

Contaminación lumínica en la era LED

Adriano Anfuso

nightwise.lu doubleastudios.net

Uno de los efectos secundarios más subestimados de la sociedad moderna y una preocupación creciente en toda la comunidad astronómica. Durante décadas, los astrónomos han seguido su evolución mediante mediciones desde tierra y la vigilancia del brillo del cielo, registrando tendencias globales fiables en la luz artificial. Hoy, sin embargo, las observaciones por satélite revelan una realidad mucho más compleja. La transición global hacia la tecnología LED ha alterado de forma fundamental la composición espectral, la distribución espacial y el comportamiento atmosférico de la contaminación lumínica. La propia naturaleza del fenómeno ha cambiado en sí misma, con consecuencias para las observaciones astronómicas, incluidas las realizadas por grandes observatorios terrestres. Los satélites modernos están proporcionando una visión global sin precedentes de las emisiones de luz artificial, revelando una evolución compleja y preocupante de la iluminación nocturna. La mayoría de las evaluaciones globales de las tendencias de contaminación lumínica se basan principalmente en datos del VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), transportado por satélites meteo-

rológicos y de observación terrestre como el Suomi NPP y el NOAA 20. No obstante, aunque VIIRS es extraordinariamente sensible a la tenue radiancia nocturna, opera con un punto ciego crítico: es esencialmente insensible a la luz azul. VIIRS es un sensor pancromático optimizado para longitudes de onda dentro del rango 500–900 nm; por ello fue extremadamente eficaz para monitorizar la parte amarilla anaranjada del espectro emitida por las lámparas de sodio de alta presión (HPS), que dominaron la iluminación exterior en todo el mundo.

Desafortunadamente, el espectro de emisión de los LED blancos es particularmente intenso en la región azul, con un pico en torno a 450–460 nm, lo que significa que queda casi completamente fuera del rango de detección de VIIRS. En un estudio de 2014 realizado por C. Cao y B. Bai, se estima que aproximadamente el 34% de la potencia radiante de la iluminación LED blanca típica queda fuera de la respuesta de VIIRS, y a medida que el uso de la tecnología LED aumenta en todo el mundo, es probable que esta cifra siga creciendo. Afortunadamente, esta laguna



Figura 1: Impresión artística del resplandor artificial del cielo extendiéndose desde áreas urbanas hacia observatorios de montaña cercanos, ilustrando cómo la iluminación de ciudades distantes puede degradar la calidad del cielo nocturno incluso en emplazamientos de gran altitud. (Todas las imágenes cortesía A. Anfuso)

está empezando a cubrirse con nuevos datos procedentes del SDGSAT 1 (Sustainable Development Science Satellite 1), el primer satélite diseñado específicamente para la Agenda 2030 de la ONU para el Desarrollo Sostenible. Lanzado por la Academia China de Ciencias en 2021, proporciona datos de observación terrestre con sensores térmicos infrarrojos, de baja iluminación y multiespectrales para monitorizar las interacciones entre humanos y naturaleza, el desarrollo urbano y los cambios ambientales. Estudios comparativos entre VIIRS y SDGSAT 1 muestran una subestimación significativa y sistemática de la contaminación lumínica global, especialmente alrededor de los centros urbanos. Donde los datos de VIIRS sugerían tendencias estables o incluso decrecientes, SDGSAT 1 reveló un rápido aumento de las emisiones ricas en azul, señalando un

error de cálculo importante en nuestras estimaciones previas. La luz azul, el principal impulsor de la contaminación lumínica moderna, estaba en gran medida ausente de los conjuntos de datos que guían las evaluaciones globales y las discusiones políticas: el cielo nocturno cambió más rápido de lo que nuestros instrumentos podían detectar, y ahora es un problema significativo. Estos nuevos datos satelitales dibujan un panorama claro e incómodo: la radiancia artificial total está aumentando constantemente a nivel global, incluso en regiones donde los datos sugieren una disminución del consumo energético destinado a iluminación. El rápido aumento de la contaminación lumínica está impulsado por la creciente eficiencia de los LED en un fenómeno conocido como “efecto rebote”: la luz se ha vuelto barata —así que usamos más. Además, como suele



Figura 2: Extenso resplandor urbano que muestra cómo la luz artificial de una región metropolitana crea una cúpula brillante sobre el horizonte, reduciendo significativamente la oscuridad del cielo nocturno en grandes áreas.

ocurrir, las nuevas instalaciones son significativamente más brillantes que las lámparas que sustituyen, aunque sigan siendo más baratas, generando ahorros que con frecuencia se reinvierten para iluminar zonas que antes permanecían oscuras, como parques, fachadas arquitectónicas y corredores suburbanos. El cambio hacia iluminación rica en azul es especialmente perjudicial para la astronomía, ya que las longitudes de onda más cortas se dispersan mucho más eficientemente que las largas; se estima que la luz azul alrededor de 440 nm se dispersa unas 2,5 veces más que la luz verde amarilla (550 nm). Esto significa que un solo LED blanco contribuye de manera desproporcionada a la cúpula difusa del resplandor del cielo, incluso si su flujo luminoso total es menor que el de la lámpara que reemplazó.

