

AFECTACIÓN DE LA LUNA EN LA MEDICIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Lambertucci Luciana C.¹, Micheletto Matías J.², Starobinsky Jorge A.², Ortega Néstor F.³

¹ Secretaría de Gestión Ambiental, Municipalidad de Bahía Blanca.

² Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras, Universidad Nacional del Sur.

³ Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur.

lclambertucci@hotmail.com - matias.micheletto@uns.edu.ar
starobin@uns.edu.ar - nfortega@criba.edu.ar

Resumen:

Si bien existen distintas fuentes de contaminación, una de las que más recientemente se está tomando conciencia de su existencia, se origina por el uso excesivo e irresponsable del alumbrado en ambientes externos, y se la conoce como contaminación lumínica. Este problema altera el ambiente natural nocturno, afectando los procesos biológicos de los seres vivos que están expuestos a esta iluminación, dificulta la observación del cielo, genera inseguridad vial, diversas molestias visuales y genera un derroche de energía. Este tipo de contaminación se origina cuando se tienen inadecuados diseños de iluminación. Existen distintos factores que afectan a las mediciones de la contaminación lumínica, tal es el caso de la presencia de la luna, la nubosidad, la temperatura ambiente, etc. En este trabajo se presenta un estudio sobre uno de los factores más importantes: la Luna. Se determinó la influencia que poseen las distintas fases y su ángulo de altitud respecto del horizonte. Con toda esta información, se desarrollará un modelo con herramientas estadísticas, que permitirá cuantificar el fenómeno en forma aproximada.

1. Introducción

En forma general, se puede definir a la contaminación como una alteración nociva del estado natural de un ambiente, como consecuencia de la introducción de un agente externo al mismo (contaminante), cuya presencia causa un determinado desequilibrio en un ecosistema o en un ser vivo. Cuando este agente externo desequilibrante, de un ecosistema, es un flujo lumínico proveniente de fuentes artificiales, en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se instala un sistema de iluminación, se dice que se está en presencia de contaminación lumínica.

Esta fuente de contaminación, proviene esencialmente de un alumbrado exterior ineficiente y mal diseñado, por la utilización de proyectores de iluminación ornamental y, en ocasiones, por cañones láser. Todo esto genera un problema que cada vez es más extendido y cuyo crecimiento es mucho más rápido que el incremento poblacional [1]. La solución no es apagar las fuentes nocturnas

de luz, debido a que muchas de ellas suelen ser necesarias, lo que se debería realizar es un adecuado diseño y gestión de la iluminación.

Este problema ha generado la preocupación en distintos medios científicos, ello ha llevado a la realización de conferencias internacionales y en una de ellas, se emitió un documento, conocido como la Declaración de La Palma, que cuenta con el apoyo de UNESCO y de la Unión Astronómica Internacional, en una parte del mismo expresa: "El derecho a un cielo nocturno no contaminado que permita disfrutar de la contemplación del firmamento, debe considerarse como un derecho inalienable de la Humanidad, equiparable al resto de los derechos ambientales, sociales y culturales, atendiendo a su incidencia en el desarrollo de todos los pueblos y a su repercusión en la conservación de la diversidad biológica" [2].

Cabe acotar que el alumbrado público es responsable por aproximadamente el 50 % del brillo urbano del cielo, debido a que de la luz dirigida hacia el pavimento se refleja hacia arriba en función de la reflectancia del material, que va desde el 6 % para el asfalto, hasta un 25 % para el pavimento de hormigón [3].

Efectos de la contaminación lumínica

Esta emisión luminosa artificial nocturna, que se difunde en distintos ambientes, habitualmente urbanos, que no es aprovechable, genera distintos impactos:

La intrusión lumínica, o sea la invasión de luz proveniente del exterior en espacios privados, que penetra a través de las ventanas y provoca molestias, por ejemplo, para dormir.

La inseguridad vial y las molestias visuales, producto del encandilamiento o deslumbramiento, que se produce cuando los artefactos están mal orientados, su potencia es excesiva o existe una iluminación despareja entre dos sectores, creando dificultades al ojo humano por la adaptación.

