

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
PROGRAMA DE ORDENAMIENTO Y GESTIÓN AMBIENTAL (PROGOA)
MAGISTER EN MEDIO AMBIENTE
CURSO ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE
PROF. NELSON MORAGA BENAVIDES

“Contaminación Lumínica, impacto sobre las poblaciones de aves
costeras de la región de Tarapacá”



Alumno:
Vinko Malinarich Torrico.

12 Junio 2010

Resumen

Este trabajo identifica y define los problemas asociados a la contaminación lumínica desproporcional e irracionalmente utilizada que impacta directa e indirectamente sobre la flora y fauna del ecosistema relacionado a dicha contaminación, específicamente sobre las poblaciones de aves costeras de la región de Tarapacá. Este aspecto se encuentra poco estudiado en nuestro país, dado que carecemos de una normativa que legisle e imponga un control y manejo de la contaminación lumínica emitida por los distintos tipos de proyectos. Además, este trabajo da a conocer mecanismos de manejo asociados a la aplicación de equipos de mejor tecnología, ahorro energético y disminución de impactos sobre la biodiversidad presente.

Abstract

This study identifies and defines the problems associated with disproportionate and unreasonable illuminated contamination used to direct and indirect impacts on flora and fauna of the ecosystem related to this contamination, specifically it on populations of shorebirds of the region of Tarapaca. This aspect is poorly studied in our country, given that lack of legislation to legislate and impose a control and management of illuminated contamination emitted by different types of projects. In addition, this work presents management mechanisms associated with the implement best technology equipment, saving reduction energetic and impacts on the biodiversity.

1. Introducción

La acción del hombre y su cultura sobre el medio ambiente está, en la actualidad, generando una seria alteración en ambos ciclos cósmicos. La actividad industrial y las formas de vida propias de las sociedades consumistas no se pueden sostener, de mantenerse el actual modelo de economía capitalista, sino es mediante un creciente consumo energético. La generación de energía eléctrica, causa unos efectos nocivos para la humanidad, sobre todo teniendo en cuenta que el 86% de la energía primaria utilizada, proviene del uso de combustibles sólidos, que causan grandes problemas ambientales asociados a su extracción, transporte y consumo. Las centrales termoeléctricas generan energía eléctrica a partir del empleo de combustibles fósiles o no, produciendo gases como el CO₂, que contribuye al efecto invernadero. (Assaf, Dutt, & Tanides, 2002)

El uso excesivo e irresponsable de la energía eléctrica en el alumbrado de exteriores es la causa de una nueva agresión medioambiental que amenaza ni más ni menos que con eliminar la noche, la contaminación lumínica se llama a la emisión directa o indirecta hacia la atmósfera de luz procedente de fuentes artificiales, en distintos rangos espectrales. Sus efectos manifiestos son: la dispersión hacia el cielo (skyglow), la intrusión lumínica, el deslumbramiento y el sobreconsumo de electricidad.

La dispersión hacia el cielo se origina por el hecho de que la luz interactúa con las partículas del aire, desviándose en todas direcciones. El proceso se hace más intenso si existen partículas contaminantes en la atmósfera (humos, partículas sólidas) o, simplemente, humedad ambiental. La expresión más evidente de esto es el característico halo luminoso que recubre las ciudades, visible a centenares de kilómetros según los casos, y las nubes refulgentes como fluorescentes.

La contaminación lumínica tiene efectos comprobados sobre la flora y fauna nocturna. La actividad biológica a pleno sol es mínima comparada con la que podemos encontrar desde el crepúsculo hasta el amanecer, es decir, que la fauna nocturna es más numerosa y precisa de la oscuridad para mantener su equilibrio.

Una iluminación indiscriminada de las playas supone una agresión para la vida marina; entre otros, la luz artificial altera los ciclos de ascenso y descenso del plancton marino (base de la cadena alimenticia). El deslumbramiento y desorientación en aves es otro de los efectos de la luz artificial. Algunas especies pierden el rumbo y otras salen a procurarse alimento más tarde de lo habitual y terminan con el estómago vacío.

El equilibrio de las diferentes poblaciones también es susceptible de romperse, puesto que la luz puede perjudicar a unas especies, ciegas para esa longitud de onda, facilitando que sean depredadas. Más del 90% de los insectos son de costumbres nocturnas y ven alterados sus hábitos nocturnos (reproducción, migración, etc.) por la presencia de potentes focos que rompen el ciclo natural del día y la noche. Cabe resaltar también otro problema añadido: la agresión que provocan las luces públicas de mercurio a esta especie. La radiación ultravioleta que desprenden estas lámparas es imperceptible para el ojo humano pero no para los insectos nocturnos. La naturaleza se sustenta mediante complejas relaciones, por lo que si los insectos se ven afectados también lo harán tanto sus depredadores naturales (pájaros, murciélagos, anfibios, etc.) como las especies vegetales que se abren por la noche, por la disminución de la polinización. (Herranz 2002)

2. Objetivo general

Determinar los efectos nocivos que puede causar la contaminación lumínica sobre la población de aves costeras de la primera región y proponer posibles soluciones.

