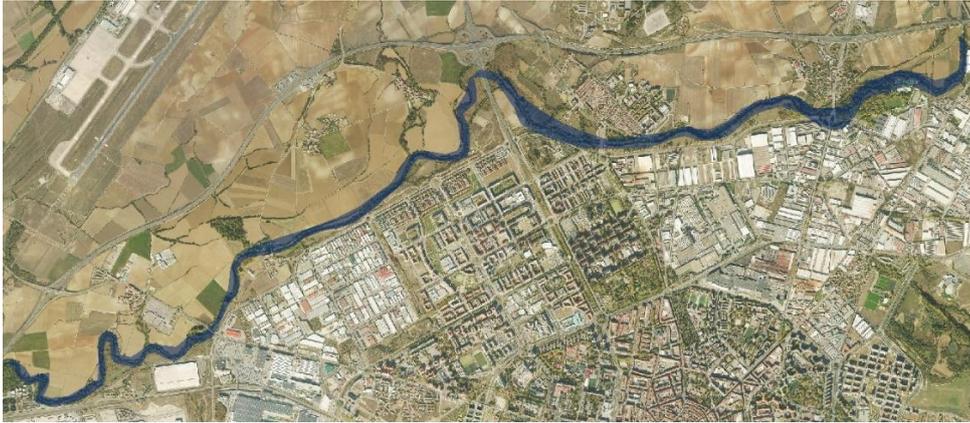


Figura 71: Río Zadorra. Fuente: Elaboración propia.

Parque de Olarizu

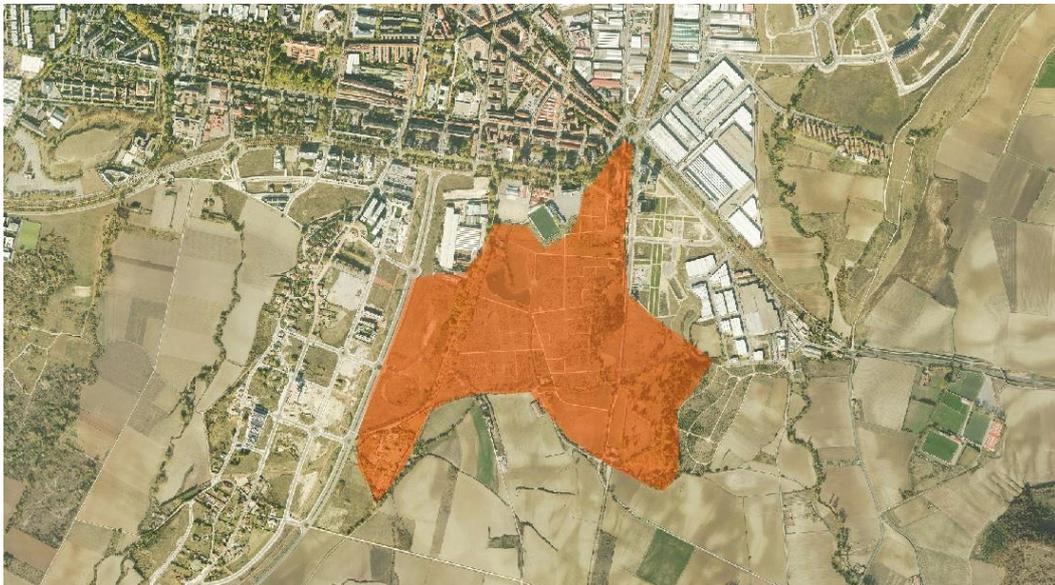


Figura 72: Bosque de Olarizu. Fuente: Elaboración propia.

Bosque de Armentia

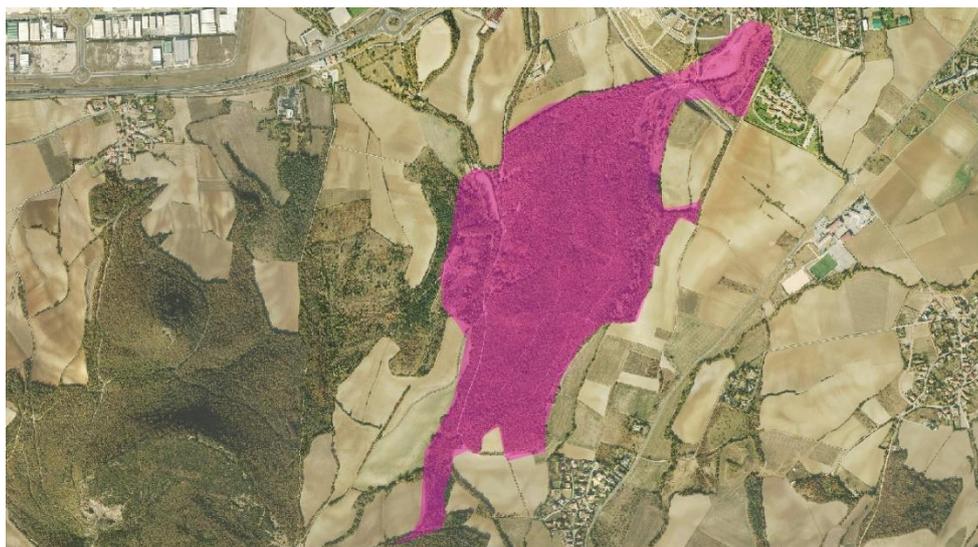


Figura 73: Bosque de Armentia. Fuente: Elaboración propia.

6 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN LAS ZONAS DETERMINADAS

6.1 DESCRIPCIÓN FUENTES DE CONTAMINACIÓN

En este apartado se van a estudiar cuales son las principales fuentes de contaminación que afectan a las diferentes zonas del Anillo verde. La luz artificial está compuesta por distintos tipos de puntos de luz (luminaria y fuente de luz o “bombilla”). Los distintos tipos de bombillas fluorescentes, incandescentes, de vapor de mercurio, de vapor de sodio, LED, entre otras, no emiten con la misma radiancia espectral, tienen longitudes de onda diferentes, y presentan distinta eficacia luminosa. Incluso algunas de ellas tienen espectros que emiten en longitudes de onda que no son apreciables por el ojo humano o consumen hasta cuatro veces más que otras. Las bombillas de vapor de sodio son las que menos contaminación lumínica producen (porque tienen menos emisión en la parte azul del espectro) y menor consumo de energía presentan, en tecnología de descarga. Al contrario, ocurre con la radiación en la zona del visible (azul) que son las más perjudiciales o contaminantes. **Ataz, E. M., & de Mera Morales, Y. D. (2004)**. Esto tiene que ver con radiaciones de longitud de onda en torno a los 460-470 nm que controlan los ritmos circadianos de los seres vivos. Además, el riesgo de daño en la retina es máximo en la zona de la luz azul de 424-491 nm. El “Esparcimiento de Rayleigh” (esparcimiento de luz en la atmosfera) es un fenómeno que es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda, por lo que longitudes de onda más cortas (azul) frente a más largas (rojo) tendrán mayor efecto. **Ibarra-Villalón, H. E. (2017)**. Mientras que la tecnología LED es la que actualmente tiene mayor eficacia luminosa, pero deben considerarse fuentes de luz LED con una temperatura de color (TCC) por debajo de los 2700k, para reducir en la medida de lo posible la emisión de luz azul contaminante al medio. La temperatura de color correlacionada (TTC) es un aspecto muy importante para la instalación de una lámpara para el alumbrado público, ya que dependiendo de la temperatura de color se pueden tener problemas con la visualización del color de los objetos que la lámpara ilumina, esto puede distorsionar colores de señalización y/u ocasionar accidentes viales. Una lámpara LED emite más lúmenes de potencia luminosa a media que su temperatura de color en grados Kelvin (°K) es más alta. A menos grados Kelvin corresponden una “luz cálida”, mientras que a una temperatura mayor la luz que se obtiene es “fría”, con más potencia luminosa en lúmenes. La mejor solución para reducir la contaminación lumínica actualmente es el uso de LED con $TCC \leq 2200k$. A continuación, se muestra una ilustración (Figura 74) para entender la relación entre el tipo de luz y los grados Kelvin (°K).



Figura 74: Relación entre el tipo de luz y los grados Kelvin (°K).

Fuente: Lumínica ambiental.

Además de los distintos tipos de luz, se estudiará como las mismas fuentes de contaminación lumínica que afectan al Anillo verde también afectan al entorno urbano al iluminar fachadas de edificios en zonas residenciales de forma innecesaria y perjudicial para la salud y el bienestar social. Para desarrollar este apartado y obtener la información necesaria nos hemos de desplazar hasta las distintas zonas en horario nocturno y diurno. En primer lugar, se va a fotografiar y documentar la iluminación que se emite en las distintas zonas. En segundo lugar, vamos a identificar las fuentes de contaminación y sus características para poder comparar, valorar y así poder tratar de buscar las mejores alternativas para reducir este tipo de contaminación. A continuación, se muestra cómo vamos a valorar la contaminación lumínica que hay en las distintas zonas con los siguientes conceptos:

- Distancia de las fuentes de iluminación de la zona afectada.
- Tipología arquitectónica (altura edificios).
- Densidad de alumbrado en la vía pública (número de farolas/metro cuadrado).
- Diseño de la estructura que soporta el alumbrado.
- Tipo de luz.
- Contaminación lumínica de las distintas zonas en función de los usos de suelo (industrial, residencial, rural o agrícola).
- Medidas del brillo del fondo del cielo con fotómetros calibrados tipo SQM-LU y tomadas en noches fotométricas.

Además de los conceptos mencionados anteriormente para evaluar el grado de conformidad de las luminarias, vamos a tener en cuenta el flujo hemisférico superior instalado (FHSi). El flujo hemisférico superior instalado básicamente consiste en determinar el porcentaje de flujo que se emite por encima de la horizontal. A continuación, se muestra

una ilustración para entender mejor este concepto (Figura 75) y una serie de luminarias con distintas características que nos van a ayudar a entender cuáles son las más adecuadas para el medio ambiente.



Figura 75: Ilustración para comprender en que consiste el flujo hemisférico superior (FHSi). Fuente: Fundación Starlight.

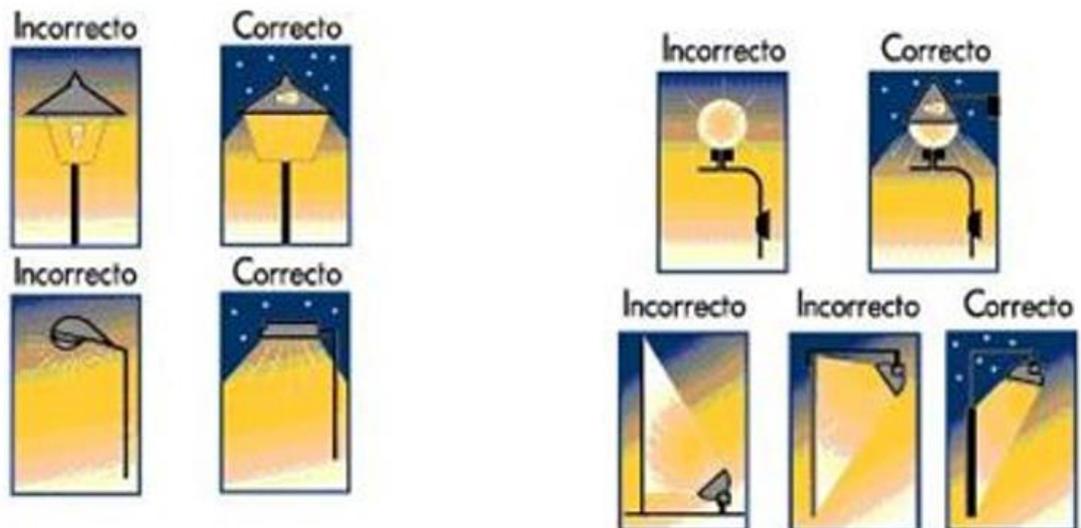


Figura 76: Ilustración para comprender que luminarias son las que menos contaminación lumínica emiten. Fuente: Fundación Starlight.