Y el fenómeno no se limita a los centros urbanos: la luz dispersada puede viajar largas distancias, degradando el cielo mucho más allá de la ciudad y alcanzando zonas remotas que antes se consideraban seguras. El creciente impacto del resplandor artificial del cielo no ha pasado desapercibido en la comunidad astronómica, ya que incluso grandes observatorios terrestres, como el Vera C. Rubin en Cerro Pachón y el Very Large Telescope en Cerro Paranal, ambos en Chile, se ven ahora afectados por la contaminación lumínica, con graves consecuencias para su eficiencia y producción científica. Los grandes telescopios operan cerca de límites físicos y técnicos, y los programas de imagen de gran campo y los estudios de dominio temporal dependen de fondos de cielo oscuros y estables para detectar señales débiles y difusas. A medida que aumenta

el brillo del cielo, el impacto en la producción científica es inevitable, especialmente en estudios que apuntan a fenómenos de bajo brillo superficial. Estructuras tenues como los halos galácticos, los flujos de marea y las regiones difusas en los alrededores de las galaxias se encuentran entre los objetivos más desafiantes, ya que sus señales se sitúan solo ligeramente por encima del fondo natural del cielo. El resplandor rico en azul amplifica ese fondo de manera desigual, introduciendo gradientes y variaciones espaciales que complican la calibración y el modelado del fondo. Para añadir más dificultad, las líneas espectrales de los LED blancos, a diferencia de las de las lámparas de sodio, contaminan prácticamente todo el espectro visible, reduciendo el contraste en todas las longitudes de onda simultáneamente. Esta llamada "contaminación de banda ancha" hace que la sustracción del cielo, así como la calibración espectroscópica y fotométrica, sean mucho más complejas, incluso con técnicas avanzadas de post-procesado, con un impacto significativo en las características de emisión y absorción débiles, fundamentales para estudios extragalácticos y cosmológicos. La mayoría de estos efectos adversos no pueden mitigarse completamente mediante post-procesado: las canalizaciones de calibración avanzadas y las técnicas de modelado solo pueden reducir la contaminación hasta cierto punto, pero cuando la información se pierde en el fondo brillante, los astrónomos no pueden

hacer mucho para recuperarla. Esto nos lleva a otra paradoja, porque si bien la astronomía está entrando en una era de estudios ambiciosos y mediciones de precisión, con un renovado interés público y miles de millones en inversiones, por otro lado las tendencias de contaminación lumínica están fuera de control y corren el riesgo de limitar la producción científica de los principales instrumentos terrestres. El impacto en las estrategias de observación y en los presupuestos tampoco es despreciable: se estima que un aumento del 10% en el brillo del cielo requiere un incremento comparable en el tiempo de integración para recuperar la relación señal ruido perdida. Para observatorios multimillonarios con programas que se extienden durante décadas, esto se traduce en meses adicionales de tiempo de observación, con un impacto presupuestario significativo. Las preocupaciones sobre la contaminación lumínica están aumentando tanto entre la comunidad astronómica profesional como entre la amateur, con grandes organizaciones y observatorios mostrando inquietud por el ritmo y la trayectoria de la transición hacia la iluminación exterior moderna.



Figura 3: Un denso perfil urbano con iluminación artificial incrementa notablemente el brillo del cielo e impide la visibilidad de las estrellas.



Figura 4: Resplandor a gran escala generado por la iluminación artificial y reforzado por la dispersión atmosférica sobre un área urbanizada.

Varias declaraciones e informes de organismos internacionales señalan que el cielo es un recurso científico compartido que debe preservarse para las generaciones futuras. Particularmente en un momento en que han surgido propuestas peculiares que imaginan flotas de satélites actuando como espejos orbitales para iluminar regiones seleccionadas después del atardecer. Afortunadamente, esta creciente concienciación está impulsando debates públicos y políticos en Europa y Norteamérica, mientras astrónomos, ecólogos y urbanistas unen fuerzas para reclamar políticas nuevas y más estrictas que prioricen la

necesidad frente al exceso. Aunque siempre se puede hacer más, la realidad alentadora es que la contaminación lumínica, a diferencia de otras formas de contaminación, es uno de los pocos problemas ambientales a gran escala para los que tenemos soluciones efectivas: la luz artificial puede atenuarse, redirigirse y apagarse. Soluciones específicas, un diseño inteligente de la iluminación y campañas de concienciación pueden devolvernos rápidamente el cielo, sin sacrificar funcionalidad ni seguridad. ■