2.1 Objetivos Específicos

- Determinar las especies de aves que se ven afectadas por la contaminación lumínica en la región de Tarapacá.
- Definir los efectos que produce la contaminación lumínica en el ciclo natural de la población de aves costeras de la región de Tarapacá.
- Determinar acciones de mejora para disminuir el impacto sobre las poblaciones de aves de la región de Tarapacá.
- Definir acciones para el desarrollo de una gestión de manejo eficiente de la energía en iluminación.

3. Antecedentes y/o Problemática

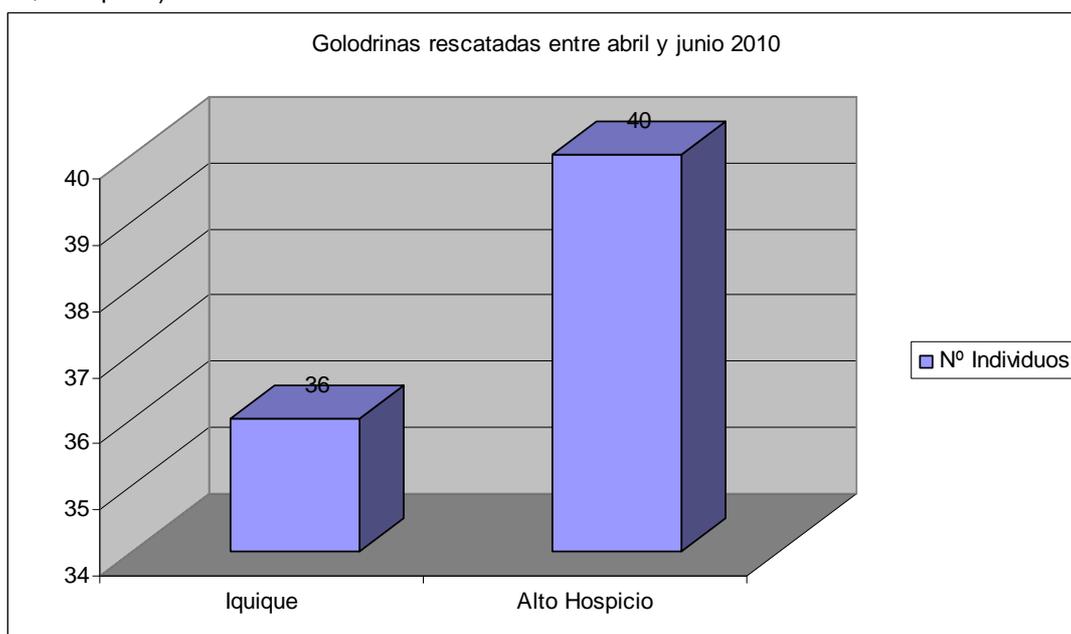
La contaminación lumínica tiene efectos comprobados sobre la flora y fauna nocturna. La actividad biológica a pleno sol es mínima comparada con la que podemos encontrar desde el crepúsculo hasta el amanecer, es decir, que la fauna nocturna es más numerosa y precisa de la oscuridad para mantener su equilibrio.

De acuerdo con el Programa de Concientización Fatal Luz (FLAP), por lo menos 100 millones de aves mueren anualmente por estructuras artificiales. Estas muertes son una combinación de desorientación debido a la iluminación artificial, luces brillantes y las torres con el parpadeo de advertencia. La gran mayoría de las muertes son causadas por las colisiones estructuras tales como edificios, torres, postes y otras estructuras hechas por el hombre debido a la confusión de las luces de demasiada potencia o demasiado brillantes. Un par de asesinatos en masa significativa de las aves se han producido en los Estados Unidos durante los últimos cincuenta años. El 07 de octubre 1954, un cantidad de 50.000 aves siguieron un haz de luz brillante iluminado por la Warner Robins Air Force Base en Georgia. Más recientemente, en 1998, cerca de 10.000 aves se estrellaron contra las torres de transmisión de radio en Kansas. Aunque estos pueden haber sido accidentes extraños, que sólo demuestra la teoría de que el uso de las luces está matando a muchas aves. En Chile, no se tiene mayor información sobre los efectos que provoca la contaminación lumínica sobre las poblaciones de aves, sin embargo se conocen muchos casos aislados, como la gran cantidad de águilas y halcones (*Geranoaetus sp.* y *Falco sp.*) que caen bajo las torres de tendido eléctrico y torres de iluminación de la segunda región, así como la gran cantidad de aves costeras (*Oceanodroma sp.* y *Phalaropus sp.*) que caen cercanas a las torres de iluminación de los proyectos portuarios de la zona de Mejillones (Sag, Región de Antofagasta).

En la región de Tarapacá, el SAG tienen registros de la caída de las mismas especies costeras víctimas en la región de Antofagasta. A modo de ejemplo, entre los meses de Marzo y Mayo de 2010 se retiró un total de 76 individuos de la especie Golondrina de mar negra *Oceanodroma*

markhami, encontradas en diferentes puntos de la ciudad de Iquique y Alto hospicio (Grafico 1), producto de alguna colisión relacionada con estructuras que emiten luz. Por otro lado, de acuerdo al plan de mitigación de rescate de especies costeras implementado entre el SAG Tarapacá y una de las empresas que explotan el Salar Grande ubicado a 89 kilómetros al sur de la ciudad de Iquique sobre la cordillera de la costa, a la fecha se han entregado reportes entre los meses de febrero y mayo de 2010 de un total cercano a los 1.200 individuos rescatados de la misma especie, todos ellos habían impactado con equipos de iluminación, tanto en el borde costero como en lugares por sobre la cordillera de la costa donde existen faenas mineras de explotación del Salar Grande (Foto 4 y 5).