El derroche de energía eléctrica, tiene dos consecuencias directas: la económica, porque se gasta más de lo que se necesita; y la ambiental, porque se generan innecesariamente mayores emisiones de CO₂, hacia la atmósfera, que contribuye al cambio climático.

Los efectos en el ecosistema urbano, dado que la luz nocturna artificial altera la actividad y los ritmos biológicos de algunos seres vivos, como insectos y aves. Por ejemplo, se produce el deslumbramiento de aves nocturnas, que produce la muerte de muchas de ellas en accidentes, merma la población de luciérnagas. Con relación a la flora, se aprecia que la fotosíntesis y el crecimiento de algunas especies se desequilibran, y pueden producir el envejecimiento prematuro. En lo referente a los humanos la iluminación nocturna afecta a la segregación de melatonina, hormona que produce la glándula pineal y que regula los ciclos circadianos, que pueden favorecer la aparición de ciertos tipos de cánceres [5] [6] [7], miopía [8], etc.

La degradación del cielo nocturno, está poniendo en peligro al patrimonio natural y cultural de la sociedad, debido a que al no ver las estrellas del cielo,

se pierde la percepción del Universo en el que vivimos. Además, es un impedimento para las observaciones astronómicas, ya que el resplandor producido por la luz que se escapa de las instalaciones de alumbrado, por encima del horizonte.

Cabe acotar que, además de los impactos anteriores, también se producen efectos contaminantes generados por los residuos tóxicos provenientes de las lámparas usadas, especialmente las de vapor de mercurio, debido a que la disposición final de este metal pesado genera importantes impactos ambientales.

2. Factores que afectan a la contaminación lumínica

Existen distintos factores que influyen sobre la luminosidad del cielo nocturno, algunos son naturales y otros artificiales. Los naturales se originan en cuestiones climáticas (temperatura, humedad relativa, presencia de nubes, etc.), de las estrellas, y de las fases lunares. Los artificiales provienen de la iluminación en las ciudades, carreteras, calles, empresas, etc. y por la contaminación atmosférica. Al combinarse estos dos grupos de factores, se origina el fenómeno conocido como contaminación lumínica. Por ejemplo, en una ciudad con elevada contaminación atmosférica, el nivel de luminosidad en el cielo sobre ella aumenta, debido a que hay mayor cantidad de material particulado en suspensión y la luz se refleja en él.

En particular, en este trabajo se analizará la influencia del factor natural que posee más incidencia, que son las fases de la Luna.

Evidentemente, sin realizar ninguna medición, se aprecia a simple vista que el cielo nocturno cuando hay Luna llena, está mucho más iluminado que cuando hay Luna nueva o cuando la Luna aún no ha salido del horizonte.

3. Medición de la contaminación lumínica



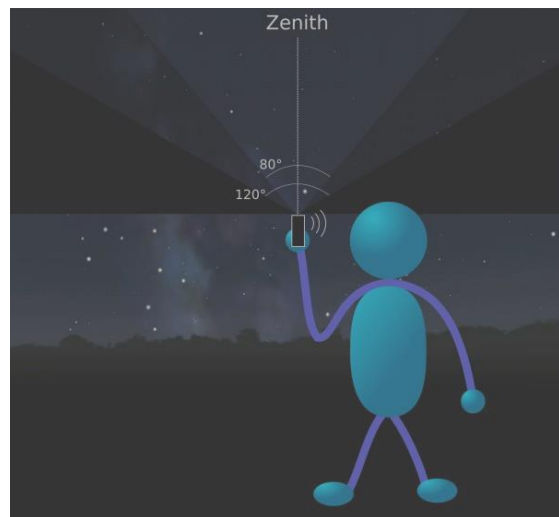
Fig. 1. - Vista del instrumento, (Izq) SQM-LR, (Der) SQM [4].

Con el objeto de cuantificar la contaminación lumínica, se utilizan medidas de luminancia, que se deben realizar en horarios nocturnos, en donde la iluminación es mucho más baja que de día. Los instrumentos que habitualmente se emplean para estos estudios son: video fotómetros con tecnología CCD, luxómetros, luminancímetros y Sky Quality Meter (SQM). Cabe mencionar, que también existen instrumentos de otros tipos.