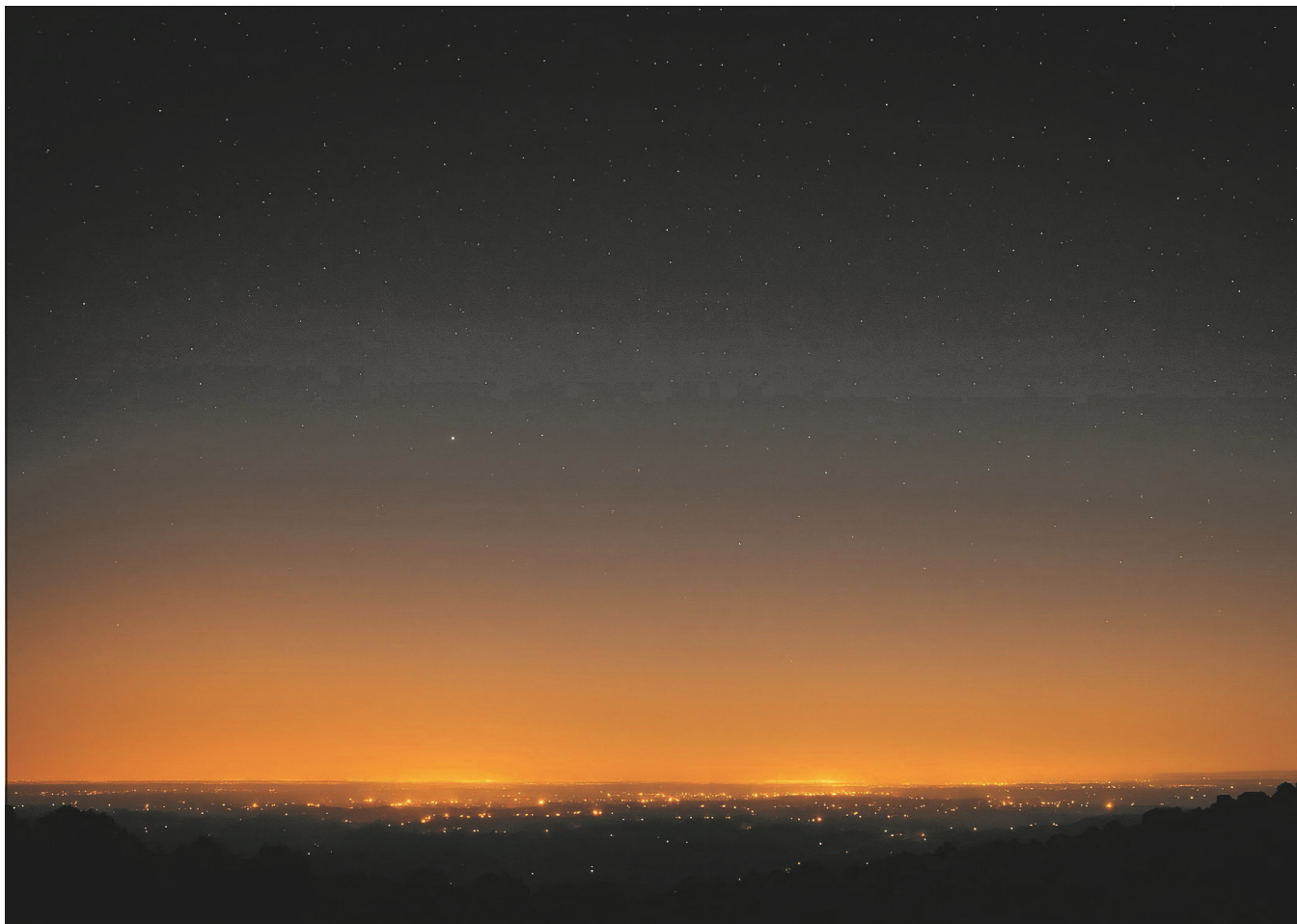


Figura 5: Dispersión atmosférica de la luz artificial, produciendo un aumento del brillo del cielo cerca del horizonte incluso lejos de las principales fuentes luminosas.



TITAGUAS Serranía Alto Turia ha obtenido en 2017 la certificación de "*Reserva Starlight*" otorgada por la *Fundación Starlight* y avalada por la **UNESCO**.

Esta certificación acredita que no hay apenas contaminación lumínica, siendo un municipio respetuoso con el cielo oscuro para la Observación Astronómica.

‘Apaga una luz y enciende una estrella’ ESCUELA DE CIENCIAS “COSMOFISICA”

c/San Cristóbal, 46 - 46178 TITAGUAS
Valencia (Spain)