

Georreferenciación colaborativa de imágenes nocturnas tomadas desde la ISS para estudios de consumo energético y contaminación lumínica

SANCHEZ DE MIGUEL, Alejandro⁽¹⁾; GOMEZ CASTAÑO, José⁽¹⁾; ZAMORANO, Jaime⁽¹⁾; LOMBRANA, Daniel⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Astrofísica y CC de la Atmósfera, Fac. CC. Físicas, Universidad Complutense de Madrid. jgomez03@pdi.ucm.es

⁽²⁾ Crowdcrafting

RESUMEN

En este momento existen más de 1.800.000 de imágenes en la base de datos del Centro Espacial Johnson procedentes de la Estación Espacial Internacional. Muchas de estas son tomas nocturnas de ciudades de todo el mundo. Su interés radica en que son imágenes de alta resolución de zonas habitadas, en las que se recogen las emisiones de iluminación, con lo que es posible cuantificar dichas emisiones.

La ubicación de las tomas es muy aproximada y los metadatos de las imágenes hacen referencia a las características técnicas de exposición, instante y otros relacionados con la fotografía en sí. Para llevar a cabo estudios de consumo energético y contaminación lumínica, es necesario georreferenciarlas.

En este proyecto se han desarrollado tres aplicaciones, y un sitio web traducido a 13 idiomas, para clasificar la calidad de imagen, la ubicación de la ciudad y su Georreferenciación lo más precisa posible. Dado el gran volumen de imágenes, ha sido necesario recabar la participación de voluntarios de todo el mundo a través de las aplicaciones montadas en la plataforma Crowdcrafting

El proyecto, apoyado por la NASA y la ESA, ha recopilado hasta el momento, más de 455.000 respuestas de todo el mundo, y más de 1.000 imágenes han sido georreferenciados. Estas podrán consultarse también de forma abierta a través de Google Maps Engine.

Palabras clave: Ciencia Ciudadana, ISS, Contaminación Lumínica, Análisis Espacial. Estación Espacial Internacional

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe un catálogo de más de 1,800,000 imágenes tomadas desde la Estación Espacial Internacional (ISS), disponibles a través de la base de datos del Johnson Space Center (The Gateway of the Astronauts). Aunque un gran número de ellas tienen asociados metadatos para identificarlas, solo en un número muy reducido su localización. Esta información, a lo sumo, consiste en la identificación del centro de la imagen con sus coordenadas geográficas, o de la posición del punto subterrestre de la ISS en el momento de la toma. Existe un pequeño proyecto para identificar las imágenes (Image detective), pero este no permite la geolocalización precisa de las mismas, ni mucho menos su georreferenciación.

Si bien las tomas diurnas son relativamente fáciles de identificar, las nocturnas presentan grandes problemas. No existen referencias que ayuden, la escala es difícil de determinar, la orientación se pierde, etc.

El objetivo de este trabajo es poder georreferenciar cada imagen nocturna para poder situarla sobre la cartografía existente, y de esta forma identificar las fuentes luminosas y la cantidad de energía proyectada a la atmósfera procedente de las mismas.

En este proyecto se han desarrollado 3 aplicaciones y un sitio web, traducido a 13 idiomas. Con ellas es posible la identificación, localización y georreferenciación de todas las imágenes. Aunque en una primera etapa se abordó el trabajo por parte del grupo de integrantes del GUAIX (Grupo de Astrofísica Extragaláctica e Instrumentación Astronómica) y algunos alumnos voluntarios, rápidamente se comprendió la magnitud del trabajo y se estudiaron diversas soluciones. Finalmente se optó por desarrollar unas aplicaciones aprovechando la plataforma de ciencia ciudadana Crowdcrafting. Esta es una plataforma abierta que permite a un gran número de voluntarios ayudar en diferentes proyectos científicos.

El sistema descarga las imágenes desde el servidor FTP del JSC en bruto, a la vez que obtiene los metadatos de cada una desde la base de datos. En primer lugar se hace una selección automática de las posibles tomas nocturnas, utilizando nuestro propio algoritmo basado en el histograma de cada una. Las seleccionadas se introducen en DarkSkies, y los voluntarios pueden hacer una primera clasificación proporcionando información sobre la calidad de las mismas. Las mejores pasan a LostAtNight, donde los usuarios pueden localizar la imagen usando diversas herramientas de ayuda. Por último, una vez identificada aproximadamente la posición, pasan a NightCitiesISS donde pueden ser georreferenciadas con detalle.

El resultado final es un conjunto de puntos sobre la imagen, y su correspondiente posición geográfica en longitud y latitud. Mediante otro conjunto de scripts ya offline, utilizando Python y GDAL, se crea la imagen GeoTIFF georreferenciada, que es la que se utiliza como una capa cartográfica para la identificación de las fuentes luminosas.