En particular, en este trabajo se emplearon los instrumentos SQM, y SQM-LR, de marca Unihedron (ver Fig. 1), debido a que se pretende cuantificar el brillo del cielo y este es el tipo de dispositivo más adecuado para esta función [4].

El SQM es un fotómetro manual que posee con un filtro infrarrojo (que en la Fig. 1 está a la derecha del *display*), que sólo tiene en cuenta la radiación correspondiente al espectro visible, en el momento de realizar las mediciones, proporcionando los resultados en unidades de magnitudes por segundo de arco al cuadrado ($\text{mag}/\text{arc seg}^2$), estas unidades también son llamadas "squims". Para utilizarlo, simplemente se debe sostener el SQM dirigiéndolo hacia el cenit y presionando el botón rojo. Después de algunos segundos, en un *display* se presenta el valor de la medición. El dispositivo SQM-LR posee un sensor de características similares, con la diferencia de tener una interface RS-232 para realizar la lectura de los datos, y requiere alimentación de 5V.

Fig. 2.
Vista de cómo se debe operar el SQM [4].



En términos generales, se puede decir que cuanto más grande es el número, más oscuro es el cielo. Una lectura de 21,00 indicaría un sitio muy oscuro, mientras que una lectura de 16,00 indicaría una gran contaminación lumínica. El SQM mide cuánta luz hay dentro de un cono de cerca de 80°, este cono tiene su vértice en el sensor del equipo. El SQM-LR, por otro lado, posee un campo de visión (FOV, por sus siglas en inglés) más angosto, de tan solo 20°. La precisión de ambos equipos es de $0,10 \text{ mag}/\text{arc seg}^2$ [4].

En las mediciones se debe asegurar que las luces próximas no estén dentro del cono de detección del sensor y tratar que tampoco estén dentro del cono de 120°. De igual forma, debe evitarse que en este cono se encuentre la Luna y que las mediciones se realicen después del crepúsculo astronómico, cuando el sol no contribuya a ningún aumento de la luz del cielo nocturno [4].

4. Medición de la influencia de las fases lunares

Para este estudio se realizaron mediciones en el campus de la Universidad Nacional del Sur. La ciudad donde se realizaron mediciones, que posee el puerto de aguas profundas más grande del país, está ubicada en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, a unos 700 km al sur de Capital Federal.

Con la finalidad de realizar mediciones a lo largo de toda la noche, se implementó un registrador o datalogger automático empleando una computadora personal tipo *netbook* a la cual se le conectó el instrumento SQM-LR empleando un adaptador USB a RS232 y otro cable USB para la alimentación del dispositivo. Para medir humedad se utilizó un sensor DHT11 conectado a un microcontrolador Arduino, que a la vez se conecta por USB a la computadora. Mediante un *script bash* se programó la computadora para que tome muestras de contaminación lumínica y humedad cada 15 minutos durante toda la noche, desde el atardecer hasta la salida del sol.

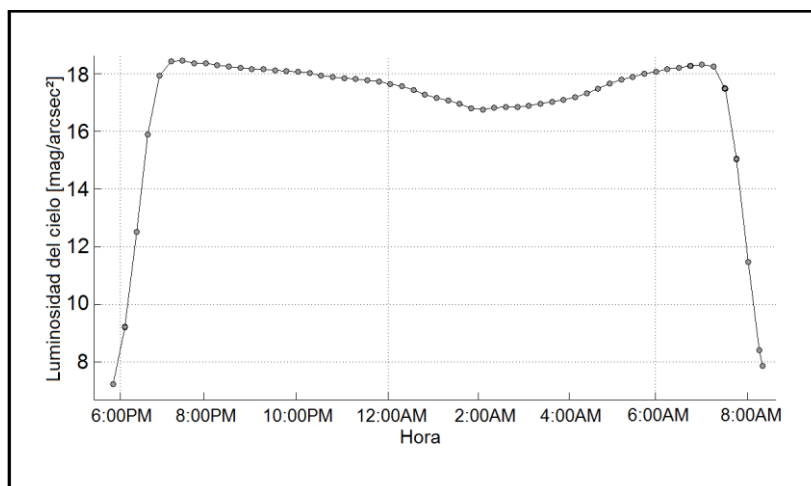


Fig. 3. Variación de la luminosidad del cielo, en función de la hora, con Luna llena (97%).