Grafico 1: Golodrinas rescatadas por el SAG entre los meses de abril y junio de 2010. (Fuente SAG, Tarapacá)



Actualmente no existe una normativa que regule las emisiones lumínicas en zonas de importancia en biodiversidad para el territorio nacional, lo único que existe es el Decreto N°686/1999 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que protege la calidad de los cielos astronómicos de la región de Antofagasta hasta la región de Coquimbo, sin embargo esta normativa está referida a la protección desde el punto de vista astronómico y no en términos de protección de la biodiversidad.

4. Metodología

Para establecer una metodología de trabajo, se deben definir primeramente que es lo que estamos midiendo, desde las definiciones técnicas hasta las características de las especies de aves costeras; para finalmente y definir cuáles son los criterios de solución al problema de manera de poder realizar un plan de manejo de contaminación lumínica que genere el menor impacto posible sobre las poblaciones de aves costeras.

4.1 Definiciones Técnicas

Podemos definir la luz, como la energía visible o una radiación luminosa emitida por la excitación de un cuerpo. Cuando esta radiación se produce dentro de la zona visible nos permite ver objetos y colores.

Existen dos grandes familias de fuentes luminosas: la incandescencia y la luminiscencia. La primera de origen térmico como el sol y la segunda la emitida por las luciérnagas.

Las lámparas modernas son fuentes luminosas de origen eléctrico. Las lámparas con filamento convencional o las halógenas producen luz por incandescencia. Las de descarga como los rayos, aprovechan la luminiscencia, mientras que un diodo como las luciérnagas, utilizan la fotoluminiscencia. Además existen lámparas de luz mezcla (incandescencia/luminiscencia) y lámparas fluorescentes, cuya característica es la de aprovechar tanto la incandescencia como la fotoluminiscencia.

La iluminancia (E), expresada en Lux, es el flujo luminoso que recibe una superficie determinada situada a una cierta distancia de la fuente. Se determina por la relación entre la intensidad luminosa y la distancia al cuadrado ($\text{intensidad} \times \text{distancia al cuadrado} = id^2$). Se mide con la ayuda de un luxómetro.

La intensidad luminosa (i), se expresa en candelas (cd) y es la intensidad del flujo proyectado en una dirección determinada. Un día soleado de verano proporciona 100.000 lux a pleno sol y 10.000 a la sombra. Una noche de luna llena, 0.2 lux.

Luminancia (L), es la intensidad luminosa producida o reflejada por una superficie dada. Con ella se puede evaluar el deslumbramiento. Se mide en candelas por metro o centímetro cuadrado (cd/m^2). El flujo luminoso es la cantidad de luz emitida por una fuente, medida en lúmenes (lm) en la tensión normal de funcionamiento.

El espectro visible por el ojo humano es el situado en la franja del ultravioleta al infrarrojo, comprendiendo el campo de 400 nm a 700 nm de longitud de onda, pasando por el azul, verde, amarillo y el rojo. Cada fuente luminosa tiene un espectro distinto que le confiere unas características y cualidades específicas concretas.

Las lámparas de descarga emiten un espectro de rayas discontinuas. Las incandescentes de rayas continuas y el sol emiten todos los rayos en un espectro continuo y completo.

El tono y la temperatura de color: El tono de la luz se determina por su temperatura de color expresada en grados Kelvin (K). La escala Kelvin empieza en el punto cero absoluto ($0^\circ \text{Kelvin} = -273^\circ \text{C}$). La temperatura de color de una fuente de luz es la correspondiente a la temperatura del cuerpo negro que presenta el mismo color que la fuente.

A mayor temperatura del cuerpo negro, el color de la luz se vuelve más blanca. Una bombilla incandescente tiene p.ej. una temperatura de color de 2800°K , un tubo fluorescente luz día más de 5000°K .

Se establecen tres grupos para el color de las fuentes de luz: Blanco luz día, Blanco neutral y Blanco cálido. Dos fuentes de luz pueden tener la misma temperatura de color y poseer a causa de su composición espectral unas propiedades de reproducción de los colores muy diferentes.