Hasta el momento, más de 500000 respuestas se han ido recopilando y más de 1000 imágenes han sido georreferenciadas, correspondientes a todo el planeta. Ya que la información puesta a disposición por NASA es de uso abierto, uno de los objetivos que se tuvieron claros desde el principio, fue proporcionar todas las herramientas y resultados con la misma filosofía. De esta manera el código fuente,

las imágenes originales y las georreferenciadas, se han puesto a disposición de forma abierta por medio de diferentes plataformas.

Una de las últimas repercusiones del proyecto ha sido su selección por parte de Kickstarter, para formar parte de su primera campaña de apoyo a proyectos científicos.

El uso de este tipo de imágenes va más allá de colocarlas sobre un mapa. Su uso científico comienza cuando se utilizan para el estudio de las emisiones y su comparación con el consumo energético, como se puede ver en trabajos anteriores en Zamorano, J et al 2011

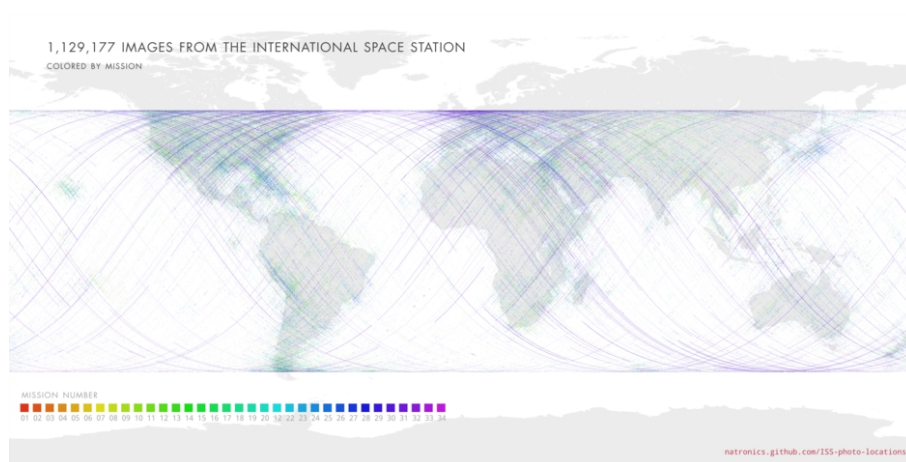


Figura 1: Conjunto de imágenes tomadas desde la ISS y área de cobertura de cada misión Natronics, 2013

Con objeto de conocer la posición de la ISS en cada momento, y determinar la zona fotografiada, ha sido necesario conocer la posición de la misma en su órbita. Para ello se han utilizado los elementos orbitales publicados diariamente por el JSC en formato TLE

```
1 25544U 98067A 14299.52559916 .00018781 00000-0 32583-3 0 3068  
2 25544 051.6452 168.5399 0002517 306.8314 123.9571 15.50895423911704
```

Tabla 1: Elementos orbitales para una fecha

Epoch (UTC):	domingo, 26 de octubre de 2014 12:36:51
Eccentricity	0,0002517
Inclination:	51,6452°
Height of perigee	412 km
Height of apogee:	416 km
Longitude of ascending node	168,5399°
Argument of perigee	306,8314°
Revolutions per day	15,50895423
Mean anomaly	123,9571°
Number of orbits	91170

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

En términos científicos, por contaminación lumínica se entiende la alteración de la oscuridad natural del medio nocturno producida por la emisión de luz artificial. Se trata de uno de los problemas ambientales que más se ha incrementado en los últimos tiempos, debido fundamentalmente al alumbrado nocturno de exteriores y con una localización asociada al medio urbano, pero con repercusiones de largo alcance. Sus impactos negativos son muy evidentes y afectan no sólo al paisaje y los ecosistemas, alterando su biodiversidad, sino también a la salud humana.

Los mapas globales de contaminación lumínica disponibles indican que, desde finales de los años 90, no existe ninguna zona del territorio nacional desprovista de luz artificial parásita en la atmósfera (Cinzano, P., Falchi, F. & Elvidge, C.D. 2001). Se trata de un factor de degradación del entorno natural de origen artificial que afecta al paisaje y los ecosistemas de todos los espacios naturales protegidos existentes, y en particular en los situados en las inmediaciones de entornos urbanos. La contaminación lumínica prácticamente no ha sido contemplada en los marcos de protección de dichos espacios, y solo en casos aislados, como el Parque Natural de la Albufera de Valencia o el Parque Nacional de Doñana se han comenzado a aplicar medidas de diagnóstico, estudio y/o prevención.

La contaminación lumínica afecta de manera específica a todas las especies que desarrollan su vida activa total o parcialmente en un medio nocturno, siendo conocidos ejemplos de muy diversos grupos taxonómicos como mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces, invertebrados y plantas (Rich, C. & Travis Longcore, T 2005).

Además de estos problemas, la iluminación artificial es una gran consumidora de recursos energéticos. El consumo total de energía en España para alumbrado público asciende a 3.400 GWh/año, lo que se traduce en 475 millones de euros y en 1,5 millones de toneladas de CO₂.