En la Fig. 3 se muestra el registro tomado la noche del 21 al 22 de junio de 2016, desde las 17:50 hs. hasta las 8:20 hs. La Luna se encontraba en fase llena, al 97%. Como se puede apreciar, ocurre una variación de la contaminación lumínica a lo largo de la noche debido al paso de la Luna por el campo de visión del sensor.

En los momentos en los que la luna no se encontraba dentro de este campo, la contaminación lumínica es mayor que en los días de luna nueva, como puede verse en el gráfico comparativo de la Fig. 4. En la Fig. 3, la máxima luminosidad (menor valor medido en mag/arc sec²) se da cuando la luna posee la máxima altitud (68,5°).

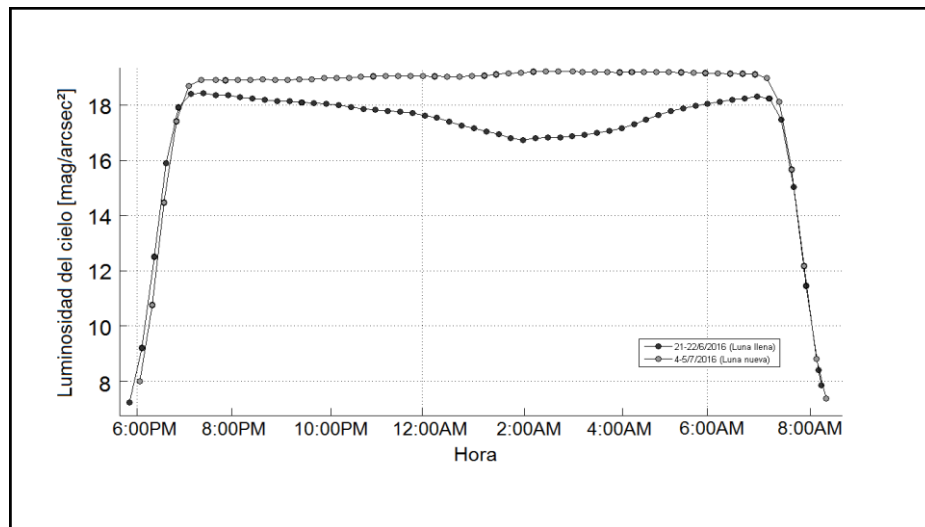


Fig. 4 - Comparativa de la variación de la luminosidad del cielo, en función de la hora, con Luna llena (97 %) vs. Luna nueva (0%).

A las mediciones realizadas se las agrupó en tres conjuntos, las realizadas con:

- Luna llena;
- Cuarto creciente o menguante; y
- Luna nueva o cuando la luna estaba debajo del horizonte.

Para realizar el análisis, se agruparon las mediciones en rangos muy acotados de temperatura y de humedad relativa, que son dos parámetros que pueden influenciar a las mediciones.

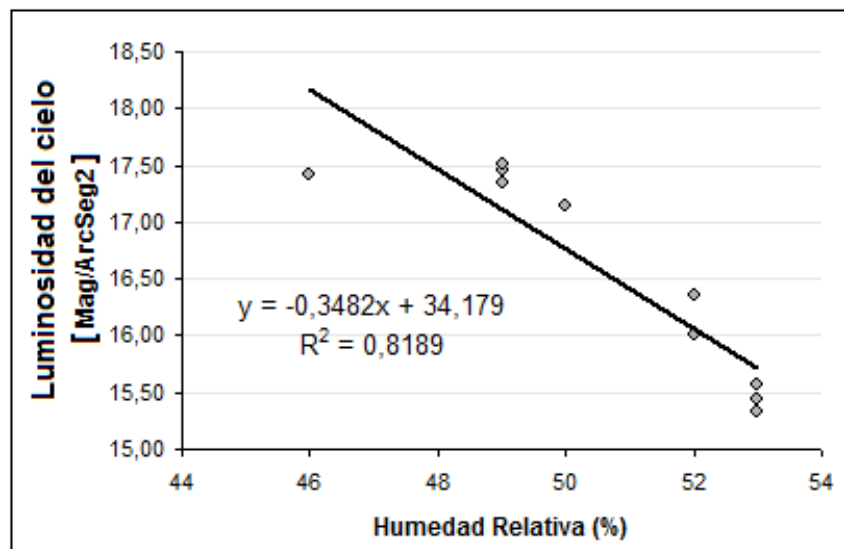


Fig. 5 - Variación de la luminosidad del cielo, en función de la humedad relativa, con Luna llena (91 al 99%) y una temperatura entre 8° y 9°.