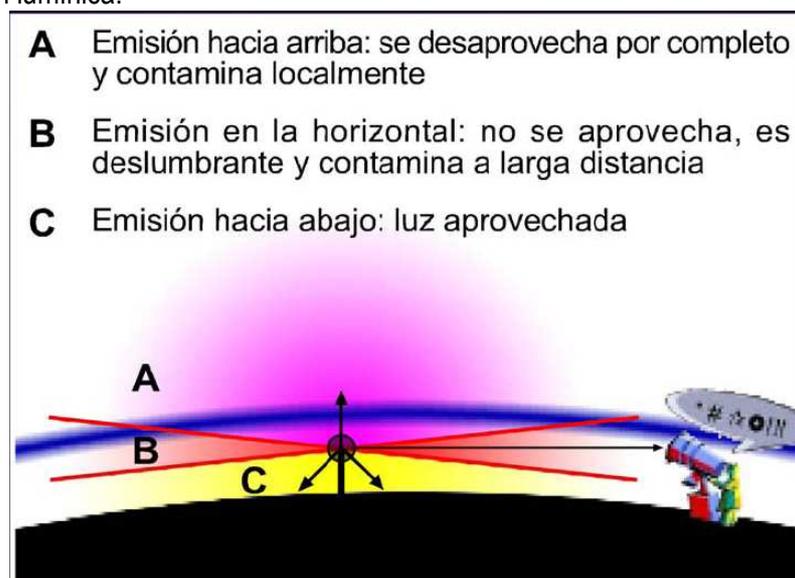
Las luces cálidas emiten una coloración que tiende al amarillo y rojo. La luz fría, por contra, tira hacia el azul y violeta, y la luz natural blanca es aquella que emite el sol con cielo despejado.

La distribución espacial de la intensidad luminosa de una lámpara reflectora o una luminaria se define como "superficie de la distribución luminosa". Este aspecto es muy importante a tener en cuenta y se representa por diferentes planos secantes en diagramas polares (curvas de la distribución luminosa). Para facilitar la comparación se relaciona la intensidad luminosa de la lámpara en la luminaria con 1000 lúmenes (lm) y con la unidad de cd/klm (Candela por kilolumen).

Por la forma que tenga la curva de la distribución luminosa se puede reconocer si se trata de una luminaria (o lámpara reflectora) de haz estrecho, ancho, simétrico o asimétrico. La luz difundida por la atmósfera causa también otros perjuicios al medio pues ilumina el suelo de modo no despreciable en la vecindad de áreas urbanas, provocando un efecto importante en la luminosidad ambiental percibida por los animales en sus hábitats naturales, dado que el cielo ocupa una fracción apreciable del campo de visión de un animal. Esto tiene efectos muy diversos según las longitudes de onda predominantes y las especies de que se traten.

No es fácil caracterizar la cantidad de contaminación lumínica de un proyecto o actividad, debido a la diferencia de sus características, a su estacionalidad, a su smog entre otros por lo que para obtener una correcta caracterización se debe establecer que entendemos por contaminación lumínica, y cual es la luz que debemos aprovechar, Figura 1:

Figura 1: Esquema general de las distintas direcciones de emisión en la generación de contaminación lumínica.



4.2 Características de especies de aves costeras.

De acuerdo a los antecedentes obtenidos del SAG, según las especies de aves que impactan con mayor frecuencia en los postes e instalaciones de alumbrado, éstas pertenecen principalmente a dos familias:

- *Oceanitidae* (Golondrinas de mar)
- *Scolopacidae* (Playeros, becacinas, pitotoy, pollitos de mar)

La familia *Oceanitidae*, son aves pelágicas cuya longitud varía entre los 16 y 25 cm. Vuelan rápida y erráticamente a poca distancia del agua. Se alimentan de pequeños organismos planctónicos que capturan de una manera característica, poniendo las patas en contacto con el agua, dando la impresión de caminar sobre ella. Ponen un solo huevo blanco, relativamente grande para el tamaño del ave.

A esta familia pertenecen las Golondrinas de Mar, las especies Chilenas son:

- Golondrina de mar, *Oceanites oceanicus*.
- Golondrina de mar chica, *Oceanites gracilis*
- Golondrina de mar subantártica, *Garrodia nereis*
- Golondrina de mar de vientre blanco, *Fregetta grallaria*
- Golondrina de mar de vientre negro, *Fregetta tropica*
- Golondrina de mar de garganta blanca, *Nesofregetta albigularis*
- Golondrina de mar peruana, *Oceanodroma tethys*
- Golondrina de mar negra, *Oceanodroma markhami*
- Golondrina de mar de collar, *Oceanodroma hornbyi*

De las especies mencionadas anteriormente, la especie que frecuentemente se encuentra en las cercanías del proyecto ubicado al sur de la ciudad de Iquique, y que es rescatada producto de colisiones con luminarias es la Golondrina de Mar negra *Oceanodroma markhami* (Foto 3), especie de la cual no se tiene mayor información sobre su ciclo reproductivo ni zonas de nidificación en nuestra región.

Por otro lado la familia *Scolopacidae*, consta de dos subfamilias:

- *Scolopacinae* (playeros, pitotoy, becacinas)
- *Phalaropodinae* (pollitos de mar)

De éstas dos subfamilias sólo se tiene registros de colisiones de la Subfamilia *Phalaropodinae*; la cual presenta características de aves pequeñas de 19 a 25 cm. de longitud. Las alas son largas y terminadas en punta, la cola es de tamaño moderado y los tarsos moderadamente largos. Los dedos están unidos por una membrana sólo en la parte basal y están provistos de lóbulos. Durante la época de reproducción las hembras tienen un plumaje más vistoso que los machos. Anidan en el suelo, poniendo 4, raramente 3 o 5 huevos de coloración café verdosa clara con manchas café y negras.