Los avances en el estudio de la contaminación lumínica y sus consecuencias han motivado que recientemente se realice un esfuerzo legislativo para afrontar este fenómeno. No obstante, este empeño legislativo no se ha beneficiado del conocimiento científico contemporáneo sobre el fenómeno en su dimensión real. Entre otras causas, debemos culpar a la dispersión del conocimiento debido a su carácter multidisciplinar y a la excesiva compartimentación entre disciplinas.

Los estudios científicos sobre contaminación lumínica están cobrando un gran auge en España en los últimos años. Ya se ha mencionado que es un tema de investigación pluridisciplinar pues, aparte del problema energético y medioambiental, el abrillantamiento del cielo nocturno degrada la calidad de las observaciones astronómicas (Astronomía), afecta al comportamiento y reproducción de los animales de hábitos nocturnos (Biología) y descontrola los ritmos circadianos de los humanos (Medicina) por citar tres de las áreas de investigación más importantes.

La relación entre los pequeños grupos de investigadores españoles es muy escasa incluso dentro de las mismas áreas de investigación. Por ejemplo aunque existen varios equipos midiendo el brillo de fondo de cielo no se han establecido todavía los estándares de toma de datos ni se ha creado una base de datos a nivel estatal con esta información.

Por otra parte, los investigadores presentan sus trabajos en los foros (congresos, revistas, etc.) de su área de conocimiento y los investigadores de otras áreas sólo

tienen noticia de sus resultados a través de las revistas de divulgación en muchos casos. Proponemos por ello fomentar el conocimiento y coordinación de los grupos con vistas a impulsar estos estudios científicos a nivel nacional.

PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Las imágenes se realizan a bordo de la ISS utilizando diferentes cámaras y focales. Estas se descargan periódicamente a los servidores del JSC y se ponen a disposición de los investigadores y el público en general, junto a unos metadatos básicos. Una gran número de ellas están hechas durante la noche, por lo que se puede apreciar en ellas las diferentes fuentes de iluminación. Esta iluminación proviene principalmente, del alumbrado público de calles y edificios. La intensidad luminosa en cada imagen está relacionada con energía disipada al espacio, y las luces brillantes revelan un exceso de iluminación en esa zona.

La detección de la contaminación lumínica se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante inspección visual de estas imágenes. Estas hablan por si mismas y son una herramienta excelente para poner de manifiesto el problema. Desafortunadamente, la compresión de datos utilizada por el formato JPEG implica una pérdida de señal de información al ser almacenadas en este formato. Para los estudios científicos, hemos utilizado las imágenes originales en ficheros RAW.

El detector CMOS, el utilizado en las cámaras Nikon DS3, tiene una respuesta lineal, por lo que la intensidad almacenada en cada píxel es proporcional a la energía emitida. Esto hace posible realizar comparaciones directamente entre diferentes zonas de la imagen. Así mismo el color obtenido en las tomas puede obtenerse directamente del valor de las diferentes bandas almacenadas en los canales. A partir de esta colorimetría se determina el tipo de lámpara responsable de la emisión.

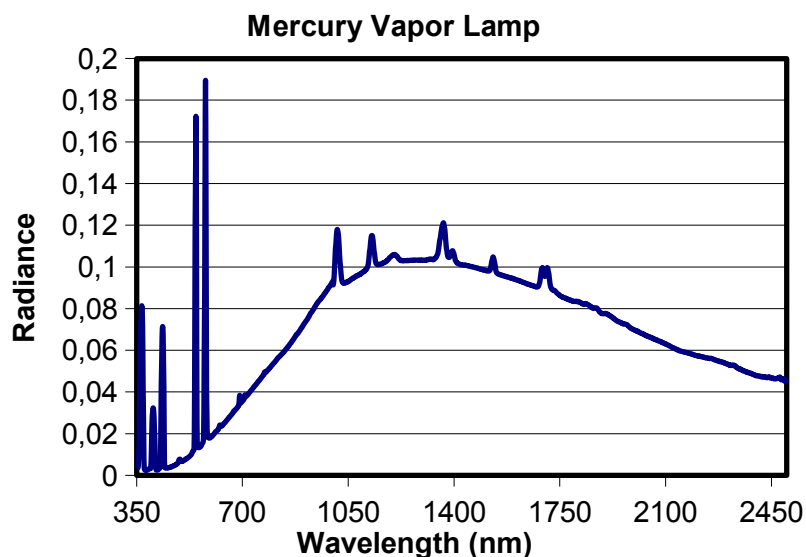


Figura 2: Espectro de emisión de una lámpara de Vapor de mercurio

Por esta razón, se solicitaron las imágenes originales de cada una de las que se han ido georreferenciado.



Figura 3: Imagen en color real del área metropolitana de Madrid NASA iss026e026493.nef.