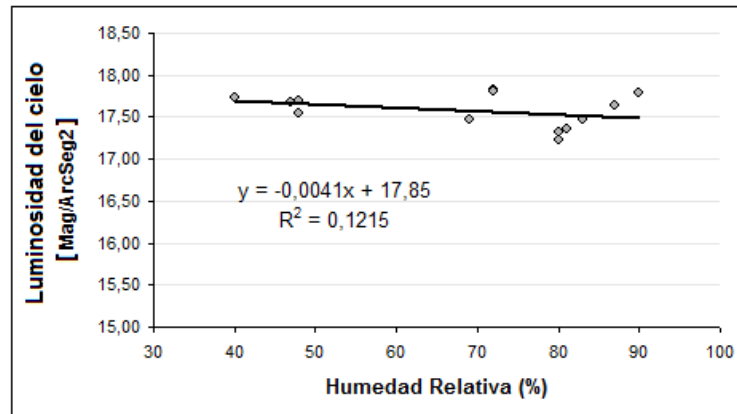


Fig. 6. Variación de la luminosidad del cielo, en función de la humedad relativa, sin Luna sobre el horizonte o con Luna nueva y una temperatura de 10°C.

En las Fig. 5 y 6 se presentan la variación de la luminosidad del cielo, en función de la humedad relativa. En la primera de ellas se midió con Luna llena, y una temperatura que variaba entre 8 °C y 9 °C, mientras que la segunda corresponde a mediciones realizadas sin Luna sobre el horizonte o con Luna nueva y una temperatura de 10°C. Cabe acotar que se realizaron figuras similares agrupando a las temperaturas, que variaron entre 11 °C y 14 °C. Cabe acotar que, desgraciadamente, la disponibilidad de mediciones fue muy variable y en algunas de las temperaturas, fue escasa la cantidad de mediciones realizadas.

En la Fig. 7 se presenta la variación de la luminosidad del cielo, en función de la temperatura, sin la presencia de la Luna sobre el horizonte o con Luna nueva y con una humedad relativa entre 65% y 69%.

Cabe acotar que se realizaron figuras similares agrupando a la humedad relativa en rangos de un 5%, entre 40% y 90%, que son los valores extremos que se midieron en las determinaciones realizadas.

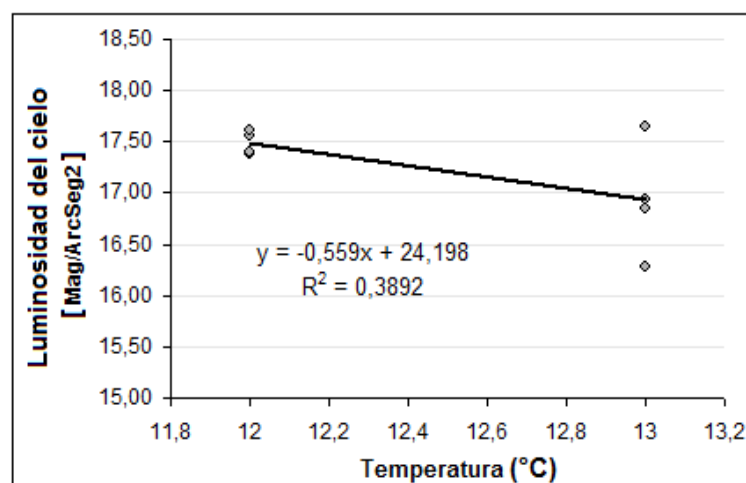


Fig. 7. Variación de la luminosidad del cielo, en función de la temperatura, sin Luna sobre el horizonte o con Luna nueva y una humedad relativa entre 65% y 69%.