A esta subfamilia pertenecen los Pollitos de Mar, las especies chilenas son:

- Pollito de mar rojizo, *Phalaropus fulicaria*
- Pollito de mar boreal, *Phalaropus lobatus*
- Pollito de mar tricolor, *Phalaropus tricolor*

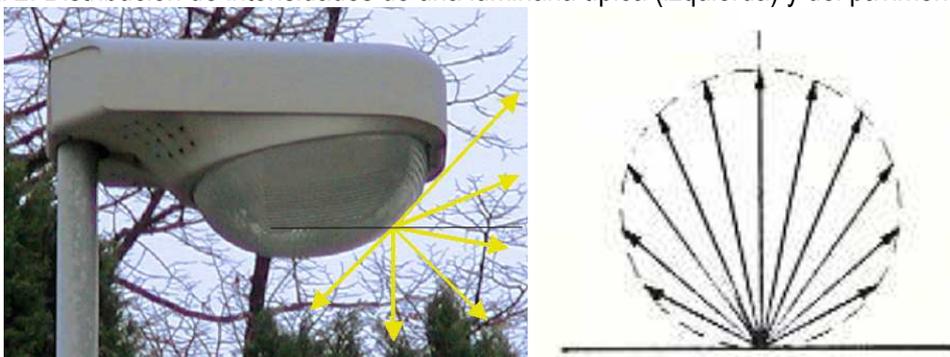
Las colisiones de este tipo de aves pertenecientes a éstas dos familias; no tiene aún una explicación cierta, sin embargo se conoce que mientras mayor sea la intensidad de luz emitida y reflejada, mayor es el grado de desorientación de las aves de paso. En la oscuridad, y, sobre todo cuando hay niebla o lluvia, cuando las aves vuelan a altitudes más bajas, la combinación de cristales y luz se vuelve mortal. Confundidas por las luces artificiales o simplemente agotadas de volar alrededor de las luces (como las polillas, cerca de una llama) las aves pueden resultar heridas o muertas. (Fatal Light Awareness Program, FLAP).

4.3 Criterios de evaluación.

El primer criterio fundamental es utilizar luminarias que eviten por completo la emisión de luz sobre el horizonte. El límite adoptado en las mejores normativas de estados y regiones europeas es de 0 cd/klm a 90° o más sobre el plano horizontal (con una tolerancia de 0,5 cd/klm) para cualquier luminaria pública o privada.

Para comprender la efectividad de este criterio frente a lo engañoso de los distintos límites emitidos al FHS (Flujo Hemisférico Superior), considérese que, en promedio, la fracción de flujo devuelta por el suelo es aproximadamente el 10% del flujo total emitido por una luminaria. Por tanto, por cada 100 lm emitidos desde una luminaria, 10 lm son reflejados irremediamente hacia arriba. Si permitimos, por ejemplo, que otros 3 lm sean emitidos directamente hacia el cielo desde la luminaria (FHS=3%), el flujo hemisférico superior del conjunto sería unos 13 lm, lo que supone un aumento de contaminación lumínica debida al FHS de aproximadamente el 30% sobre lo ya inevitable por la reflexión del suelo (Figura 2). En efecto, las luminarias eficientes tienden a tener un FHS pequeño (menos del 5% del total del flujo emitido), un exceso que, por construcción, tienden a emitir precisamente en ángulos pequeños en torno a la horizontal, donde se concentra gran parte de su emisión.

Figura 2: Distribución de intensidades de una luminaria típica (izquierda) y del pavimento



Debido a que el espesor de la atmósfera densa está limitado a unas pocas decenas de kilómetros, por razones geométricas fáciles de entender la emisión en pequeños ángulos sobre

la horizontal se propaga más lejos que la luz emitida en ángulos elevados y se suma a la luz procedente de otras fuentes lejanas, creando un efecto de adición muy eficiente a la hora de producir niveles importantes de luminosidad artificial del cielo. Por el contrario, la luz emitida a grandes ángulos o directamente hacia arriba ilumina la atmósfera sobre la fuente, escapa en su mayor parte al espacio y no se propaga demasiado ni produce adición.

Es por tanto un hecho que, aunque la emisión luminosa procedente de las luminarias pueda parecer despreciable con respecto a la devuelta por las superficies iluminadas, en realidad constituye la parte fundamental del flujo contaminante a distancias crecientes de la fuente. Debido a que la contaminación lumínica, en ausencia de obstáculos, se propaga libremente por la atmósfera hasta más de 200 km de distancia (en realidad, hasta que la propia curvatura terrestre la oculta), en la mayor parte del territorio el brillo artificial del cielo está producido por la suma de los efectos de fuentes situadas a grandes distancias.

Dicho lo anterior, se hace complejo establecer un modelo matemático propio que tenga en cuenta coeficientes de dispersión y absorción de la atmósfera según la estación, la reflexión y dispersión de pisos, fachadas y follajes, y el tipo y la cantidad de luminarias existentes de alumbrado.