Cada imagen está catalogada con un número, misión y rollo, con metadatos con información técnica sobre la toma. Las imágenes están disponibles en un servidor FTP desde el que se descargan usando un script al efecto. Un ejemplo de estos metadatos son:

Exif data: Nikon D3S f=200mm f/4 1/15s 12800 ISO 4256x2832 pixels 2011:02:11 23:11:50

Después de la primera descarga, las imágenes fueron tratadas mediante un algoritmo que permite obtener su histograma. En la figura 4 se observa como difieren los procedentes de imágenes diurnas y nocturnas.

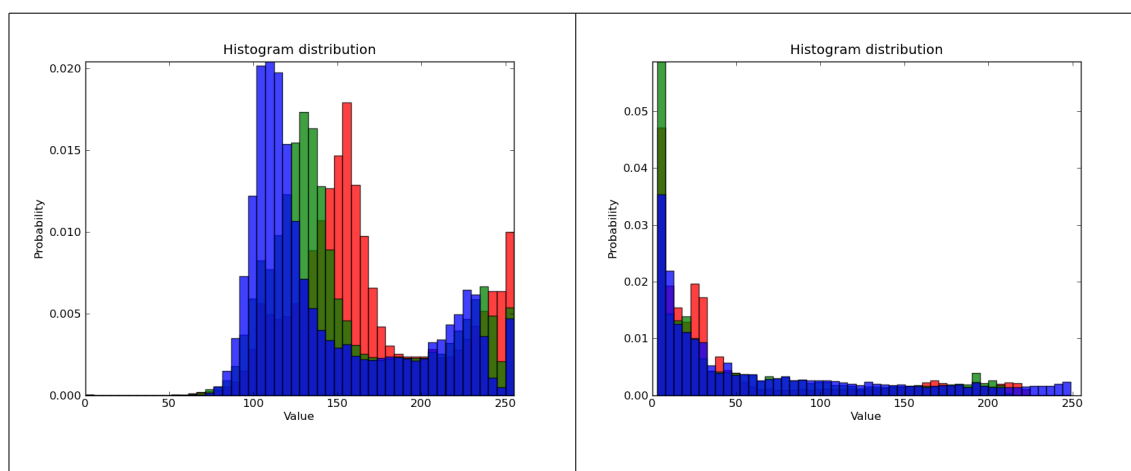


Figura 4: Histograma de las imágenes diurnas y nocturnas

Esta metodología no permitía conocer nada acerca de la calidad (con o sin nubes) o la localización de las imágenes (ciudades, campo abierto), además de obtenerse falsos positivos procedentes de tomas de puestas de sol o zonas estelares. Posteriormente se diseñó una aplicación que permitía a un usuario llevar a cabo la discriminación y además otorgar una calidad a las mismas.

Enseguida se puso de manifiesto que el trabajo de inspección visual era ingente y los integrantes del grupo no podían hacer frente a la gran cantidad de imágenes disponibles. Por este motivo se buscó finalmente un sistema que involucrara a un mayor número de personas dedicadas a la clasificación y que fuera lo más automático posible.

APLICACIONES DESARROLLADAS

Una vez identificado el problema, se marcó el objetivo de desarrollar un sistema lo más sencillo posible que atrajera al mayor número de colaboradores posible. Ya que las imágenes proporcionadas por el JSC son libres, se marcó el objetivo inicial de que todo el desarrollo se haría con software libre, y tanto el código como los

Se eligió la plataforma de Ciencia Ciudadana Crowdcrafting, que se detalla más abajo, y se desarrollaron tres aplicaciones sobre ella, más una web informativa. Esta última centraliza el acceso a las otras tres y muestra información acerca de todo el proyecto



Figura 5. Sitio web www.citiesatnight.org

En ella se incluyen 3 mapas. Uno indicando las ubicaciones donde se encontraba la ISS en el momento de las tomas, otro para mostrar las localizaciones identificadas por los usuarios y el último con las posiciones de las imágenes listas para georreferenciación.

La lógica de las aplicaciones se ha implementado en JavaScript, para la representación de los elementos geográficos se ha utilizado el framework proporcionado por OpenLayers3. Cada aplicación trata un aspecto independiente del problema y está dirigida a un público objetivo con diferentes habilidades, de menor a mayor complejidad. Las aplicaciones se organizan en tareas. Cada una de ellas consiste en una pregunta concreta con respuestas cerradas para permitir una clasificación automática. A su vez, cada imagen en cada una de las aplicaciones, es repetida para diferentes usuarios, con lo que la misma tarea se repite entre 10 y 15 veces, dependiendo de su complejidad. Estas aplicaciones se describen a continuación.

DarkSkies

Esta es la más sencilla y está dirigida al visitante general. Cualquier escolar puede llevar a cabo sus tareas sin ningún conocimiento científico. En ella el usuario debe responder si la imagen corresponde a una toma nocturna, si se trata de una ciudad, un astronauta, una aurora boreal, o simplemente no se ve nada en ella. También se le pide una evaluación básica de la calidad. Si la imagen es borrosa, clara o contiene nubes.