A continuación, se muestra una descripción de las distintas zonas que emiten contaminación lumínica en los alrededores del Anillo verde.

Salburua

Salburua es un barrio residencial (Figura 77). Es la zona urbana colindante al humedal de Salburua. Está compuesto por viviendas tipo bloque y en altura para aprovechar al máximo el suelo urbano. Además, Salburua cuenta con numerosas infraestructuras destinadas al transporte que están iluminadas y que por tanto también afectan a la zona de estudio.



Figura 77: Barrio de Salburua. Fuente: Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.

En la siguiente imagen se pueden observar las principales fuentes de contaminación que afectan al humedal de Salburua (Figura 78). En la imagen se pueden observar cuatro distintos orígenes de contaminación lumínica. En primer lugar tenemos los puntos de luz potencialmente contaminantes de la propia infraestructura urbana de la ciudad marcada de color verde, en segundo lugar los puntos de luz de una vía de tránsito de vehículos marcada con color amarillo, en tercer lugar las asociadas a poblaciones cercanas marcadas de color rojo y en cuarto lugar los potenciales focos de contaminación de una zona industrial marcada con color gris.



Figura 78: Fuentes de contaminación en Salburua. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se van a describir las características de las zonas de contaminación lumínica que se han representado en la imagen anterior.

Zona verde

Esta zona es una zona de uso residencial que está compuesta por viviendas tipo bloque y en altura. En la imagen que se muestra a continuación se pueden apreciar edificaciones de gran altura en las inmediaciones del parque de Salbura (Figura 79).



Figura 79: Edificios de Salburua. Fuente: Elaboración propia.

Zona amarilla

La zona amarilla es una carretera de doble sentido situada en el perímetro del parque de Salburua (Figura 80). Como se puede apreciar en la siguiente imagen se han empleado luminarias de gran altura para iluminar esta zona.

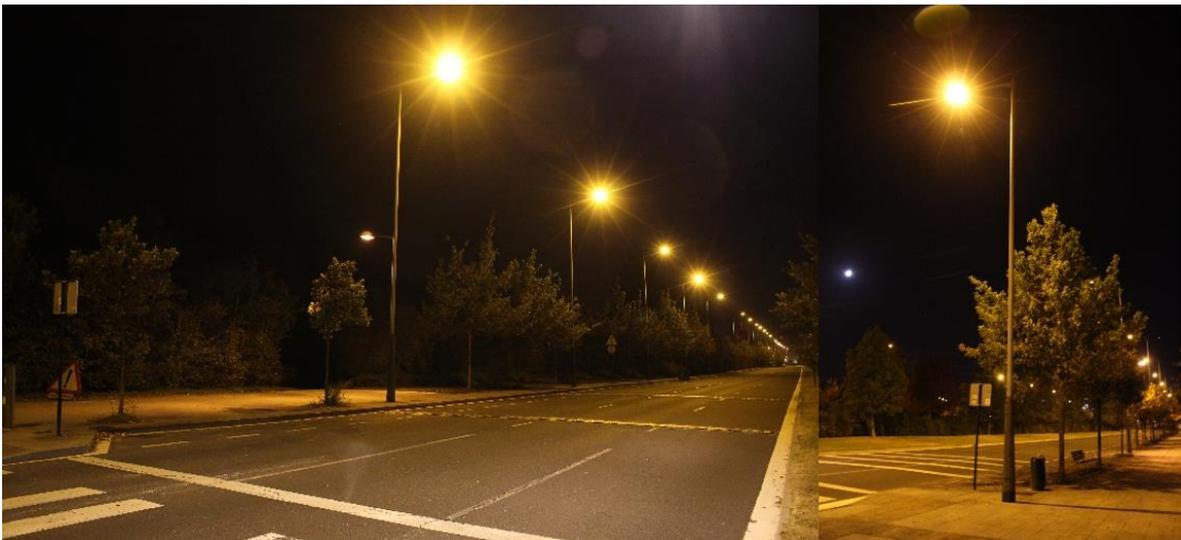


Figura 80: Luminarias de Salburua. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior se pueden ver luminarias con un flujo hemisférico superior instalado (FHSi) (que es el porcentaje de flujo emitido por encima del plano horizontal y el

flujo total de la luminaria,) en torno al 25%, considerándose contaminantes. Son luminarias con fuente de luz de color cálido con bombillas de sodio de alta presión.

Zona roja

La zona roja consiste en pequeñas poblaciones que están situadas en las cercanías del humedal de Salburua. A pesar de su pequeño tamaño y las características de sus luminarias también emiten contaminación lumínica. A continuación, se puede ver una imagen obtenida en la zona roja (Figura 81).



Figura 81: Poblaciones alrededor de Salburua. Fuente: Elaboración propia.

Zona gris

Esta zona corresponde al polígono industrial de Betoño. El polígono tiene una superficie aproximada de 187 ha, y en él, únicamente se realizan actividades industriales y comerciales. En las siguientes fotografías del polígono se pueden ver luminarias esféricas y estructuras que soportan las luminarias de gran altura (Figura 82).



Figura 82: Polígono industrial de Betoño. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen de arriba a la izquierda (Figura 82) se pueden ver luminarias con bombillas de sodio de alta presión, de baja altura tipo bola y con una fuente de luz de color cálido que dan como resultados unos tonos más amarillentos. En la imagen arriba de la derecha (Figura 82) se pueden ver luminarias con un soporte de mayor altura y una fuente de luz de color más blanco. El FHSi para un entorno como Salburua no debería ser superior al 1% y en este caso es de en torno al 30% debido al diseño de los soportes de las luminarias.

Zadorra

La contaminación lumínica que recibe el entorno del Zadorra es la que más variaciones presenta. Estas variaciones de contaminación lumínica se deben a la heterogeneidad que hay a lo largo del perfil longitudinal de esta zona tanto de fuentes de contaminación, como de la propia vegetación (Figura 83). En esta zona a diferencia de otras hemos encontrado espacios que están muy contaminadas por la iluminación y otras que no están tan contaminadas por la iluminación. Los principales puntos de contaminación de esta zona provienen del alumbrado de zonas residenciales y zonas industriales situadas en los alrededores. Cabe destacar que gran parte de la contaminación que absorbe esta zona proviene de uno de los márgenes de la ribera, que corresponde con el que está colindando con la ciudad de Vitoria-Gasteiz y la población de Abetxuko.

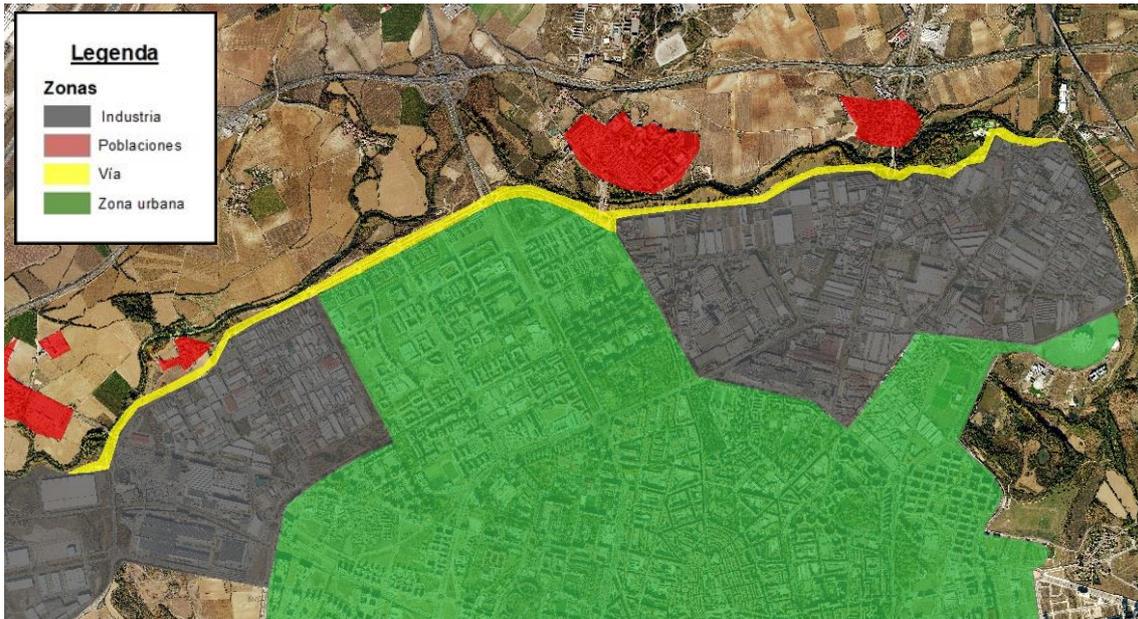


Figura 83: Fuentes de contaminación en el río de Zadorra. Fuente: Elaboración propia.

Zona verde

Es una zona urbana que corresponde al barrio de Lakua. La principal actividad que se realiza en esta zona es residencial (Figura 84). La tipología arquitectónica de esta zona son casas en bloque.



Figura 84: Barrio de Lakua. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior (Figura 84) se pueden ver luminarias de tipo bola, con un tipo de luz de color cálido y sin reflector por lo que el FHSi es superior al 40%. También se pueden ver luminarias en altura con el mismo tipo de color de luz que las luminarias tipo bola y un FHSi del 25%.

Zona amarilla

La zona amarilla es una vía periférica de la ciudad en la que se produce el tránsito de vehículos y peatones. La principal función de esta circunvalación es reducir el tráfico en el centro de la ciudad y facilitar el desplazamiento rápidamente de un lado a otro de la ciudad. Es una zona poco transitada en horario nocturno que dispone de distintos tipos de luminaria. En las siguientes fotografías (Figura 85) se pueden ver luminarias en altura y de tipo bola que iluminan la vía y también parte del Anillo verde.



Figura 85: Vías cerca del Zadorra. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior se pueden ver luminarias con un FHSi de 40%. Tenemos fuentes de luz de color más cálido a la derecha y debajo de la imagen y más claras arriba y a la izquierda de la imagen. Se puede ver claramente que las luminarias de color de luz cálido carecen de reflectores y emiten flujo hacia el cielo de forma innecesaria.

Zona roja

La zona roja son poblaciones a la derecha del río Zadorra. La población de mayor tamaño y más cercana a la ribera del Zadorra es Abetxuko. La actividad que se desarrolla en estas zonas es residencial. En las siguientes imágenes se puede ver como la ribera e incluso el cauce del río Zadorra están iluminados en horario nocturno (Figura 86).



Figura 86: Ribera del Zadorra. Fuente: Elaboración propia.

Además de verse el cauce iluminado, en la imagen anterior también se pueden ver las fachadas de los edificios iluminadas. Esto se debe a que las luminarias tipo bola que hay en esta zona carecen de reflectores y esto provoca que el flujo sea emitido por encima de la horizontal iluminando espacios por encima de la luminaria.

Zona gris

Esta zona abarca el polígono industrial de Ali Gobeo y de Betoño (Figura 87). Las actividades que se realizan son industriales y comerciales. En las siguientes fotografías se pueden ver distintos tipos de luminarias que se emplean para facilitar las actividades industriales de distintas empresas.



Figura 87: Polígono industrial de Ali Gobeo. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior se puede ver como se está sobre iluminando con fuentes de luz de color blanca que son mucho más contaminantes.