Por ello, lo principal es establecer el tipo de fuentes lumínicas en un proyecto o actividad, en este caso se trataría de la actividad minera y portuaria de la Empresa SPL, ubicada a 89 kilómetros al sur de la ciudad de Iquique (Mapa 1).

Mapa 1: Ubicación de empresa SPL, Región de Tarapacá.



Para poder aplicar este primer criterio, se realizó un levantamiento de información de todo el equipo utilizado en iluminación, tanto en la faena minera como en la zona portuaria, incluyendo:

1. Iluminación privada de exteriores (letreros, anuncios, cañones de luz, edificios, etc).
2. Iluminación ornamental de lugares emblemáticos (edificios, monumentos, fuentes, árboles).
3. Vías de comunicación de gran capacidad, áreas de servicios, estacionamientos y peajes.
4. Zonas industriales y comerciales (oficinas, salas y galpones).
5. Faena minera, zona de extracción de mineral, iluminación de seguridad, etc.
6. Puertos, zonas de embarque, faros.
7. Iluminación de obras en construcción.
8. Iluminación de interiores que escapan al exterior.

Ahora bien, de los tipos de lámparas que actualmente existen en el mercado, atendiendo a sus espectros, se pueden clasificar de la siguiente forma:

Poco contaminantes:

- Vapor de sodio a baja presión: emite prácticamente sólo en una estrecha zona del espectro, dejando limpio el resto. Su luz es amarillenta y monocromática. Es recomendable para alumbrados de seguridad y carreteras fuera de núcleos urbanos. Son las más eficientes del mercado y carece de residuos tóxicos y peligrosos.
- Vapor de sodio a alta presión: emiten sólo dentro del espectro visible. Su luz es amarillenta con rendimientos de color entre 20% y 80%, dependiendo del modelo. Es recomendable para todo tipo de alumbrado exterior. Son las más eficientes del mercado después de las de baja presión.

Medianamente contaminantes:

- Lámparas incandescentes: No emiten en el ultravioleta pero si en el infrarrojo cercano. Su espectro es continuo. Su luz es amarillenta con un rendimiento de color del 100%. No es recomendable para alumbrado exterior, excepto para iluminar detalles ornamentales. Son las más ineficaces del mercado.
- Lámparas incandescentes halógenas: Son iguales que las incandescentes pero emiten algo más en el ultravioleta si no va provista de un cristal difusor (son peligrosas sin este cristal por emitir en el ultravioleta duro). Son algo más eficaces que las incandescentes.
- Lámparas fluorescentes en tubos y compactas (vapor de mercurio a baja presión): Emiten en el Ultravioleta. Su luz es blanca con rendimientos cromáticos entre el 40% y el 90%. Es recomendable para alumbrados peatonales y de jardines. Tienen una alta eficiencia. Estas lámparas son medianamente contaminantes si no se usan en grandes instalaciones y convenientemente apantalladas evitando emisión de luz sobre el horizonte.

Muy contaminantes:

- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión: Tienen una elevada emisión en el ultravioleta. Su luz es blanca con rendimientos de color inferiores al 60%. Es recomendable para zonas peatonales y de jardines. Son las menos eficientes del mercado en lámparas de descarga.
- Lámparas de halogenuros metálicos: Tienen una fortísima emisión en el ultravioleta. Su luz es blanca azulada con rendimientos de color entre el 60% y el 90%. Es recomendable para eventos deportivos importantes y grandes zonas donde se requiera un elevado rendimiento cromático. Son muy eficaces, parecidas al sodio de alta presión, pero de corta vida.

Para este proyecto, se reemplazaron sólo las luminarias consideradas como las más contaminantes.

La nueva tecnología de instalación ecoeficiente disponible en el mercado, muestra múltiples alternativas para poder reemplazar la típica luminaria poco eficiente instalada en el proyecto en cuestión. Figura 3.

Figura 3: Múltiples ejemplos de luminarias sin emisión al hemisferio superior, tanto con cierre plano como curvo (derecha)



El segundo criterio fundamental para un control efectivo de la contaminación lumínica es no sobreiluminar, es decir, no aplicar niveles de iluminación superiores a las recomendaciones internacionales de seguridad para cada uso, y disminuir estos niveles de forma homogénea a las horas de la noche en que la disminución del tráfico no justifica su mantenimiento. Esta es la única manera práctica y universal de no aumentar la contribución de la contaminación lumínica procedente de la reflexión del pavimento.

Un tercer criterio fundamental es usar lámparas cuya distribución espectral tenga la máxima intensidad en las longitudes de onda a las que el ojo tiene la máxima sensibilidad en las condiciones típicas de las áreas a iluminar (normalmente visión fotópica), evitando al máximo las

lámparas de amplio espectro (de luz «blanca»). De este modo, además de favorecer el máximo aprovechamiento de la luz para la función visual, se evita en parte invadir la región del espectro correspondiente a la visión escotópica, que es la predominante cuando se observa el cielo oscuro natural lejos de la zona donde están situadas las luminarias. En la práctica, este criterio consiste en identificar el tipo de lámpara entre las disponibles por la técnica actual, siendo estas limitadas en número y de características conocidas. Evitar la luz blanca beneficia también a la biodiversidad nocturna en general, además de producir menor difusión atmosférica que la amarilla. La lámpara elegida debe ser, por tanto, aquella que a igual flujo luminoso ocasione el menor impacto ambiental (Tabla 1).