En este momento se han procesado 112563 tareas por 17070 voluntarios

Acceso: <http://crowdcrafting.org/app/darkskies/>

Código fuente: <https://github.com/pmisson/darkskiesISS>

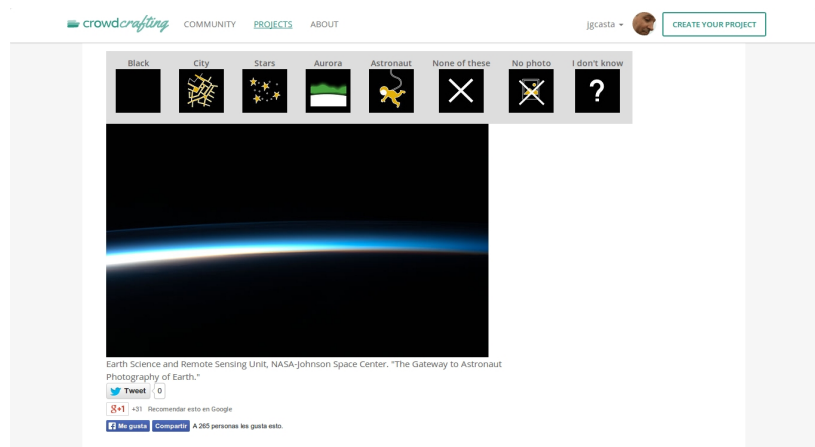


Figura 6. Interfaz de usuario de DarkSkies

LostAtNight

El resultado de las imágenes catalogadas como nocturnas y de ciudades proporcionadas por DarkSkies, pasan a LostAtNight. De estas solo sabemos que se tomaron durante la noche y que corresponden a una ciudad, pero no tenemos mucha idea de cuál se trata. Como referencia solo tenemos la posición en la que se encontraba la ISS en el momento de la toma, bien porque aparece en los metadatos de la imagen o porque la calculamos a partir de los elementos orbitales de la misma, de la tabla 1.

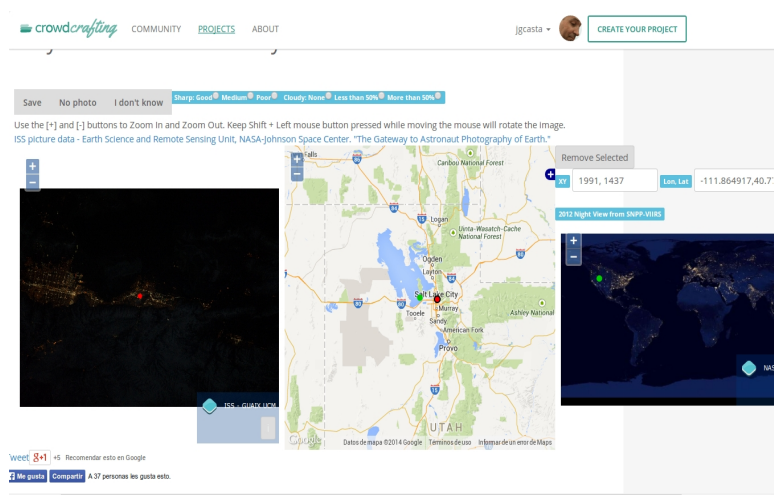


Figura 7. Interfaz de usuario de LostAtNight

En esta aplicación, el usuario se muestra, además de la imagen a estudio, un mapa en la parte central con la cartografía disponible procedente de Google Maps y Open Street Map. El punto central de referencia de la cartografía se toma de la posición calculada de la ISS para ese momento. Sincronizado con él este, se muestra a la derecha el último mapa nocturno, reconstruido con imágenes tomadas en 2014 por el sensor VIIRS embarcado en el satélite SUOMI (VIIRS 2015). Este ha

sido tratado por el equipo del proyecto para proporcionar una imagen nocturna más real. Sobre él también se ha marcado la posición del punto subterrestre de la ISS. Como ayuda para delimitar la zona, se ha añadido un círculo de 500 km de radio desde este punto

Ambos mapas se proporcionan para ayudar al usuario a identificar la ubicación de la ciudad que aparece en la imagen con la mejor certeza. La imagen permite ser ampliada o rotada para ayudar en lo posible a la identificación

El objetivo final es identificar un punto sobre la imagen y su correspondencia sobre el mapa central, no siendo necesaria gran precisión. Una vez marcadas, se almacenan estas en los campos de texto de la derecha, pasando a guardarse al pulsar sobre el botón de salvar, lo que da acceso a poder clasificar otra imagen. También se pueden dar datos sobre la claridad de la imagen. Es difícil poder identificar algunas, por lo que se permite pasar a otra en cualquier momento.