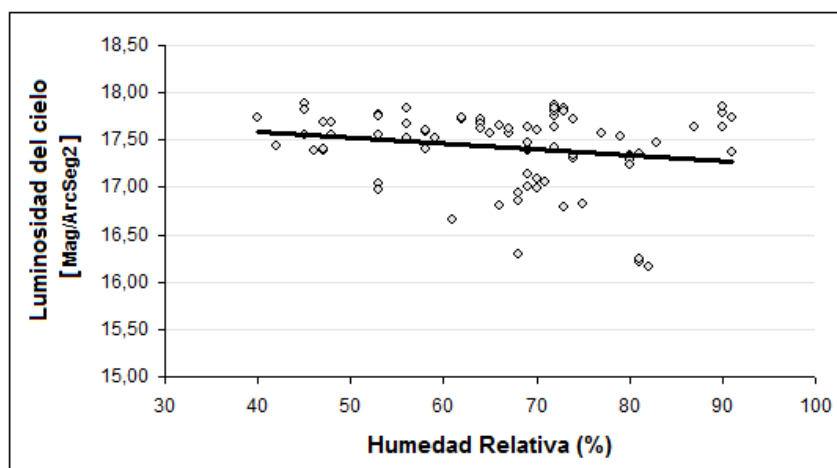


Fig. 8. Variación de la luminosidad del cielo, en función de la humedad relativa, para todas las lunas y temperaturas.

Cabe acotar que desgraciadamente, en estos rangos, la disponibilidad de mediciones fue muy variable y en algunos de ellos muy escasa la cantidad de mediciones realizadas.

Es importante acotar, que es muy difícil realizar una programación de las mediciones para aumentar la densidad de mediciones para determinados valores de temperatura y humedad relativa.

En la Fig. 8 se agrupan todas las mediciones realizadas de la luminosidad del cielo, en función de la humedad relativa, independientemente de la fase de la Luna que existía en el momento de la medición y de la temperatura.

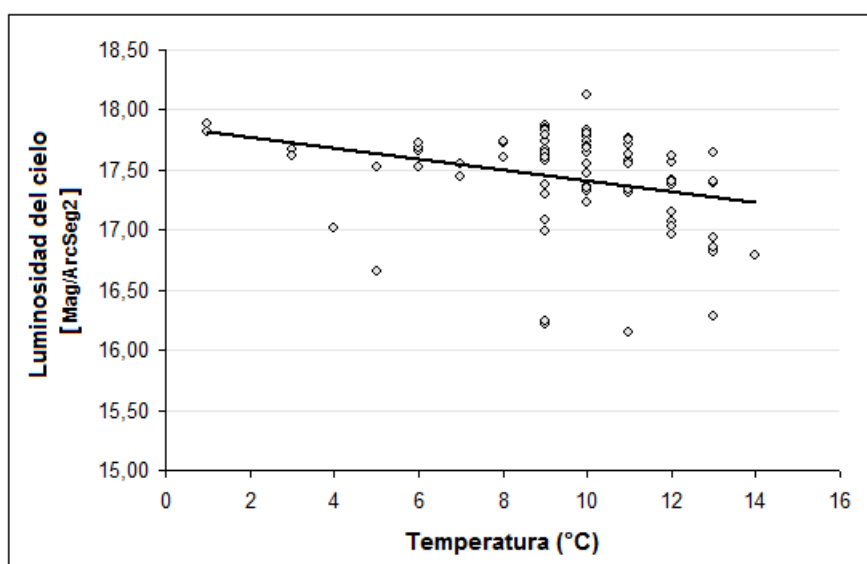


Fig. 9. Variación de la luminosidad del cielo, en función de la temperatura, para todas las lunas y humedades relativas.

Algo similar se presenta en Fig. 9 donde se agrupan todas las mediciones realizadas de la luminosidad del cielo, en función de la temperatura ambiente, independientemente de la de la fase de Luna que existía cuando se realizó la medición y de la humedad relativa.

Con respecto a la altura de la Luna y su influencia sobre el brillo en el cielo, se puede decir que todos los días donde se desarrollaron mediciones, el ángulo de elevación de la Luna estuvo por debajo del ángulo en el que registra sus mediciones el SQM. Solo en dos de los días en que se realizaron mediciones, se llegó a tener una elevación del orden de los 45°. No se encontró una correlación, que pueda explicar la influencia de la posición de la Luna, en la luminosidad del cielo.