Zabalgana

La contaminación lumínica que recibe la zona de Zabalgana proviene de una zona residencial y una zona industrial (Figura 88). Cabe destacar que ésta es la única zona que en su totalidad recibe contaminación lumínica por todos sus lados, esto se debe a que el bosque de Zabalgana está rodeado de fuente de contaminación lumínica que están ubicadas en la zona residencial y en la zona industrial.



Figura 88: Fuentes de contaminación en Zabalgana. Fuente: Elaboración propia.

Zona verde

La zona verde es una zona urbana de uso residencial con viviendas tipo bloque. La siguiente imagen ha sido tomada en los límites de la zona urbana (Figura 89), donde se produce la transición entre el medio urbano y el medio rural.

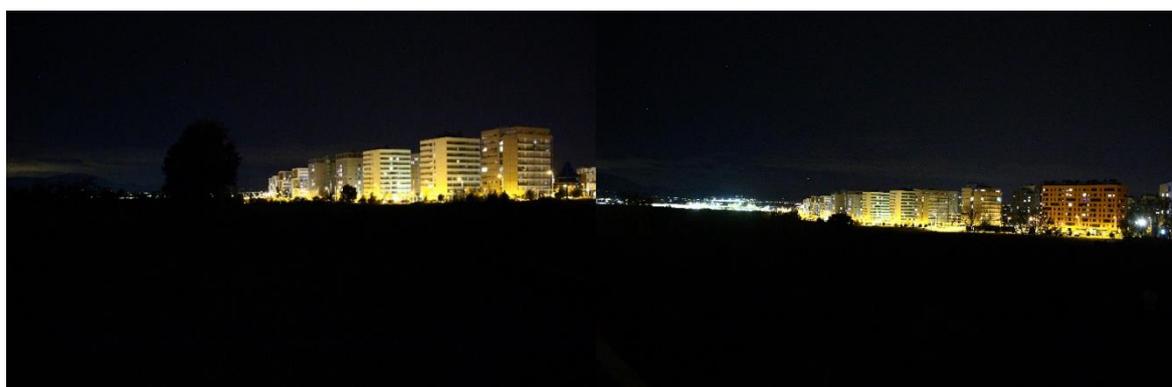


Figura 89: Barrio de Zabalgana. Fuente: Elaboración propia.

Zona amarilla

La zona amarilla es una vía de doble sentido que rodea el bosque de Zabalgana (Figura 90). En las siguientes imágenes se pueden ver luminarias de gran altura que emiten luz hacia el bosque y hacia las fachadas de los edificios.



Figura 90: Vías cerca del bosque de Zabalzana. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen (Figura 90) anterior se pueden ver luminarias con un FHSi en torno al 25%. Son luminarias con fuente de luz de color cálido con bombillas de sodio de alta presión.

Zona roja

La zona roja son poblaciones cercanas al bosque de Zabalzana como Crispijana y Zuazo de Vitoria (Figura 91). La siguiente imagen está tomada en las inmediaciones del bosque de Zabalzana, en ella se puede observar los focos de contaminación lumínica que hay en esta población.



Figura 91: Poblaciones cerca de Zabalzana. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior (Figura 91) se pueden ver luminarias de tipo villa con bombillas de vapor de alta presión de sodio que emiten una luz de color cálido. El FHSi en esta zona es de 40%.

Zona gris

Esta zona es de uso industrial menos transitada que otras zonas en horario nocturno. También tiene alguna zona con luminarias de gran altura en la vía principal

(Figura 92), pero en general, por el resto de la zona industrial las luminarias son de menor altura como se muestra en la fotografía de la izquierda.



Figura 92: Polígono industrial de Jundiz. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen de la izquierda (Figura 92) se pueden ver luminarias de baja altura, pero sin reflector lo que produce que el FHSi sea en torno al 40%. En la imagen de la derecha se pueden ver soportes de luminarias que no controlan el flujo luminoso adecuadamente y envían flujo por encima de la horizontal, debido a que el conjunto óptico tiene un ángulo de inclinación mayor de 20° con respecto a la horizontal. En ambas imágenes se puede ver una fuente de luz de color cálido. Las bombillas utilizadas para la iluminación en esta zona son de alta presión de sodio. Cabe destacar que muchas empresas en esta zona producen sobreiluminación con luz blanca.

Armentia

El bosque de Armentia es la zona que más aislada se encuentra respecto de la contaminación lumínica (Figura 93). Sus fuentes de contaminación más cercanas son pequeñas poblaciones como Armentia, Eskibel o Berrostejeta, aunque también se ve afectada como todas las demás por la iluminación de la ciudad.



Figura 93: Fuentes de contaminación en Armentia. Fuente: Elaboración propia.

Zona verde

Es una zona residencial con viviendas unifamiliares de poca altura (Figura 94). Es una de las zonas urbanas menos transitadas de la ciudad. El uso de esta zona es netamente residencial, carece de actividad comercial o industrial.



Figura 94: Poblaciones cerca del bosque de Armentia. Fuente: Elaboración propia.

En esta zona para la iluminación de los espacios se están utilizando luminarias de tipo villa con bombillas de vapor de sodio de alta presión. En la imagen se pueden ver fuentes de luz de color cálido. Los soportes de las luminarias son de baja altura y los reflectores instalados no evitan que el flujo luminoso se envíe por encima de la horizontal. El FHSi es del 40%.

Zona amarilla

Es una zona destinada al tránsito de vehículos apartada de las zonas residenciales o industriales (Figura 95). La mayoría de las vías que rodean el bosque de Armentia tienen poca circulación de vehículos al estar alejadas de las zonas residenciales o industriales.



Figura 95: Vías cerca de Armentia. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior (Figura 95) se pueden ver luminarias de gran altura para iluminar la calzada y de tipo bola para iluminar la zona peatonal. Las bombillas empleadas para la iluminación de esta zona son de alta presión de sodio y producen una luz de color cálido. La emisión de flujo por encima de la horizontal de las luminarias de tipo bola es incorrecta. En el caso de las luminarias de mayor altura que iluminan la calzada el FHSi es de en torno al 25%.

Zona roja

Como se puede ver en las siguientes fotografías (Figura 96) en el caso de Armentia la zona verde y la zona roja a diferencia de las otras zonas del Anillo verde que se están estudiando son bastante similares. En las siguientes fotografías se puede apreciar el tipo de luminarias que se utilizan en pequeñas poblaciones que rodean el bosque de Armentia. Las fotografías corresponden a poblaciones de pequeño tamaño como Eskibel y Berrosteguieta. A pesar de que la contaminación lumínica de estas pequeñas poblaciones es menor que la que procede de la ciudad de Vitoria-Gasteiz también se tendrán en cuenta a la hora de valorar la contaminación lumínica que hay en las distintas zonas.



Figura 96: Poblaciones cerca del bosque de Armentia. Fuente: Elaboración propia.

En la fotografía anterior (Figura 96) se pueden ver luminarias de tipo villa que emplean bombillas de vapor de sodio de alta presión. El diseño de este tipo de luminarias provoca que parte del flujo se emita por encima de la horizontal. En este caso el FHSi es en torno al 40%.

Zona gris

La zona gris hace referencia al polígono industrial de Jundiz (Figura 97). El polígono de Jundiz es una de las mayores zonas empresariales de Europa, ocupando una superficie de 642 ha.



Figura 97: Polígono industrial de Jundiz. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior (Figura 97) se puede ver que las luminarias están empleando una iluminación con una TCC de en torno a los 4500k y los 5500k. Las fuentes de luz como hemos mencionado anteriormente son de color blanca. En esta zona se está produciendo una sobreiluminación al realizar actividades industriales.

Olarizu

Olarizu está colindando con una zona urbana en continuo crecimiento (Figura 98). Las principales fuentes de contaminación que hay en los alrededores de esta zona están ubicadas en el barrio de Adurza y en el polígono industrial de Uritiasolo.

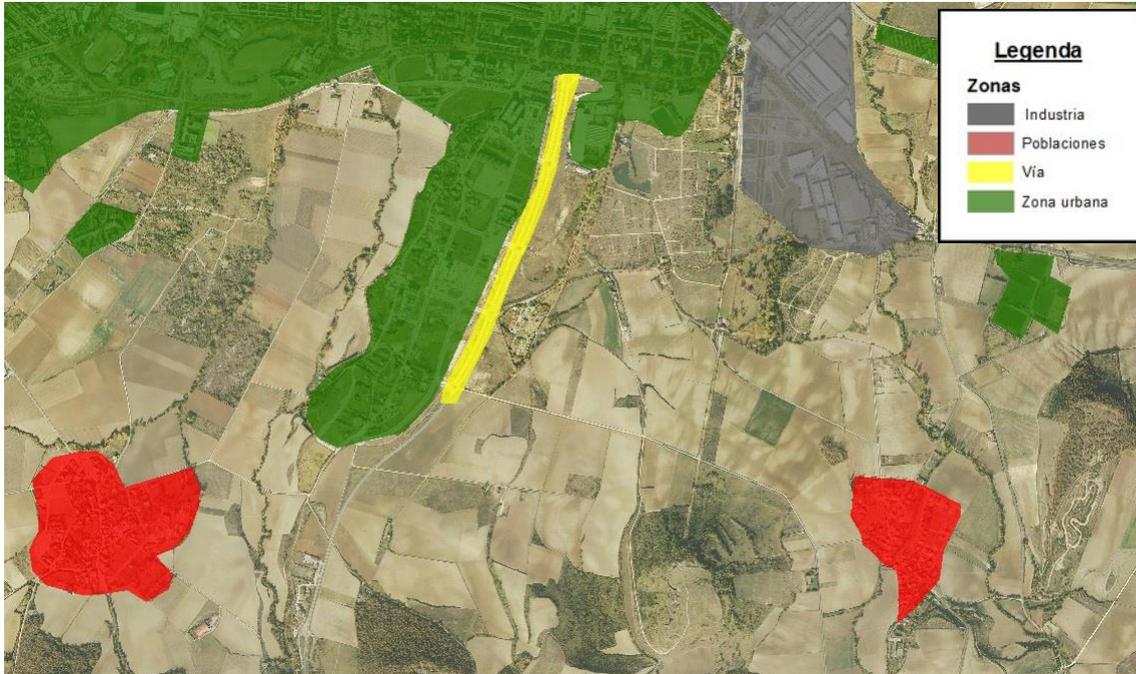


Figura 98: Fuentes de contaminación en Olarizu. Fuente: Elaboración propia.

Zona verde

Esta zona corresponde al barrio de Adurza (Figura 99). Las actividades que se realizan en esta zona son residenciales. La mayor parte de esta zona urbana está constituida por viviendas en altura tipo bloque. En la siguiente fotografía se pueden ver bloques en altura en las inmediaciones del parque de Olarizu fruto del crecimiento urbanístico.



Figura 99: Barrio de Adurza. Fuente: Elaboración propia.

Zona amarilla

Esta zona a diferencia de otras zonas amarillas cercanas al Anillo verde descritas con anterioridad es utilizada como vía de acceso a la parte sur de la ciudad (Figura 100). Es una vía que conecta la ciudad de Vitoria-Gasteiz con pequeñas poblaciones cercanas. En la siguiente fotografía se pueden ver las luminarias empleadas para la iluminación de esta zona.



Figura 100: Vías cerca del barrio de Adurza. Fuente: Elaboración propia.

En la fotografía anterior (Figura 100) se pueden ver luminarias en altura con bombillas de alta presión de sodio que proporcionan un tipo de luz de color cálido. El FHSi es un 25%.