Tabla 1: Tipo de lámpara y su respectiva eficiencia lumínica.

Tipo de Lámpara	Eficiencia (lm/W)
Incandescente	12 -18
Luz de mixta	19 -28
Fluorescentes	38 -91
Mercurio a alta presión	40 -63
Lámpara LYSL	55 -65
Inducción Magnética	70-90
Halurometálico	75 -110
Sodio a alta presión	75-130
Sodio a baja presión	100 -183

Sobre estos tres criterios de evaluación de impacto de la contaminación lumínica sobre la población de aves costeras, se realiza además un ahorro eficiente en el reemplazo de equipo utilizado en iluminar pequeñas y grandes áreas del proyecto en cuestión.

5. Resultados

Al realizar un catastro del tipo de iluminación utilizado en el proyecto se observa que la gran mayoría de la luminaria está compuesta por lámparas muy contaminantes (Fotos 1 y 2), por lo que se realizó una propuesta de cambio de tipo de lámparas conservando la intensidad lumínica entregada y el número de luminarias (Tabla 2), por lo cual se obtuvo lo siguiente:

Tabla 2: Resultado del catastro de luminaria presente en el proyecto y reemplazo de sistema de iluminación. (Fuente valorizada según tabla de precios ELIQSA SA.)

Tipo de luminaria y potencia nominal	Composición de Proyecto SPL base	Reemplazo de Luminaria Eficiente
Vapor de Mercurio 125	77	0
Vapor de Mercurio 160	500	0
Vapor de Mercurio 250	380	0
Vapor de Mercurio 400	0	0

Filamento Incandescente 100	216	0
Filamento Incandescente 200	0	0
Vapor de Sodio 70	680	982
Vapor de Sodio 100	112	612
Vapor de Sodio125	43	43
Vapor de Sodio150	974	1354
Vapor de Sodio 160	0	0
Vapor de Sodio 250	3237	3237
Vapor de Sodio 400	643	643
Vapor de Sodio 1000	7	7
Haluros Metálicos 250	74	74
Haluros Metálicos 400	69	69
Alógenos 300	157	157
Alógenos 500	35	35
Alógenos 1000	20	20
Luz Mixta 160	9	0
Total luminarias	7233	7233
Costo total por consumo (\$/año)	\$ 160.296.693	\$ 153.233.931
Costo total por mantención (\$/año)	\$ 91.548.081	\$ 91.548.081
Costo anualizado de recambio (\$/año)	\$ 30.085.053	\$ 27.329.168
Costo anual total por iluminación (\$/año)	\$ 281.929.827	\$ 272.111.181
Ahorro producto de la norma (\$/año)		\$ 9.818.646

El sector minero/portuario es claramente un gran consumidor de energía utilizada en iluminación, por lo cual posee un potencial impacto en términos de contaminación superior a cualquier otro tipo de proyecto de la región. El número de luminarias es similar a una localidad como Pozo Almonte, y con un porcentaje de ellas no aceptadas por la norma. El ahorro generado por el cambio en las luminarias es de casi diez millones de pesos anuales como máximo, reduciendo el consumo de \$281 millones a \$272 millones y los costos por menor tasa de recambio de \$20 a \$27 millones al año. En este costo está incluido el cambio del tipo de lámparas, de manera de ajustar la superficie de la distribución luminosa de manera de aprovechar al máximo la luz emitida y no generar destellos horizontales que puedan afectar a las poblaciones de aves costeras.

Además de generar un gran ahorro de energía en términos económicos, este cambio de luminaria involucra un cambio en el equipamiento para lograr la disposición hacia el hemisferio inferior de todas las luminarias, tratando de provocar la menor cantidad de emisiones de luz horizontales deslumbrante y logrando una mejor y dirección y aprovechamiento.

Este tipo de luminaria, permite un menor impacto sobre los ciclos biológicos naturales de las diferentes especies de aves costeras que habitan el litoral costero de la región de Tarapacá.

6. Discusión

Visto los resultados, no se entiende cual es la razón para no haber realizado este proyecto con una gestión en eficiencia lumínica desde un principio, previa a la instalación del proyecto, ya que este cambio genera ahorros para la empresa.

Es necesario evitar la emisión de luz por encima de la horizontal, sobre todo en el alumbrado de vías y calles de tránsito, debido al alto impacto que genera la dispersión horizontal de la luz.

Para poder evaluar la disminución del impacto de la contaminación lumínica sobre la población de aves costeras, se debe realizar necesariamente una comparación del proyecto con manejo eficiente de la capacidad de iluminación y con el proyecto original.

Se necesitan mayores estudios científicos para poder determinar cual son los ciclos ecológicos reales de cada especie que se ve afectada por la contaminación lumínica.

7. Conclusiones

El valor del total de luminarias y lámparas que deben ser sustituidas en el proyecto en cuestión alcanza casi los \$10 millones. Este valor supone que al pasar de una lámpara de mercurio a una de sodio no se cambia la luminaria, y sólo se hace al pasar de incandescente a sodio.