5. Análisis de los resultados

Analizando los resultados obtenidos, se aprecia que la luminosidad del cielo varía durante la noche. En la Fig. 3, la máxima luminosidad se tiene cuando la luna posee la mayor altitud y por ende ilumina con mayor intensidad el sector del cielo que mide el instrumento. La humedad ambiental juega un papel importante. Tal que, en la medida que la humedad relativa aumenta, se incrementa la luminosidad en el cielo, medida con una disminución del valor de la mag/arc seg² (Fig. 8), esta situación se cumple, independientemente de la fase de la Luna (Fig. 5 y 6). Se puede apreciar que en la medida que crece la humedad relativa, aumenta la dispersión de las mediciones. Esta situación parece razonable, en la medida que hay más humedad en el ambiente, la luz se refleja más en las partículas de agua y la luminosidad en el cielo aumenta. En forma similar a lo que ocurre con el material particulado, que hace que las ciudades más contaminadas cuenten con una mayor contaminación lumínica. Un fenómeno similar ocurre con la temperatura (Fig. 7 y 9), que en la medida que se incrementa, aumenta la luminosidad del cielo. Estos dos fenómenos también son interesantes tener en cuenta para las personas que hacen observaciones astronómicas, tal que cuentan con una mejor calidad de cielo, las noches más secas y en época invernal. Desgraciadamente en las mediciones que se realizan, se aprecia una importante dispersión de resultados, que indican la necesidad de incluir más mediciones u otras variables que afecten al fenómeno.

Con respecto a la ubicación de la Luna en el firmamento y su relación con el brillo del cielo, no se pudo establecer una correlación. Deberían realizarse más mediciones experimentales, con la Luna en posiciones más elevadas sobre el horizonte.

6. Conclusiones

Como se puede apreciar en este trabajo, no resulta sencillo correlacionar la luminosidad del cielo que genera la Luna con los otros parámetros analizados, debido a que es un fenómeno influenciado por un número importante de variables, por lo que requiere de un mayor número de ensayos. No obstante, se observa claramente la influencia de la temperatura y de la humedad relativa. No se pudo establecer una relación entre la altura de la Luna y la luminosidad que la misma genera en el cielo.

Con estas consideraciones, se puede decir que las mediciones de la contaminación lumínica se deberían realizar en momentos de Luna nueva o cuando la Luna está debajo del horizonte, ajustando los valores en función de la temperatura y humedad relativa que exista en el momento de realizar las determinaciones.

Palabras Clave: contaminación lumínica * Luna * *Sky Quality Meter*.

Referencias bibliográficas

[1] Lamphar S., Tesis Doctoral: "Medición de la Contaminación Lumínica en Espacios Naturales", Universidad Politécnica de Cataluña, 2010.

[2] Declaración sobre la Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas, Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas, La Palma, Islas Canarias, 2007.

[3] Leiton R., Contaminación lumínica: un problema de todos, Universidad de la Serena, Chile, 1998.

[4] Unihedron, Sky Quality Meter, <http://www.unihedron.com/projects/darksky/> Acceso: julio 2013 y julio 2016.

[5] Davis S, Mirick DK, Stevens RG. Night shift work, light at night, and risk of breast cancer. *Journal of the National Cancer Institute*, 2001; 93, 1557-62.

[6] Schernhammer ES, Laden F, Speizer FE, Willett WC, Hunter D.J, Kawachi I, et al. Rotating night shifts and risk of breast cancer in women participating in the nurses health study. *Journal of the National Cancer Institute* 2001; 93, 1563..

[7] Pukkala E Ojamo M, Rudanko SL, Stevens RG. Verkasalo PK. Does incidence of breast cancer and prostate cancer decrease with increasing degree of visual impairment. *Cancer Causes Control* 2006; 17: 573-6.

[8] ANON. Urban Ecology, Living and working in harmony with the environment, Bonn, Bundesministerium fur raumordnung, Bauwesen und stadtebau, 1995.

[9] Stellarium, Versión 12.0, SourceForge, <http://www.stellarium.org/es/> Acceso: julio 2013 y julio 2016.