Zona roja

Son poblaciones cercanas al parque de Olarizu como Arretxabaleta. Estas poblaciones son de usos residencial, aunque también se realizan algunas actividades agrícolas (Figura 101). Las viviendas son bloques de baja altura, viviendas adosadas y unifamiliares. En la siguiente imagen se puede ver la población de Arretxabaleta iluminada durante la noche.



Figura 101: Poblaciones cerca del barrio de Adurza. Fuente: Elaboración propia.

En la fotografía anterior (Figura 101) se pueden ver luminarias de tipo villa con bombillas de vapor de alta presión de sodio. En este caso el FHSi está en torno al 40%. También se puede ver que la iglesia del pueblo esta iluminada de forma incorrecta ya que las luminarias no están dirigidas hacia abajo y producen deslumbramiento.

Zona Gris

Es un polígono industrial de naves industriales de tamaño pequeño, surgió en los años 50 durante el proceso industrializador de Vitoria-Gasteiz (Figura 102). Inicialmente comenzó a desarrollarse en las cercanías de la vía ferroviaria.



Figura 102: Polígono industrial de Uritiasolo. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior (Figura 102) se pueden ver luminarias de gran altura con un FHSi de 25%. El tipo de luz es de color cálido.

6.2 METODOLOGÍA Y TOMA DE MUESTRAS

Para obtener los niveles de contaminación lumínica que hay en las distintas zonas del Anillo verde se ha utilizado un equipo (Figura 103) de medida del brillo del fondo del cielo expresado en la unidad astronómica de magnitudes por arco segundo al cuadrado ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$), que es el parámetro que caracteriza la contaminación lumínica. Las

“magnitudes” son unidades estándar de brillo tradicionalmente utilizadas en astronomía que forman una escala logarítmica inversa: si una estrella tiene 5 magnitudes más que otra, la energía que recibimos de ella es 100 veces menor. El origen de esta escala remonta a la Grecia clásica, siendo formalizada en tiempos modernos por **Pogson (1856)**. Cuando un objeto es extenso como es el fondo del cielo, su brillo por unidad de superficie se expresa en mag/arcsec^2 . Además de esta medida para generar mapas lumínicos también se emplean otros parámetros como pueden ser niveles de iluminancia medio (E_m, lux), nivel de iluminancia mínimo ($E_{\text{min}}, \text{lux}$), uniformidad media (U_m), flujo total instalado (FTI, Klm), iluminación en calzada, (E, lux), nivel de luminancia ($L, \text{cd/m}^2$), luz intrusa: iluminación en fachada, resplandor luminoso nocturno: iluminación en el cielo. **Fidalgo Rosselló, M. A. (2012)**.

Concretamente se ha utilizado el fotómetro *Sky Quality Meter (SQM)* de Unihedron (Figura 98), un fotómetro digital que nos ha permitido cuantificar el brillo del cielo nocturno. Con su diseño compacto y portátil, este equipo nos ha permitido tomar mediciones utilizando un sistema móvil conectando el fotómetro y un GPS. Este instrumento cuenta con un filtro infrarrojo, por lo tanto, el SQM solo tiene en cuenta la radiación correspondiente al espectro visible a la hora de realizar las mediciones, proporcionando los resultados en unidades de magnitudes por segundo de arco al cuadrado (mag/arcsec^2). Es un medidor portable y relativamente fácil de usar que nos ha permitido obtener una idea general del grado de contaminación de las distintas zonas del Anillo verde. El equipo registra datos en continuo cada segundo y se registran en un software específico.

Básicamente cuanto más alto sea el número más oscuro es el cielo. Una lectura de 21.00 indicará un sitio relativamente oscuro, mientras que una medida inferior a 19.00 indicará cielo fuertemente luminoso y por tanto un elevado grado de contaminación lumínica. Valores por debajo de 18.00 se puede asumir que están influenciados directamente por la luz de las farolas. **Montano, H. A. G., Martínez, M. C., & Soza, R. S. (2020)**. En pocas palabras, el SQM mide cuanta luz (que llega dentro de un cono de cerca de 20 grados de ancho) llega a un sensor. El aparato entonces convierte esa cantidad de luz en unidades de magnitudes por el cuadrado de arco-segundo, que son las que se visualizan.

Para utilizar correctamente este instrumento hay que asegurarse de que las luces próximas no estén dentro del cono de detección del sensor. De igual manera, la luz de la luna no debe influenciar la oscuridad del cielo, que es indicada por la línea de oscuridad de un reloj claro del cielo. Así también, las lecturas de SQM se deben tomar después del crepúsculo astronómico, cuando el sol no contribuye a ningún aumento de la luz del cielo de noche.



Figura 103: SQM Sky Quality Meter. Fuente: Unihedron.

A continuación, se muestran los aspectos que se han podido determinar:

- La oscuridad de la noche en las distintas zonas.
- Comparar el brillo del cielo nocturno en las diferentes zonas del Anillo verde.
- Documentar la contaminación lumínica que hay en las distintas zonas para poder estudiar su evolución.
- Determinar cuáles son las zonas que mejor visión del cielo nocturno ofrecen a la población.
- Medición del brillo del cielo nocturno en relación con los usos del suelo.
- Medición del brillo del cielo nocturno en relación con la cubierta vegetal.
- Medición del brillo del cielo nocturno para determinar cuáles son las zonas más afectadas.

Para llevar a cabo la toma de muestras nos hemos desplazado a las distintas zonas que componen el Anillo verde en horario nocturno. Las muestras han sido tomadas con condiciones atmosféricas favorables, es decir, cuando el cielo no está cubierto por nubes para que las muestras sean lo más representativas posibles. También en noches sin luna y sin Vía Láctea (para evitar el brillo natural que afecta de una forma importante, hasta 0,3 mag/arcseg² a las medidas del brillo del cielo).

Se han tomado muestras en distintos puntos de las zonas que se quieren estudiar, el objetivo ha sido conseguir un número de muestras significativo para poder valorar y comparar la contaminación lumínica que hay en las distintas zonas. La finalidad de la toma de muestras es conocer la contaminación lumínica que absorbe cada zona, de forma que dentro de cada zona vamos a poder conocer cuáles son las áreas más afectadas por la contaminación lumínica, vamos a poder comparar también las diferencias de contaminación lumínica que hay entre las distintas zonas y, por último, vamos a poder obtener una visión global de la contaminación lumínica que es absorbida por el conjunto de las zonas que componen el Anillo verde.

6.3 TRATAMIENTO VALORES DE CONTAMINACIÓN OBTENIDOS DURANTE EL MUESTREO

Todos los valores obtenidos durante el muestreo en las diferentes zonas se van a tratar con el programa R Commander. Mediante este programa se han obtenido medias de las distintas zonas y se ha determinado si hay diferencias significativas entre los valores de contaminación que se han obtenido en las distintas zonas del Anillo verde para así determinar si hay diferencias entre la cantidad de contaminación lumínica que recibe cada zona. A continuación, se muestran los valores obtenidos en las distintas zonas.

6.4 CARTOGRAFÍAS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

En este apartado se van a realizar cartografías de las distintas zonas que componen el Anillo verde, de forma individual y también colectiva, para obtener una perspectiva global de la contaminación lumínica que afecta al Anillo verde.

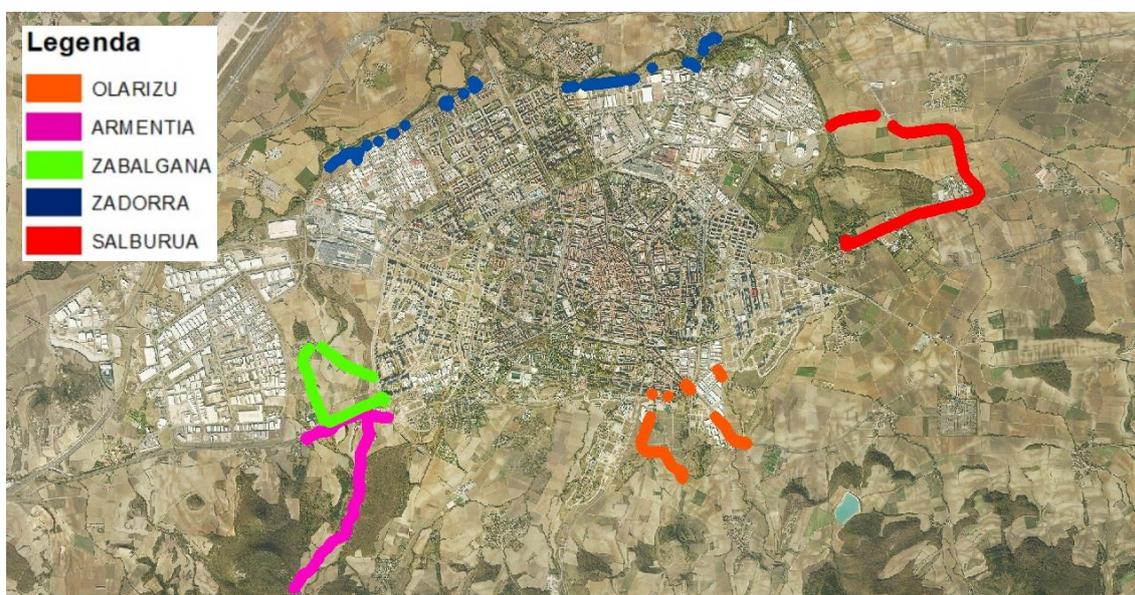
En primer lugar, mediante los datos obtenidos durante los muestreos se van a realizar cartografías de cada zona. La temática de las cartografías va a ser la contaminación lumínica.

Mediante los datos obtenidos durante el muestreo y el programa ARCGIS se van a realizar cartografías para representar la contaminación lumínica que afecta al Anillo verde. Las ubicaciones en las que se han tomado datos y los valores obtenidos van a quedar representados en las cartografías. Las cartografías van a representar un gradiente de contaminación lumínica mediante colores, es decir, los distintos valores de contaminación lumínica que se han obtenido durante el muestreo van a quedar representados mediante colores, de forma que las zonas de menor contaminación lumínica van a tener una coloración y las zonas de mayor contaminación lumínica van a tener otra coloración, para

así poder conocer el nivel de contaminación lumínica que hay en función de la ubicación en la que nos encontremos dentro de cada zona.

Mediante las distintas coloraciones que van a representar distintos rangos de contaminación lumínica vamos a poder conocer cuáles son las zonas más afectadas y las menos afectadas por la contaminación lumínica. Gracias a estas cartografías nos vamos a poder desplazar a las zonas que mejor visión del cielo nocturno nos ofrecen dentro del Anillo verde y así poder disfrutar del firmamento las noches en que la meteorología nos lo permita.

A continuación, se van a exponer distintas cartografías para entender mejor la contaminación lumínica que hay en el Anillo verde (Figura 104). La primera cartografía que se expone a continuación es para informar sobre los lugares en los que se han realizado mediciones:



*Figura 104: Zonas del Anillo verde donde se ha medido el brillo del fondo del cielo.
Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se van a exponer cartografías de las distintas zonas del Anillo verde. La temática de las siguientes cartografías va a ser el gradiente de contaminación que hay en las distintas zonas. Para representar ese gradiente de contaminación lumínica se va a utilizar una coloración clara para las zonas más afectadas por la iluminación, que serán valores alrededor de los 16 mag/arcseg² y una coloración oscura para las zonas menos contaminadas, que tendrán valores en torno a los 19 mag/arcseg². La primera cartografía que se va a exponer va a ser la de la zona de Zabalzana (Figura 105), que se va a realizar con los datos recogidos en la hoja de Excel (Anexo 1).