En este momento se han procesado 6881 taras por 7639 voluntarios

Acceso: www.crowdcrafting.org/apps/LostAtNight

Código fuente: <https://github.com/jgcasta/lostatnight>

NightCitiesISS

Ahora que se ha identificado mínimamente la ciudad que aparece en la imagen, es posible llevar a cabo una georreferenciación más ajustada. Para ello, estas pasan a NightCitiesISS. Dado que el público en general no está habituado a este tipo de herramientas, se ha intentado diseñar un interfaz lo más intuitivo y sencillo de utilizar

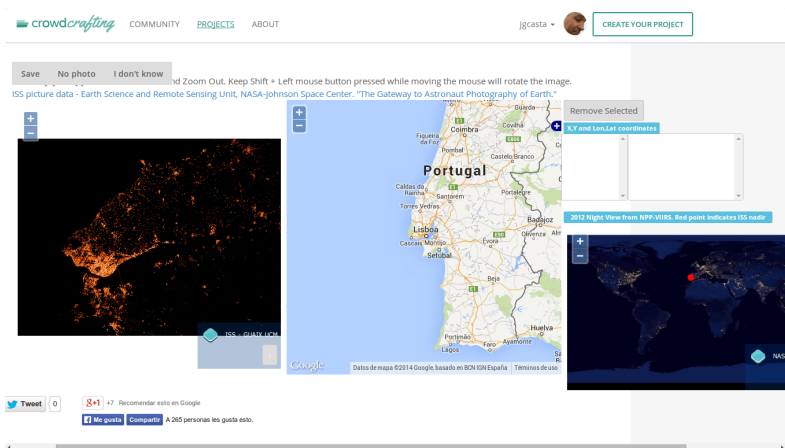


Figura 8. Interfaz de usuario de NightCitiesISS

El objetivo es marcar pares de puntos, uno sobre la imagen y otro sobre el mapa, de forma que la posición X,Y, y las coordenadas Longitud y Latitud queden relacionadas. Se ha dividido la imagen en 9 partes para pedir al usuario que, siempre que sea posible, distribuya sus marcas repartidas. Estos puntos, son intersecciones de calles, plazas o cualquier elemento del terreno especialmente distinguible, que se reconoce después en el mapa

De nuevo se puede rotar y ampliar o reducir la imagen a voluntad para identificar con mayor facilidad cada ciudad, junto a los mapas central con las capas de Google Maps y Open Street Map.

En este momento se han procesado 2112 taeras por 4835 voluntarios

Acceso: www.crowdcrafting.org/apps/NightCitiesISS

Código fuente: <https://github.com/jgcasta/nightcitiesiss>

FUENTES DE DATOS

Los datos utilizados los podemos dividir entre cartografía e imágenes. Las últimas proceden de la ISS, aunque hemos utilizado las proporcionadas por el sensor VIIRS, como se ha dicho, para generar mosaicos. Estas tienen una resolución de 750 metros por píxel y ayudan al usuario a la hora de identificar las zonas nocturnas, que difieren sustancialmente de las tomas diurnas. Estas imágenes las distribuye el JSC con un licenciamiento que permite su libre uso para cualquier tipo de actividad, tanto científica como comercial.

Las fuentes de cartografía se han elegido siguiendo dos criterios. Por una parte debían ser fuentes lo más abiertas posibles, y por otra que tuvieran una buena cobertura de la mayor parte posible del planeta.

CROWDCRAFTING. UNA PLATAFORMA DE CIENCIA CIUDADANA

Para soportar el sistema necesitábamos una plataforma lo suficientemente robusta que nos permitiera dar cabida al mayor número de visitantes posible, y que a la vez tuviera la posibilidad de admitir nuestros desarrollos. Encontramos Crowdcrafting (Crowdcrafting 2015).

Este es un servicio de alojamiento de código abierto basado en el framework de PyBossa (PyBossa 2015). Su objetivo es proporcionar una plataforma 100% abierta para ciencia y datos, donde los ciudadanos puedan participar en proyectos científicos y crearlos por si mismos.

Código fuente: <https://github.com/PyBossa/pybossa>

Está constituido por una arquitectura muy simple con un servicio web y una base de datos. El back-end está escrito en Python sobre una base de datos PostgreSQL mientras el front-end aprovecha las características de html5, CSS3 y JavaScript

Una de las principales características de PyBossa es su API aprovechando servicios RESTful que permiten que servicios de terceros, como el nuestro, pueda comunicarse con el sistema central para la creación de aplicaciones, tareas, descarga de datos etc. Algunos otros usuarios de estos servicios son CKAN o EpiCollect.