Desde un punto de vista financiero, al cambiar una lámpara de mercurio por una de sodio que está funcionando, conlleva poseer la capacidad financiera para asumir este desembolso no planificado. Esta inversión "no planificada" se compensa en los 6 años siguientes por la mayor vida útil de la misma y el ahorro de energía y por ende menor contaminación.

En relación a los desechos tóxicos producidos por los elementos retirados de los sistemas de iluminación, se deben evitar los más nocivos para el medio ambiente, principalmente las bombillas de mercurio, remplazándolas por otras menos contaminantes como las de sodio.

Las conclusiones desde el punto de vista técnico y operativo en aras de la eficiencia energética, son las siguientes:

- Las lámparas de vapor de sodio consumen casi la mitad que las de vapor de mercurio y lumínicamente contaminan menos.
- Disponer que los cierres de las luminarias sean planos y el material utilizado tenga gran calidad de transmisión y resista los efectos de la intemperie y el paso del tiempo.
- No utilizar luminarias tipo globo sin reflector en la parte superior ya que proyectan una gran emisión de luz por encima de la horizontal.
- Un mejor aprovechamiento de la superficie de distribución luminosa, puede generar efectos directos en la disminución de los impactos que provoca la desorientación de aves costeras.

Por otro lado, si bien el brillo del cielo nocturno se debe a diferentes factores, el factor humano está identificado como la polución lumínica debido a la cantidad y mal diseño de la iluminación artificial, lo que nos queda es contribuir a controlar y minimizar este factor, para lo cual, aparte de las medidas anotadas anteriormente, se debe sensibilizar a los profesionales de la iluminación

para que sus diseños tengan en cuenta la problemática de dicha contaminación, y que sus proyectos sean técnica, ambiental y económicamente correctos, con alternativas eficientes y ahorrativas, y creen y difundan estándares para lograr una correcta iluminación.

Dicho lo anterior, algo aún más importante es crear conciencia hacia el futuro entre niños y jóvenes haciendo campañas en colegios, instituciones y medios de comunicación, sobre los perjuicios para la salud, los ecosistemas, la ciencia, la cultura, etc., debido al incremento de esta contaminación, que aparentemente pasa desapercibida para la mayoría de los ciudadanos.

Esta divulgación debe lograr a mediano plazo, una opinión ciudadana favorable a minimizar la contaminación lumínica, un freno al crecimiento de esta, y una mejora general de la conciencia de sostenibilidad y respeto a la naturaleza. Un manejo eficiente de las luminarias tanto públicas como privadas, permiten una pronta recuperación de la inversión y un ahorro de energía y dinero, y ayuda a preservar el Patrimonio natural.

Una iluminación correcta no significa disminución de esta, significa optimización, ya que debe cumplir con los requisitos del sitio a iluminar pero a la vez elimina la cantidad de luz y por ende de energía desperdiciada al estar dirigida hacia otros sitios, por lo que solo contribuiría a la contaminación lumínica con la luz reflejada por la superficie.

Finalmente, como se a argumentado anteriormente, se debe llegar a incorporar en las legislaciones ambientales de cada país, el tema de la emisión inadecuada del flujo luminoso ya que perjudica la calidad ambiental, perturba la biodiversidad, malgasta la energía eléctrica y obstruye la visión del firmamento, sin que esto implique la disminución de los niveles recomendados de iluminación.

Referencias Bibliograficas

Assaf, Leonardo., Dutt, Gautam. y Tanides, Carlos. (2002). Impacto Ambiental de los Sistemas de Iluminación. 118.

Cabello, Alberto J. y Kirschbaum, Carlos F.. (2001). Polución Lumínica Urbana Libro: Manual AADL "Iluminación: Luz – Visión – Comunicación". Tomo 2 Cap 14. 297306.

Decreto N°686/1999 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción

Gortazar, Luís (2007, May.). El cielo nocturno, un nuevo valor ambiental para la conservación de las especies y de la calidad de vida: conferencia internacional en defensa de la calidad del cielo nocturno y el derecho a observar las estrellas. *Ambienta: la revista del ministerio del medio ambiente* (66), 4046

Herranz Dorremocha, Carlos. (2002). El Impacto Ambiental de la Iluminación nocturna artificial. 2744. Recuperado el 1 de Febrero de 2008.

Unidad de recursos Naturales, Servicio Agrícola y Ganadero de la región de Tarapacá.

Unidad de recursos Naturales, Servicio Agrícola y Ganadero de la región de Antofagasta.

Apéndices

Apéndice A (Imágenes)

Foto 1: Disposición de focos en proyecto SPL, zona portuaria.



Foto 2: Disposición de focos de vapor de mercurio en proyecto SPL, zona portuaria.



Foto 3: Fotografía de una Golondrina de mar negra, *Oceanodroma markhami*, rescatada en Punta Patillos.



Foto 4: Restos de Golondrina de mar negra, *Oceanodroma markhami*, encontrados en las inmediaciones de la zona portuaria de Punta Patillos.



Foto 5: Restos de Golondrina de mar negra, *Oceanodroma markhami*, encontrados en las inmediaciones de la zona portuaria de Punta Patillos.