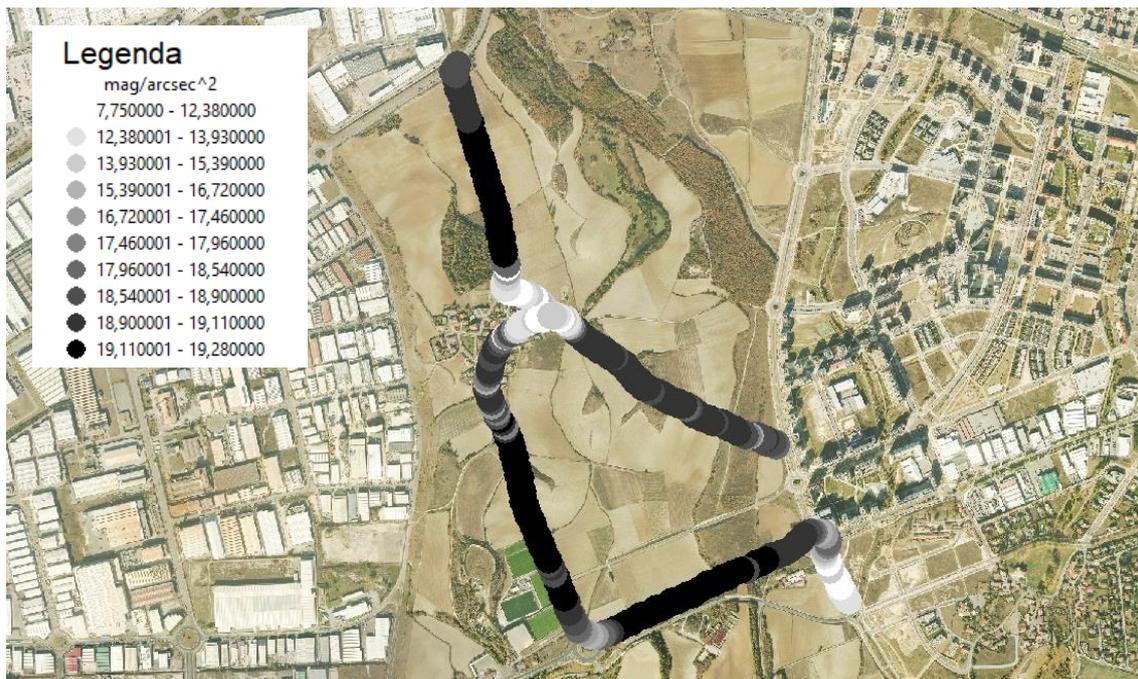


Figura 105: Mediciones obtenidas en Zabalgana. Fuente: Elaboración propia.

En la anterior cartografía (Figura 105) se puede apreciar como a medida que nos alejamos de la ciudad hay menos contaminación lumínica. También se puede ver como cuando nos acercamos a una rotonda iluminada abajo a la izquierda de la imagen o al pueblo de Zuazo de Vitoria situado en el centro de la imagen la contaminación lumínica cada vez es mayor y el color va tornando de negros a grises hasta llegar a blanco en algunas zonas. Cabe destacar que a medida que nos alejamos de los focos de contaminación la iluminación es cada vez menor. En la siguiente zona que corresponde al parque de Olarizu (Figura 106) se sigue el mismo patrón que en Zabalgana a medida que nos alejamos de los focos de contaminación la iluminación del cielo nocturno disminuye. A continuación, se puede ver la cartografía de la contaminación lumínica en la zona de Olarizu, que se va a realizar con los datos recogidos en la hoja de Excel (Anexo 4).

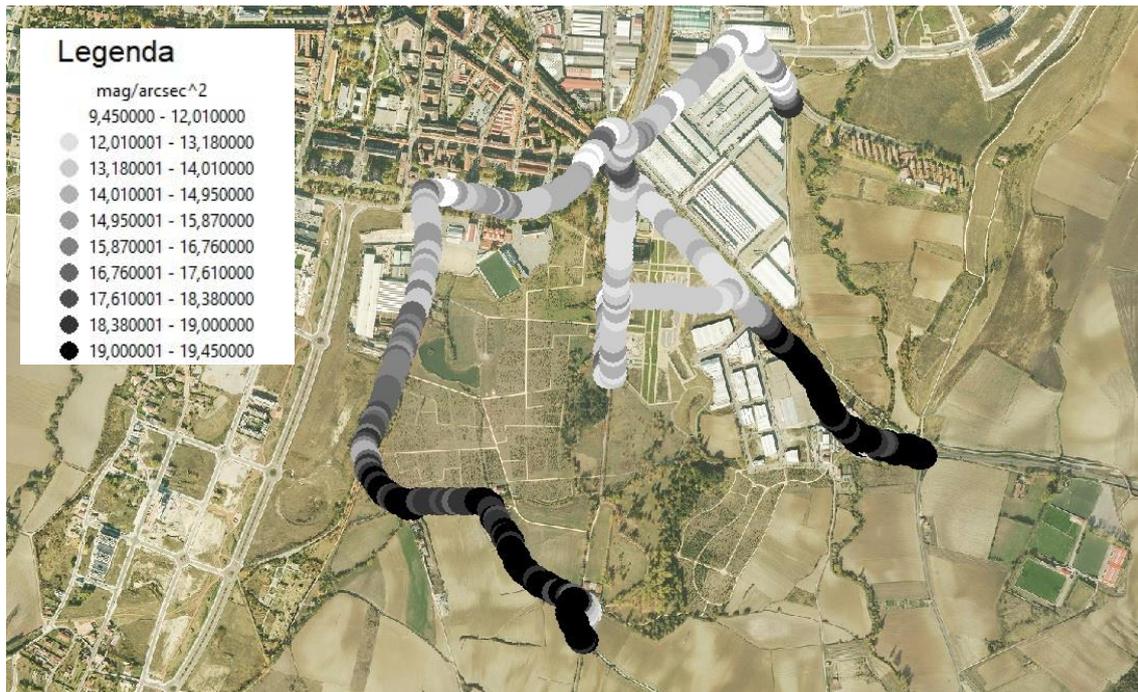


Figura 106: Mediciones obtenidas en Olarizu. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente cartografía que se va a analizar es la de la zona de Armentia (Figura 107). En este caso las zonas cercanas a la ciudad en la parte superior de la imagen tienen una coloración gris por estar cerca de una zona urbana en desarrollo y poco iluminada. Curiosamente en esta zona a pesar de alejarnos de la ciudad hay zonas en las que aumenta la contaminación, esto se debe a que los focos de contaminación que hay en poblaciones cercanas afectan a estos entornos más alejados de la ciudad. Además, también se puede ver como el bosque de Armentia hace de escudo y provoca que los campos agrícolas situados entre el bosque y la población de Esquibel sean una de las zonas menos afectadas por la contaminación lumínica. A continuación, se expone la cartografía de contaminación lumínica de la zona de Armentia, que se va a realizar con los datos recogidos en la hoja de Excel (Anexo 3).



Figura 107: Mediciones obtenidas en Armentia. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente cartografía es la de la ribera de Zadorra (Figura 108). Es una de las zonas de Anillo verde que más contaminación lumínica recibe. Al tratarse de una zona que no se aleja de la ciudad y que está colindando con los límites urbanos, la contaminación lumínica que recibe es grande. A pesar de que la mayor parte de esta zona está muy contaminada lumínicamente se pueden ver un pequeño porcentaje de zonas poco afectadas por la iluminación. A continuación, se expone la cartografía de contaminación lumínica de la zona del Zadorra, que se va a realizar con los datos recogidos en la hoja de Excel (Anexo 5).



Figura 108: Mediciones obtenidas en el Zadorra. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente cartografía que se va a estudiar es la de la zona de Salburua (Figura 109). En este caso como en la mayoría de las zonas del Anillo verde las zonas más afectadas son las que están cerca de la ciudad o de poblaciones cercanas. A continuación, se expone la cartografía de contaminación lumínica de la zona de Salburua, que se va a realizar con los datos recogidos en la hoja de Excel (Anexo 2).



Figura 109: Mediciones obtenidas en Salburua. Fuente: Elaboración propia.

En la parte alta de la (Figura 109) se puede ver una zona fuertemente iluminada. Esto es debido a la existencia de un cruce con alta concentración de accidentes. Para reducir los accidentes se iluminó la calzada con más intensidad que otras zonas.

7 DETERMINACIÓN GLOBAL DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN PARA CONOCIMIENTOS DE PUNTOS NEGROS

En este trabajo además de poner en conocimiento cuales son las mejores ubicaciones para disfrutar del firmamento, dentro de las limitaciones de una zona urbana fuertemente luminosa, también se indicará cuáles son las zonas que más afectadas están por la contaminación lumínica (“puntos negros”, llamados así por la connotación negativa del negro, aunque bien podrían llamarse “puntos blancos” por verse de ese color en las cartografías mostradas anteriormente). Mediante las cartografías de contaminación lumínica vamos a poder conocer cuáles son las zonas más afectadas por la contaminación lumínica y de esta forma vamos a poder analizar y estudiar las causas que provocan que dentro del Anillo verde haya zonas que estén muy afectadas por la contaminación lumínica (Figura 110).

Conocer cuáles son los puntos negros del Anillo verde en cuanto a contaminación lumínica es importante para saber que zonas serían las más propicias para implementar medidas correctoras en el caso de que así se determinase. Además, una vez que conozcamos cuales son los puntos negros los vamos a poder relacionar con las fuentes de contaminación que afectan a estos puntos. Vamos a poder relacionar los puntos negros con las fuentes de contaminación, con los usos de suelo, con las características del alumbrado, con la tipología arquitectónica de los edificios colindantes y con la estructura vegetal que reduce la intrusión de la iluminación en las distintas zonas del Anillo verde.

7.1 CARTOGRAFÍAS



Figura 110: Mediciones obtenidas en el Anillo verde. Fuente: Elaboración propia.

7.2 ESTADÍSTICA

Todos los valores obtenidos durante el muestreo en las diferentes zonas se van a tratar con el programa R Commander. Mediante este programa se han analizado las medias de las distintas zonas y se ha determinado si hay diferencias significativas entre los valores de contaminación que se han obtenido en las distintas zonas del Anillo verde para así determinar si hay diferencias entre la cantidad de contaminación lumínica que recibe cada zona. En la siguiente tabla (Tabla 1), se muestran los valores obtenidos en las distintas zonas.