La plataforma permite la creación de las tareas descritas en los apartados anteriores y su distribución entre los participantes. Además presenta una gran robustez al haberse contabilizado picos de 254 visitantes simultáneos por segundo durante horas consecutivas, permitiendo el tratamiento en paralelo de todas las respuestas

Crowdcrafting es utilizado por otras grandes Organizaciones en sus proyectos como el Museo Británico (<http://crowdsourced.micropasts.org/>) o el departamento UNITAR de Naciones Unidas (<http://geotagx.org/>)

HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Adicionalmente a la plataforma descrita, hemos utilizado las siguientes herramientas:

- QGIS y gvSIG como SIG de escritorio
- Desarrollos en Python para evaluar la calidad de los datos y las tareas de administración de la plataforma
- GDAL para la georreferenciación

RESULTADOS DE PARTICIPACIÓN

Desde el principio tuvimos claro que el éxito del proyecto dependía completamente de la participación del mayor número posible de personas. Y no tanto el número sino su distribución geográfica. Las imágenes recogen lugares de todo el planeta y necesitábamos llegar a las personas que habitaban o conocían esos lugares. Los medios de comunicación y las redes sociales han sido un gran aliado en este sentido.

Hemos tenido el apoyo de Organizaciones internacionales como NASA, ESA, MIT, y alguna nacional como la propia UCM o Medialab Prado, e incluso los propios astronautas a través de sus cuentas en Twitter o Facebook. Esto ha provocado el eco en gran cantidad de medios de comunicación internacionales, lo que ha dado dimensión mundial al proyecto, como FOX, NBC News, ABC News

Tabla 2: Distribución de participación por países

Country	Sessions
USA	35,98%
Spain	9,44%
Germany	7,80%
New Zealand	4,57%
United Kingdom	4,45%
Canada	4,31%
Italy	3,32%
Lithuania	2,31%
Denmark	2,11%
Australia	1,98%

RESULTADOS

De la misma manera que los datos y procesos se han llevado a cabo de forma abierta, la publicación de resultados sigue el mismo principio. En esta etapa del proyecto se proporcionan dos tipos de resultados

Descarga de datos procesados

Para cada una de las tres aplicaciones, es posible la descarga completa de los datos procesados a partir de las tareas llevadas a cabo por los participantes. Estos se proporcionan en formato JSON. Para DarkSkies, la lista de las imágenes con su clasificación, para LostAtNight las coordenadas de cada imagen, y para NightCitiesISS, la lista de pares de puntos de la imagen junto a las coordenadas correspondientes.

Esto permite a cualquier investigador o persona interesada en el proyecto, la verificación de resultados y de los procesos posteriores.

Visualización de imágenes

Se ha dicho que el resultado de NightCitiesISS son pares de puntos XY junto a su localización en longitud y latitud. En un proceso offline, el equipo del proyecto lleva a cabo una verificación final de la calidad de estos datos y genera una imagen geoTIFF. Este es finalmente el producto buscado.

Para poner a disposición de los participantes y público en general, las imágenes georreferenciadas de forma lo más sencilla, se contactó con el equipo de Google en España. Estos proporcionaron alojamiento en la plataforma Google Maps Engine (GME 2014).

De esta forma cualquiera puede visualizar las imágenes definitivas, superpuestas a la cartografía tradicional, localizar las correspondientes a las zonas de su interés o comprobar el resultado de su aportación.





Figura 9. Distribución de imágenes ya procesadas

TRABAJO FUTURO

Como se ha visto, el sistema está operativo al 100% y quedan muchas imágenes por procesar. Nuevas misiones se van sucediendo a bordo de la ISS y las imágenes siguen llegando, siendo necesaria la colaboración de los voluntarios.

Con el conjunto de imágenes ya georreferenciadas, comienza una nueva fase del trabajo científico. El siguiente objetivo es el análisis de las fuentes de emisión luminosa, y su distribución geográfica. Esto se está llevando a cabo aplicando el proceso detallado en Sánchez de Miguel, A. y otros 2014. Las imágenes utilizadas para ello no son las del proyecto, sino las originales en formato RAW, pudiéndose utilizar los parámetros de georreferenciación obtenidos de este proyecto.

De esta manera podemos utilizar el conjunto de imágenes como una capa para compararla con el resto de capas geográficas, cada una, con diferente información. Un ejemplo es la obtención de Isophotas

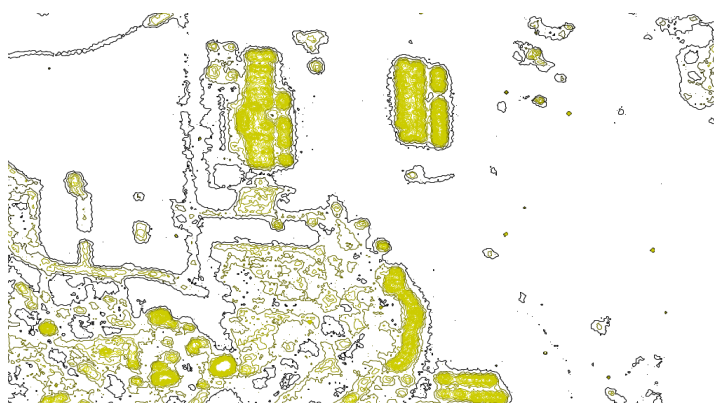


Figura 10. Isophotas correspondientes al aeropuerto de Barajas-Adolfo Suarez

Esta información se trata para generar modelos digitales de elevación donde se ha sustituido el valor de la altitud, por el de emisión. Si a esto le superponemos ortofotografías, son fácilmente reconocibles los elementos urbanísticos responsables de las emisiones, y poder cuantificarlas individualmente.