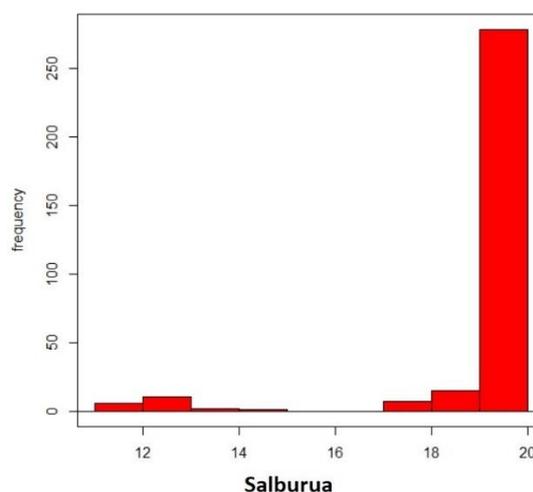
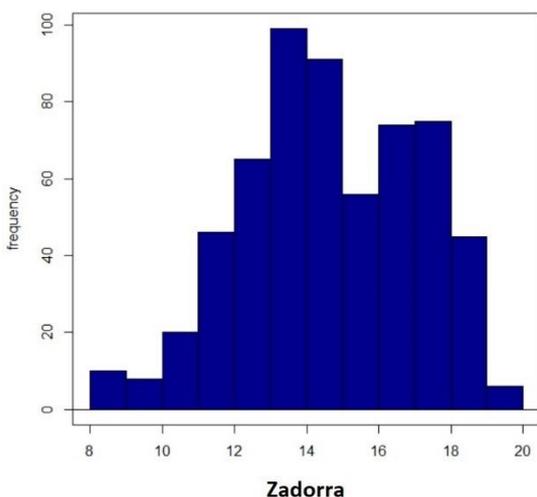
Tabla 1: de estadística descriptiva sobre las mediciones obtenidas en las distintas zonas

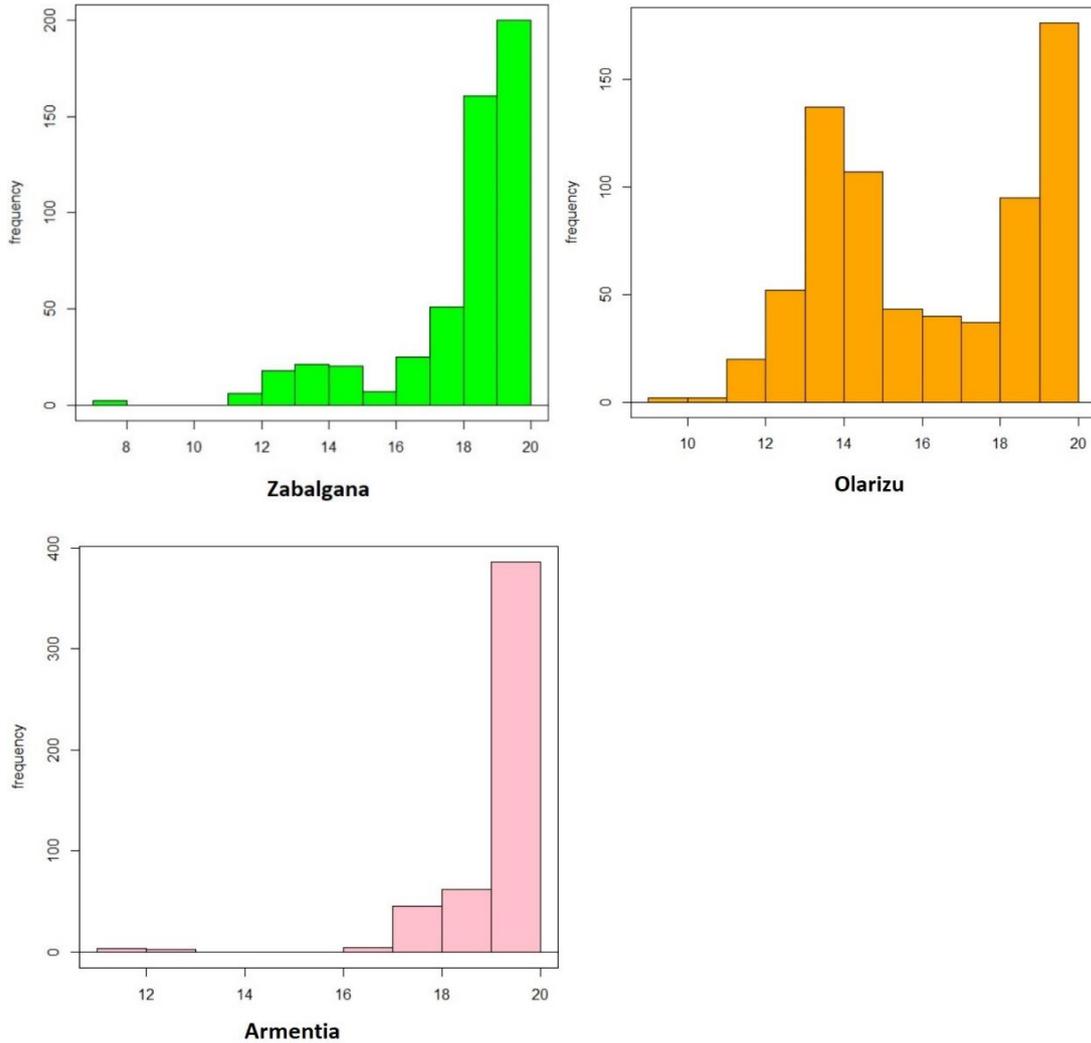
Zona	Media	Desviación típica	IQR	0%	25%	50%	75%	100 %	n
Zadorra	14.63	2.44	3.45	8.11	13.03	14.42	16.48	19.19	595
Salburua	19.07	1.78	0.43	11.32	19.33	19.58	19.76	23.13	319
Zabalgana	17.88	2.06	1.5	7.75	17.56	18.94	19.06	19.28	511
Olarizu	16.12	2.62	5.22	9.45	13.77	15.8	18.99	19.45	711
Armentia	19.03	0.96	0.395	11.59	19.05	19.24	19.44	19.83	502

Tabla 1: Tabla de estadística descriptiva. Fuente: Elaboración propia.

En la (Tabla 1) se pueden ver distintas columnas. La primera columna corresponde a la media. La segunda columna es la desviación típica y la tercera corresponde al Rango intercuartílico. La última columna con denominación (n) corresponde al tamaño de la muestra.

Para analizar la (Tabla 1) mostrada anteriormente primero se exponen los resultados de cada zona y posteriormente, se valoran de forma global el conjunto de los resultados obtenidos durante el muestreo. Para ello se generan histogramas (Histogramas 1) y diagramas de cajas (Diagrama 1) que se mostrarán más adelante, para poder mostrar una visión global del conjunto de las zonas. En primer lugar, la zona del Zadorra ha obtenido la media y la máxima más baja, en esta zona se han realizado 595 mediciones y el 75% de ellas han obtenido valores inferiores a 16.5 mag/arcseg². En segundo lugar, Salburua ha obtenido la media y la máxima más altas, en esta zona se han realizado 319 mediciones de las cuales el 75% de las mediciones están por encima de 19.33 mag/arcseg². En tercer lugar, Zabalgana ha obtenido una media de 17.88 mag/arcseg² y un máximo de 19.06 mag/arcseg², en esta zona el 50% de las mediciones están por encima de 18.94 mag/arcseg². En cuarto lugar, Olarizu ha obtenido una media de 16.12 mag/arcseg² y ha sido la zona en la que más mediciones se han tomado con 771. Por último, la zona de Armentia ha obtenido la segunda media más alta y solo el 25% de las mediciones realizadas están por debajo de 19.05 mag/arcseg². A continuación se muestran histogramas de las mediciones obtenidas en cada zona.





Histogramas 1: Histogramas por zonas del Anillo verde donde se representan los valores medios de mag/arcseg² en función de su frecuencia. Fuente: Elaboración propia.

En el (Histograma 1) se pueden ver las diferencias de los valores medios de mag/arcseg² en función de la frecuencia que hay en las distintas zonas. Claramente se puede ver que en las zonas de Armentia y Salburua los valores por encima de 19 mag/arcseg² son muy frecuentes, sin embargo, valores por debajo de 18 mag/arcseg² son muy poco frecuentes. Al contrario, pasa en la zona del Zadorra los valores por encima de 19 mag/arcseg² son muy poco frecuentes, sin embargo, los valores por debajo de 18 mag/arcseg² son muy frecuentes. En Olarizu los valores por debajo o por encima de 16 mag/arcseg² presentan frecuencias similares. En Zabalzana los valores por encima de 16 mag/arcseg² son más frecuentes que los que están por debajo de este valor.

Una vez analizados los histogramas obtenidos con las mediciones y para corroborar esas diferencias existentes entre algunas zonas se ha realizado el diagrama de cajas que se muestra en el Diagrama 1.

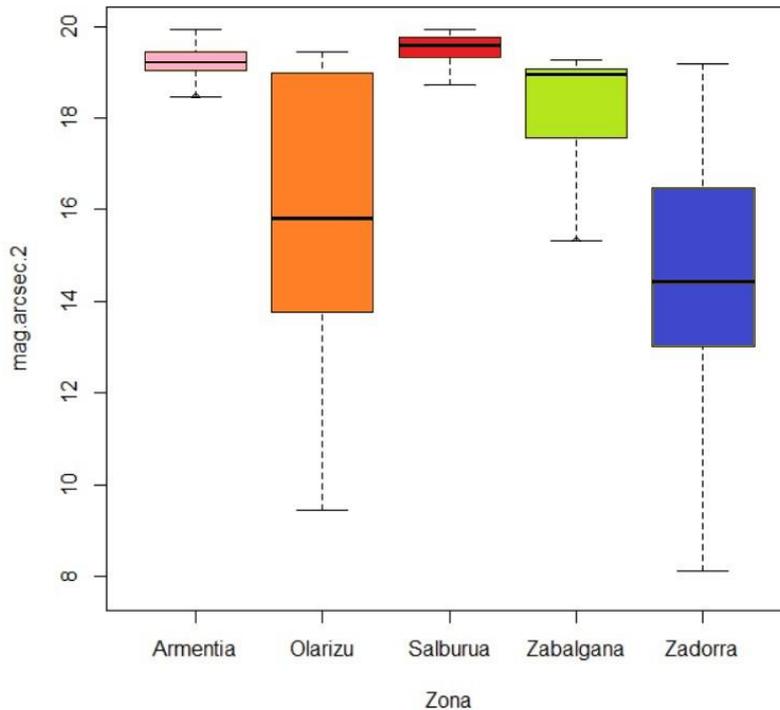


Diagrama 1: Distribución de mediciones. Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama de cajas expuesto anteriormente (Diagrama 1) se puede ver como la distribución de las mediciones de Salburua y Armentia es muy pequeña. Todas las mediciones están por encima de 18 mag/arcseg² y en el caso de Salburua por encima de 19 mag/arcseg². Zabalgana tiene una distribución de medidas mayor que Salburua y Armentia por lo que se pueden encontrar zonas oscuras, pero también zonas afectadas por la contaminación lumínica, aun así, la media sigue siendo alta por encima de 18 mag/arcseg². Olarizu es una de las zonas que mayor distribución de las mediciones presenta, en esta zona la variación de medidas respecto de la media es la más grande. Por último, la zona del Zadorra no tiene una distribución tan grande como Olarizu pero la media es más baja, en esta zona a pesar de que es más frecuente encontrar zonas contaminadas también existen espacios que no están tan afectados por la iluminación.

Una vez que se han analizado las mediciones de las distintas zonas mediante estadística descriptiva se intuye que la zona más afectada por la contaminación lumínica es la zona del Zadorra. Salburua es la zona que menos contaminación lumínica tiene seguida muy de cerca por Armentia. Por último, Zabalgana y Olarizu ocupan posiciones intermedias, aunque aparentemente Zabalgana recibe menos contaminación lumínica que Olarizu.

Para evidenciar que realmente hay diferencias significativas entre las mediciones tomadas en las distintas zonas se va a utilizar la inferencia estadística (Figura 106). Como

los datos no tienen una distribución normal las afirmaciones no se van a hacer en base a la distribución de las mediciones. Por tanto, se va a emplear el test no paramétrico de kruskal-Wallis. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en R Commander.

```
Shapiro-Wilk normality test
data: mag.arcsec.2
W = 0.8462, p-value < 2.2e-16

Kruskal-Wallis rank sum test
data: mag.arcsec.2 by Zona
Kruskal-Wallis chi-squared = 1289.3, df = 4, p-value < 2.2e-16
```

Figura 111: Resultados inferencia estadística. Fuente: Elaboración propia.