Figura 11. Reconstrucción 3D utilizando la cantidad de emisión como elevaciones

Por último, es posible la correlación entre estas emisiones y el consumo eléctrico. En la figura 12 se representa el consumo eléctrico, calculado a partir de imágenes de satélite. Durante muchos años se ha subestimado por parte de las Administraciones Públicas, corrigiéndose a partir de los datos de este trabajo

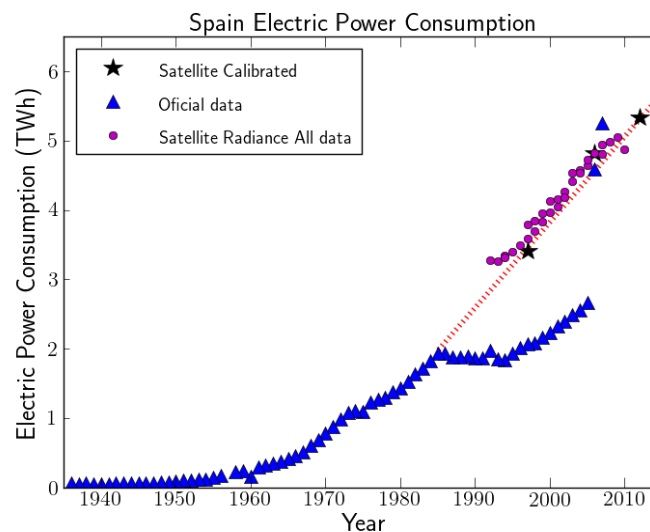


Figura 12. Consumo eléctrico a partir de datos de satélite 1992-2010

CONCLUSIONES

Hasta el momento se han llegado a identificar todas las imágenes catalogadas por las diferentes misiones de las ISS, añadiéndose las que se toman a medida que estas llegan al JSC, dentro de CitiesAtNight. Por medio de LostAtNight se ha identificado más de 135000 imágenes, de las que disponemos de datos de georreferenciación mediante NightCitiesISS de 1948. Las definitivamente georreferenciación y puestas a disposición de la Comunidad ascienden a 114.

Adicionalmente a los resultados de la georreferenciación, es que mediante aportaciones de voluntarios se pueden llevar a cabo proyectos científicos con éxito. Estos son una oportunidad de poner en contacto a los científicos con el público en general, acercando su trabajo y haciéndolo comprensible para la sociedad. El que esta conozca el esfuerzo y los beneficios de la labor científica, es fundamental para el soporte de nuestra labor

AGRADECIMIENTOS

Esta sección podría ocupar el espacio completo dedicado a este trabajo, ya que miles de voluntarios han participado en él de forma continuada, a través de alguna de sus aplicaciones. Los autores queremos expresar nuestra gratitud a todos aquellos que han creídos en este proyecto y han contribuido, muchos de forma anónima.

También queremos agradecer el apoyo proporcionado por agencias como NASA, ESA y la CSA-ASC Canadiense, en especial a los astronautas que han proporcionado el conjunto de fotografías. Al Centro Cultural Medialab Prado por permitimos participar en los encuentros de Ciencia Ciudadana organizados. No queremos olvidar a la gran cantidad de medios de comunicación que se han hecho eco del proyecto. Tanto de forma impresa como electrónica y difundiéndolo a través de las redes sociales.

REFERENCIAS

- ◆ Cinzano, P., Falchi, F. & Elvidge , MN Royal Astronomical Society, Vol. 328, 689, 2001
- ◆ Crowdcrafting www.crowdcrafting.org.
- ◆ GME2014 <http://darkskyiss.org/>
- ◆ Natronics 2013 <http://natronics.github.io/ISS-photo-locations/>
- ◆ Martin Raifer 2013 <http://tyrasd.github.io/osm-node-density/#2/14.8/361.1>
- ◆ PyBossa 2015 <https://github.com/PyBossa>
- ◆ Rich, C. & Travis Longcore, T. Ecological Consequences of Artificial Night Lighting, Island Press, 2005
- ◆ Sánchez de Miguel, A., Zamorano, J., Gómez Castaño, J., & Pascual, S. (2014). Evolution of the energy consumed by street lighting in Spain estimated with DMSP-OLS data. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 139, 109-117.
- ◆ VIIRS, 2015 <http://npp.gsfc.nasa.gov/viirs.html>
- ◆ Zamorano, J., Sánchez de Miguel, A., Pascual, S., Gómez Castaño, J., Challupner, P. "ISS noturnal images as a scientific tool against Light Pollution " LICA Report 2011