En la (Figura 111) se pueden ver los resultados obtenidos con el programa R Commander. Para determinar si hay diferencias significativas entre las medidas obtenidas en las distintas zonas se ha obtenido un p-valor mediante un test no paramétrico. El p-valor es una probabilidad que nos va a determinar si se acepta o se rechaza una hipótesis dentro de un nivel de significación establecido con anterioridad. En nuestro caso el nivel de significación para aceptar o rechazar la hipótesis nula va a ser un p-valor 0.05. En el caso de que el p-valor obtenido sea superior a 0.05 se aceptará la hipótesis nula y si es inferior se rechazará y se aceptará la hipótesis alternativa. En nuestro caso la hipótesis nula va a ser que no hay diferencias significativas entre las mediciones obtenidas en las distintas zonas y la hipótesis alternativa que sí que hay diferencias significativas entre las mediciones obtenidas en las distintas zonas. Como el p-valor que se muestra en la (Figura 111) es menor que 0.05 se descarta la hipótesis nula de que las mediciones obtenidas en las distintas zonas son igual y se acepta la alternativa de que las mediciones obtenidas en las distintas zonas son diferentes. Por lo tanto, hay diferencias significativas entre la contaminación lumínica que hay en las distintas zonas del Anillo verde.

7.3 RESULTADOS

En este apartado se van a exponer los resultados que se han obtenido después de valorar las distintas zonas en función de su ecología, figuras de protección y niveles de

contaminación lumínica que presentan. Para realizar la valoración se ha considerado que las figuras de protección y la ecología constituyen el 50 % de la puntuación final y la contaminación lumínica constituye el otro 50 % restante. Concretamente la parte de valoración ecológica y figuras de protección cuenta con 12 puntos y la de contaminación lumínica con otros 12. En el apartado de ecología hay 12 elementos ecológicos que se valoraran con un punto cada uno en el caso de que la zona valorada cuente con alguno de esos elementos. La valoración de la contaminación lumínica se va a realizar con otros 12 puntos, una zona con nada de contaminación lumínica se valorará con 12 puntos mientras que una zona que está muy contaminada se valorará con 0 puntos. Por último, se sumarán las puntuaciones obtenidas en los apartados de ecología y contaminación lumínica y se obtendrá una valoración global para cada zona. La zona que mayor puntuación obtenga será la que mejores condiciones ambientales presenta. A continuación, se exponen los resultados obtenidos.

Tabla 2: Valoración ambiental en función de la ecología y contaminación lumínica

	Zadorra	Salburua	Zabalgana	Olarizu	Armentia
Valoración ecológica					
Flora					
Arbórea	1	1	1	1	1
Arbustiva	1	1	1	1	1
Herbácea	1	1	1	1	1
Acuática	1	1			
Fauna					
Mamíferos	1	1	1	1	1
Reptiles	1	1	1	1	1
Anfibios	1	1			
Peces	1	1			
Aves acuáticas	1	1			
Aves migratorias		1			
Aves residentes	1	1	1	1	1
Valor ecológico total	11	12	6	6	6
Valoración contaminación lumínica					
Contaminación lumínica	3	10	7	6	10
Valor total	14	22	13	12	16

Tabla 2: Valoración ambiental en función de la ecología y contaminación lumínica. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la (Tabla 2) Salburua es la mejor zona para disfrutar de la naturaleza y del cielo nocturno. Armentia es la segunda mejor zona, a pesar de no tener tanta diversidad en especies y figuras de protección como Salburua o Zadorra su baja

contaminación lumínica la colocan en segundo lugar. En tercer lugar, tendríamos la zona del Zadorra que aun siendo la zona que más contaminada esta su alto valor ecológico la sitúan en una posición intermedia respecto a las otras zonas. En cuarto lugar, está Zabalzana y en último lugar Olarizu que a pesar de no tener tanta contaminación lumínica como el Zadorra la ausencia de figuras de protección y disponer de menos elementos ecológicos las sitúan como las zonas con peor valoración en cuanto a contaminación lumínica y valor ecológico.

7.4 CAUSAS

Las principales causas que producen contaminación lumínica en el Anillo verde son las siguientes:

- El exceso de luminarias en los alrededores de las zonas verdes.
- La proximidad de edificios y luminarias a las zonas verdes.
- La altura de los edificios y las luminarias.
- La orientación de las luminarias.

7.5 LEGISLACIÓN

Legislación española

Legislación sobre prevención de la contaminación lumínica en España

Marco legislativo general:

- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
(NOTA: define contaminación lumínica y establece las obligaciones de las administraciones públicas).
- Ley 7/1985 de 2 de abril, reguladora de las bases del régimen local.
(NOTA: establece la competencia municipal en protección contra la contaminación lumínica y en prestación del servicio de alumbrado público).
- Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.
(NOTA: establece limitaciones a niveles de iluminación, resplandor luminoso

nocturno y luz intrusa o molesta. Para su correcta interpretación debe tenerse en cuenta además la Guía Técnica de Aplicación y los Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología led de alumbrado exterior).

Evaluación de impacto ambiental:

- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
(NOTA: incluye la obligación de evaluar todo proyecto con repercusión en la Red Natura 2000).
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
(NOTA: incluye las emisiones luminosas en el Estudio de Impacto Ambiental).
- Resolución de 6 de marzo de 2017, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de ministros de 24 de febrero de 2017, por el que se aprueban los criterios orientadores para la inclusión de taxones y poblaciones en el Catálogo Español de Especies Amenazadas.
(NOTA: incluye la contaminación lumínica en el listado de amenazas).
- Orden Circular 36/2015 de 24 de febrero, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles

País Vasco

- Ley de conservación del Patrimonio Natural de Euskadi. 25-11-2021 Aprobada por el Parlamento Vasco. Norma que tiene por objeto la protección, conservación, gestión, uso sostenible, restauración y mejora del patrimonio natural vasco.
- Ley de administración ambiental de Euskadi. 1-12-2020 Aprobada por el Gobierno Vasco. Norma que se convertirá en el marco legislativo para impulsar iniciativas de estrategia ambiental sostenible, y que tiene como finalidad integrar y actualizar la legislación existente en esta materia, ordenar y simplificar los procedimientos administrativos, fijar objetivos de reducción de emisiones e incorporar las medidas normativas para impulsar la lucha contra el cambio climática.

- Incorporación de nuevas cuestiones en materia de protección del medio ambiente como la contaminación lumínica, odorífera y electromagnética.
- Conservación, protección y mejora de los ecosistemas, las espacios y el paisaje de la Comunidad Autónoma.

Ordenanzas Municipales de Vitoria-Gasteiz:

- Ordenanzas Reguladoras del Plan Parcial del Sector nº 1 'Borinbizkarra' de Zabalgana.

“...Contaminación lumínica Promover la prevención y reducción de la contaminación lumínica, tal y como se señala en la Disposición Adicional Cuarta de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire...”

- Ordenanzas Reguladoras del Plan Parcial del Sector nº 4 'Elejalde' de Zabalgana.

“1.- ... a los cauces fluviales sea conservada y restaurada. 2.- Contaminación acústica. Utilizar la urbanización como mecanismo de control de la contaminación acústica 3.- Contaminación lumínica. Promover...”.

- Ordenanzas Reguladoras del Plan Parcial del Sector nº 13 'Larrein' de Salburua.

“Promover la prevención y reducción de la contaminación lumínica, tal y como se señala en la Disposición Adicional Cuarta de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección.”

- Ordenanzas Reguladoras del Plan Parcial del Sector nº 39 C de Lasarte (1ª modificación).

“...en zonas poco transitadas a partir de las 12,00 horas de la noche, como medida de ahorro de energía, así como soluciones que eviten o reduzcan la contaminación lumínica. Los encuentros de vías rodadas...”

- Ordenanzas Reguladoras del Plan Parcial del Sector nº 40 de Mendiola.

“...transitadas a partir de las 12,00 horas de la noche, como medida de ahorro de energía, así como soluciones que eviten o reduzcan la contaminación lumínica. Los encuentros de vías rodadas podrán tener...”

- Ensanche 21 - Ordenanza S02 Zabalgana Norte.

“...la contaminación lumínica. Los encuentros de vías rodadas podrán tener un aumento del 10% al 15% respecto de la iluminación de la vía de mayor intensidad de entre las concurrentes. - En el Plan Parcial...”

- Ordenanzas Reguladoras del Plan Parcial del Sector nº 19 'Arechavaleta-Gardelegui'.

“...como medida de ahorro de energía, así como soluciones que eviten o reduzcan la contaminación lumínica. Los encuentros de vías rodadas podrán tener un aumento del 10% al 15% respecto de la iluminación...”

8 DISCUSIÓN

En este trabajo uno de los principales objetivos ha sido describir las luminarias y determinar si el flujo se emite en una dirección correcta. Muchas de las luminarias que hay en las distintas zonas que se han estudiado son de tipo bola, y estas carecen de reflectores o difusores en la parte superior. Esta carencia de difusores en la parte superior de las luminarias produce que el flujo que se dirige hacia el hemisferio superior sea elevado y esto se reduce en un aumento de la luz intrusa doméstica no deseada. Por tanto, lo determinado en este trabajo sobre la dirección del flujo por encima de la horizontal y sus consecuencias negativas al iluminar fachadas de edificios coincide con lo establecido en la auditoría energética y medioambiental del alumbrado público de Vitoria-Gasteiz realizada por **Arriba, J. I. (2010)**.

Otro de los objetivos de este trabajo ha sido determinar como la contaminación lumínica afecta a la fauna que se distribuye a lo largo de las distintas zonas del Anillo verde. Para hacer referencia a cómo la contaminación lumínica afecta a la fauna se ha mencionado como la iluminación durante el horario nocturno afecta a aves y a insectos. En concreto se ha mencionado como la iluminación dificulta la orientación de las aves y en muchos casos también se producen colisiones por deslumbramiento. En el caso de los insectos se ha mencionado como la iluminación afecta a sus ciclos biológicos y por tanto a la disminución de sus poblaciones. Esta disminución de las poblaciones de los insectos se produce cuando estos pierden tiempo al verse atraídos por las luces y no dedicarse a alimentarse y reproducirse. La disminución de los insectos afecta a otras poblaciones de especies, ya que estos están situados en una zona intermedia de la cadena trófica y suponen una fuente de alimento para muchas especies como anfibios, reptiles, aves o

peces. Por tanto, en cuanto a los efectos adversos que tiene la contaminación lumínica sobre la biodiversidad se coincide con lo mencionado por **Horts, P. (1999)**.

En el trabajo también se habla del efecto de la contaminación lumínica sobre la flora. Concretamente se expone que la contaminación lumínica reduce las poblaciones de insectos, produciendo una disminución de la polinización. Además, la iluminación durante el horario nocturno altera el fotoperiodo y los procesos fisiológicos de las plantas como determina. **Font, M. R., & Morera, P. (2006)**.

El efecto de la contaminación lumínica sobre la salud de las de las personas ha sido otro punto importante en este trabajo. Se han expuesto los principales efectos adversos que tiene la contaminación lumínica sobre la salud de la persona. Muchos de los efectos adversos para la salud de las personas que se han expuesto en este trabajo también se pueden ver en el artículo científico publicado por **Chepesiuk, R. (2010)**.

El tipo de luz que se emplea en las luminarias también ha sido un tema que se ha tratado en este trabajo. Concretamente se ha expuesto que las bombillas de vapor de sodio son las que menos contaminación lumínica producen, esto se debe a que tienen menos emisión en la parte azul del espectro. Lo contrario ocurre con la radiación de la zona del visible (azul) que son las mas perjudiciales o contaminantes. **Ataz, E. M., & de Mera Morales, Y. D. (2004)**. Muchas de las zonas industriales cercanas al Anillo verde están sobre iluminadas con fuentes de luz de color blanco que son mucho más contaminantes que las fuentes de color cálido.

También se ha hecho referencia al consumo excesivo de energía y al gasto económico que supone disponer de un alumbrado ineficiente. Se ha relacionado el consumo eléctrico con la emisión de gases de efecto invernadero y el calentamiento global ya que una parte de la energía que se utiliza en el alumbrado público no proviene de fuentes renovables y en muchos casos se utilizan combustibles fósiles para producirla. **Arriba, J. I. (2010)**.

Los resultados que se han obtenido en este trabajo no se pueden contrastar con otros estudios puesto que las mediciones se han obtenido en lugares muy concretos. De todas formas, los valores obtenidos en las mediciones si que concuerdan con otros estudios realizados en zonas con características similares. **Zamorano Calvo, J., Sánchez de Miguel, A., Martínez Delgado, D., & Alfaro Navarro, E. (2011)**.

9 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que la valoración de un espacio en función de la contaminación lumínica y la biodiversidad que contiene es complejo, en este trabajo se ha podido solventar esa complejidad mediante mediciones y la recopilación de información ecológica. Se han podido valorar medioambientalmente las distintas zonas en función de las especies de flora y fauna presentes y las figuras de protección. Además, las fotografías de las fuentes de contaminación lumínica y las mediciones realizadas han permitido elaborar cartografías identificando los focos más contaminantes y las zonas más afectadas. A pesar de no tener experiencia previa en el manejo y uso de equipos, ni en el análisis de este contaminante, con las mediciones y el trabajo realizado se consideran conseguidos los objetivos marcados. A continuación, se concluyen los resultados obtenidos en las distintas zonas:

Zadorra

El Zadorra a pesar de ser una zona con alto valor ecológico y de tener figuras de protección es la zona más contaminada del Anillo verde. La distribución de su superficie a lo largo de los límites de la ciudad y las zonas industriales y residenciales con las que limita provocan que tenga mucha contaminación lumínica.

Olarizu

Olarizu es una zona que no tiene figuras de protección y no tiene tanto valor ecológico como Salburua o el Zadorra. Es una zona de valores de contaminación lumínica intermedios.

Zabalgana

Zabalgana es un espacio natural sin figuras de protección y su valor ecológico es medio. La contaminación lumínica que presenta es similar a la de Olarizu.

Armentia

El valor ecológico de la zona de Armentia es muy parecido al de Olarizu y Zabalgana y al igual que estas zonas carece de figuras de protección. Es una de las zonas que menos contaminación lumínica presenta. A pesar de que las zonas urbanas que rodean Armentia presentan un modelo urbanístico de ciudad jardín con ausencia de zonas industriales o comerciales la contaminación lumínica es algo mayor que en Salburua. Una de las posibles causas de que esta zona tenga mayor contaminación lumínica que Salburua es que está ubicada en un emplazamiento más elevado que la ciudad de Vitoria-Gasteiz y esto provoca que el aura de luminosidad que emite la ciudad le afecte con mayor intensidad.

Salburua

Esta es la zona que mayor valor ecológico ofrece y además tiene figuras de protección. Esta zona es la que menor contaminación lumínica presenta. A pesar de estar cerca de una zona industrial y de que las zonas residenciales son más densas y con edificación de mayor altura que en Armentia la contaminación lumínica es menor. Una de las causas de que esta zona sea la que menor contaminación lumínica presente se debe a la geomorfología. Salburua está situada en una zona de depresión y apartada de la ciudad. Este emplazamiento con forma de cubeta y con una densa vegetación de ribera la protegen de la contaminación lumínica, convirtiéndola en una de las mejores zonas para disfrutar del cielo nocturno.

En general en el conjunto del Anillo verde podemos decir que las principales causas de contaminación lumínica son la siguientes:

- Las estructuras que soportan las luminarias en muchos casos tienen una altura excesiva. Produciendo una contaminación lumínica en fachadas y zonas verdes innecesaria.
- Muchas zonas tienen una iluminación excesiva para el tránsito de personas y vehículos que se produce en determinadas franjas horarias.
- La densidad del alumbrado en muchas zonas es también excesiva.
- Es importante que las luminarias tengan un diseño y una orientación adecuada para alumbrar solamente los espacios que lo necesiten y así evitar la iluminación en exceso de otros espacios.
- El tipo de luz también puede incrementar los efectos adversos que produce la contaminación lumínica.
- El pavimento y los materiales que se utilizan en las fachadas de los edificios también tienen un papel importante a la hora de reflejar o absorber la contaminación procedente de las luminarias.

Uno de los objetivos de este trabajo ha sido exponer alternativas para mitigar la contaminación lumínica que se produce en el Anillo verde. Teniendo en cuenta que un sistema de alumbrado es necesario para satisfacer las necesidades de la sociedad, no se quiere dar a entender de ninguna manera que este habría que suprimirlo. Simplemente lo que se pretende es proponer ideas para conseguir un alumbrado inteligente, sostenible, eficiente y más adecuado para los tiempos actuales. A continuación, se exponen requisitos técnicos que mejorarían sustancialmente la calidad del alumbrado público.

- Usar luminarias completamente apantalladas con mínimo FHSi, para que la luz vaya hacia abajo, no hacia arriba. Existen luminarias certificadas para zonas astronómicas y de gran sensibilidad medioambiental por la Oficina de Protección del Cielo de Canarias, una referencia a nivel mundial.
- Utilizar sólo la cantidad necesaria de luz. El exceso de luz es un derroche y afecta la vida silvestre. Además, produce sobreiluminación y se incumpliría la legislación existente.
- Instalar temporizadores y atenuadores, y apagar las luces cuando no se usen. Si se necesita una iluminación de seguridad, se deberían utilizar detectores de movimiento.
- Apagar las luces de los edificios y las casas cuando no estén en uso.
- Usar sólo iluminación con una temperatura de color (TCC) de 2700K o menor para reducir la luz azul (fría) que es más dañina para muchas especies de animales.
- Trabajar aspectos de educación ambiental, con los vecinos y el gobierno local para asegurar que la iluminación exterior no perjudique a la vida silvestre.
- Utilizar la vegetación como pantalla protectora ante la contaminación lumínica.
- Utilizar materiales que absorban la iluminación y no que la reflejten.
- Utilizar estructuras de iluminación de menos altura.
- Iluminar solo espacios en los que se produzca el tránsito de vehículos o peatones.

10 GLOSARIO

Contaminación lumínica: “El resplandor luminoso nocturno o brillo producido por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión en la atmósfera, que altera las condiciones naturales de las horas nocturnas y dificultan las observaciones astronómicas de los objetos celestes” (art. 3.f de la Ley 34/2007).

Difusión hacia el cielo: Se produce al interactuar la luz con las partículas del aire, provocando que parte del haz luminoso sea desviado en todas las direcciones y en especial hacia el cielo. Así, el halo luminoso que recubre los núcleos urbanos se observa a varios kilómetros de distancia.

Luz intrusa: Se produce cuando la iluminación artificial emite luz en direcciones que salen del área donde es necesaria e invade zonas vecinas. Por ejemplo, la luz de una farola que entra en una vivienda. Frecuentemente en zonas urbanas.

Deslumbramiento: Ocasionado en personas y animales cuando una luz incide directamente sobre el ojo dificultando la visibilidad y generando una situación de inseguridad y peligro. Ello puede ser provocado por modelos de alumbrado con exceso de luz y mal dirigido.

Flujo Hemisférico Superior: El flujo hemisférico superior (FHS) se define como el flujo luminoso emitido por el equipo de iluminación (luminaria y bombilla) por encima del plano horizontal.

Luminaria: Se denomina luminaria al aparato que aloja una o varias lámparas y los equipos auxiliares. Se utiliza para reflejar y dirigir la luz, además de tener una función de protección de la lámpara.

Brillo del fondo del cielo: El brillo de cielo es la medida habitual de cuanto brilla el cielo nocturno en una noche sin luna. Es una medida de la calidad del cielo. Permite identificar fuentes de luz artificiales.

Magnitudes por arco segundo al cuadrado (mag/arcseg²): Es el valor que obtenemos del medidor de calidad de cielo o SQM por sus siglas en inglés. Nos da el valor estimado del brillo de una estrella de esa magnitud repartida en un área de un segundo de arco al cuadrado.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Solano Lamphar, H.A. (2010) Medición de la contaminación lumínica en espacios naturales: propuesta de un modelo predictivo. Tesis doctoral, UPC, Departament de Projectes d'Enginyeria. ISBN 9788469404249. Recuperado el 14 de noviembre de 2021, de: <http://hdl.handle.net/2117/94165>
- Gibson, C. (2021). Animales salvajes. Guía de bolsillo (Guías del naturalista-Reptiles-Anfibios-Terrarios). Omega.
- Woodward, E. (2021). Aves. Guía de bolsillo. Aves. Omega.
- Sitio web del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz - Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz. (s/f). Vitoria-Gasteiz.org. Recuperado el 14 de noviembre de 2021, de:
<https://www.vitoriagasteiz.org/we001/was/we001Action.do?idioma=es&accion=anilloVerde&accionWe001=ficha>
- Instituto Geográfico Nacional. (2020). Vitoria-Gasteiz, provincia de Álava. [PNOA-MA-OF-ETRS89-HU30-H50-0112.ECW]. Mapa topográfico nacional 1: 50000. [Instituto Geográfico Nacional \(ign.es\)](http://ign.es).
- Instituto Geográfico Nacional. (2020). Vitoria-Gasteiz, provincia de Álava. [PNOA-MA-OF-ETRS89-HU30-H50-0138.ECW]. Mapa topográfico nacional 1: 50000. [Instituto Geográfico Nacional \(ign.es\)](http://ign.es).
- Agencia Estatal de Meteorología. (s/f). *Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España*. Recuperado el 14 de noviembre de 2021, de <http://www.aemet.es/gl/portada>
- *Unihedron*. (s/f). Unihedron.com. Recuperado el 14 de noviembre de 2021, de <http://www.unihedron.com/>
- Software: ArcGIS [software GIS]. Versión 10.0. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2010.
- *Asesoría energética, alumbrado exterior contaminación lumínica*. (s/f). Luminicaambiental.com. Recuperado el 21 de noviembre de 2021, de <http://www.luminicaambiental.com/>
- Horts, P. (1999). Contaminación lumínica, la. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7(2), 102-111.

- Ataz, E. M., & de Mera Morales, Y. D. (2004). *Contaminación atmosférica* (Vol. 45). Universidad de Castilla La Mancha.
- Ibarra-Villalón, H. E. (2017). ¿Por qué el cielo es azul?
- Fidalgo Rosselló, M. A. (2012). Estudio de la luz intrusa que genera el alumbrado público de un edificio.
- Montano, H. A. G., Martínez, M. C., & Soza, R. S. (2020). Determinación del grado de contaminación luminosa producto de las luces artificiales en el sector Oeste de la ciudad de Managua, Nicaragua. Periodo diciembre 2016 a enero 2017. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, (33), 100-108.
- Arriba, J. I. (2010). Auditoría Energética y Medioambiental del Alumbrado Público de Vitoria-Gasteiz. In *X Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid*.
- Font, M. R., & Morera, P. (2006). La contaminación lumínica. *Derecho del Medio Ambiente y Administración Local. Fundación Democracia y Gobierno Local*.
- Chepesiuk, R. (2010). Extrañando la oscuridad: los efectos de la contaminación lumínica sobre la salud. *Salud pública de México*, 52(5), 470-477.
- Zamorano Calvo, J., Sánchez de Miguel, A., Martínez Delgado, D., & Alfaro Navarro, E. (2011). Proyecto NixNox disfrutando de los cielos estrellados de España. *Astronomía*, (142), 36-42.