



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

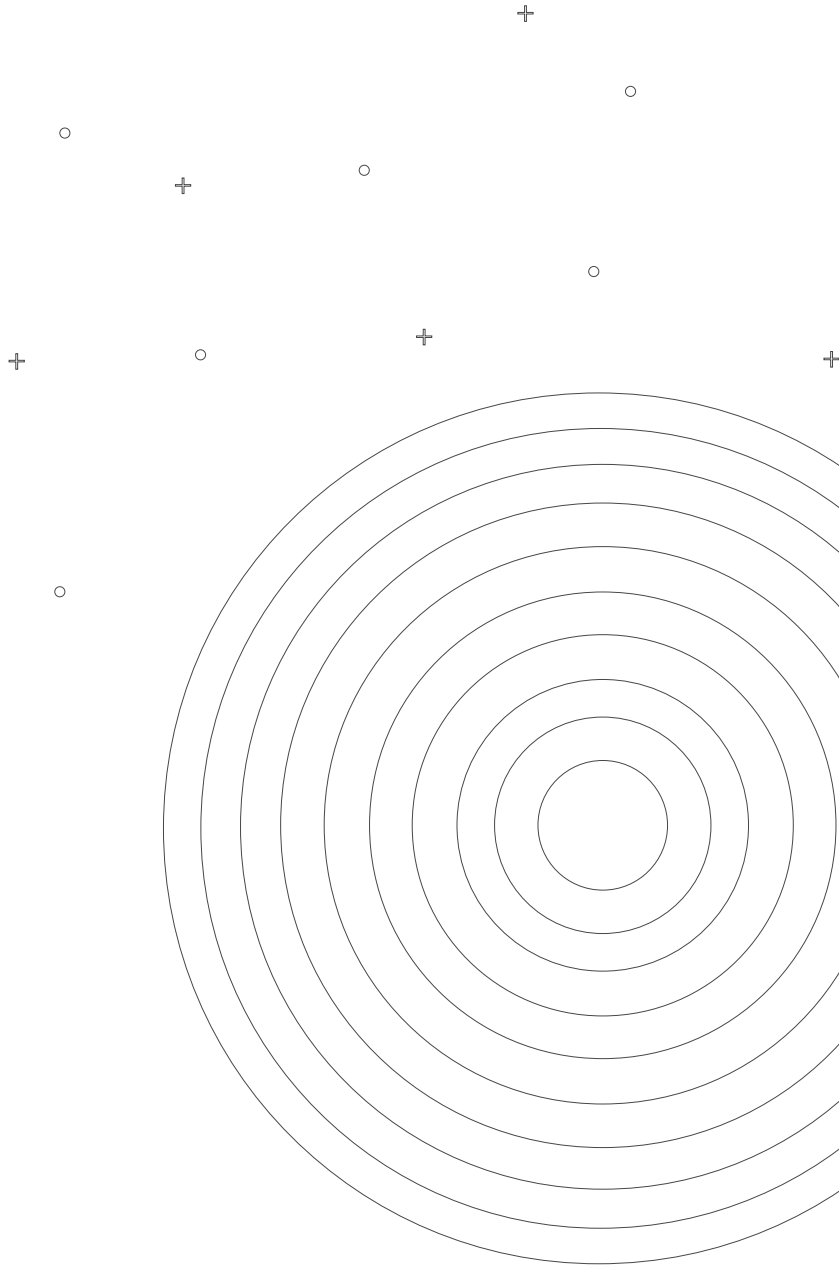
THE RIGHT TO
DARK SKIES

EL DERECHO
A LOS CIELOS
OSCUROS



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

Oficina en México



THE RIGHT TO
DARK SKIES

EL DERECHO A LOS
CIELOS OSCUROS

Published in 2016 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France and the UNESCO Office in Mexico, Presidente Masaryk 526, Polanco, Miguel Hidalgo, 11550 Ciudad de Mexico, D.F., Mexico.

© UNESCO 2016

ISBN 978-92-3-000028-8



This publication is available in Open Access under the Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) license (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>). By using the content of this publication, the users accept to be bound by the terms of use of the UNESCO Open Access Repository (<http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en>).

The designations employed and the presentation of material throughout this publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNESCO concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

The ideas and opinions expressed in this publication are those of the authors; they are not necessarily those of UNESCO and do not commit the Organization.

Cover Photo: Star trails over the Atacama Desert. © ESO/B. Tafreshi (twanight.org) licensed under CC BY 4.0.

Title Page: A Sotol plant in bloom in the nocturnal landscape of Dunas de Yeso, Cuatro Ciénegas, Coahuila, Mexico. © César Cantú.

Original idea, concept, coordination and supervision of the editing and publication: The UNESCO Office in Mexico.

Supervision, editing and coordination:

Nuria Sanz, Head and Representative, UNESCO Office in Mexico

Rachel Christina Lewis, UNESCO Office in Mexico

Chantal Connaughton, UNESCO Office in Mexico

José Pulido Mata, UNESCO Office in Mexico

Carlos Tejada, UNESCO Office in Mexico

Graphic design: Ananda Ramirez Cordero, UNESCO Office in Mexico

Cover design: Ananda Ramirez Cordero, UNESCO Office in Mexico

The organizing institutions would like to thank the following participating institutions which were represented at the International Meeting The Right to Dark Skies and whose contributions have made this publication possible: FCCyT; CONACYT; UNAM; AURA Observatory; University of California, Riverside; GMTO; INAOE; Universidad de Chile; SOCHIAS; OPCC; Ministry of Foreign Affairs of Chile; CTIO; OAN-SPM; NOAO; Cielobulo; l'Associazione VenetoStellato; IAC; ICOMOS; University of Hawaii; ESO; Academia Mexicana de Ciencias; Ferme de Etoiles; and Planetarium Torreón.

The organizing institutions would also like to extend our gratitude to the Centro de Cultura Digital in Mexico City for their hospitality during the meeting.

Printed by Fotolitográfica ARGO, S.A. de C.V.

Printed in Mexico.

This publication was made possible thanks to financing by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología and technical support from the Foro Consultivo Científico y Tecnológico, the Universidad Nacional Autónoma de México and the Academia Mexicana de Ciencias.



THE RIGHT TO
DARK SKIES

EL DERECHO A LOS
CIELOS OSCUROS

Landscape showing geysers and the Milky Way. © J.M. Leddeire/
PNA, licensed under CC BY 4.0.





Prologue

The Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) not only supports human resource training, research projects and links with industry, but is also committed to the communication of scientific research to the general public and the dissemination of knowledge between specialists. Reaching society and a knowledge economy cannot be achieved without the support of the community, nor without science becoming a part of citizen culture. Participating in thematic years is an excellent strategy to reach this goal of popularizing science, especially if the topic is related to our daily life, as is light.

The United Nations General Assembly proclaimed 2015 as the International Year of Light and Light-based Technologies (IYL 2015), with Mexico acting as one of the promoters of this initiative. CONACYT took advantage of this decision to promote the communication of science and technology on this subject and supported various activities designed to promote awareness of light and its applications. It may seem contradictory that, among the many projects carried out during the IYL2015 that highlighted the application of light across various disciplines, an international meeting on The Right to Dark Skies was organized by the

UNESCO Office in Mexico. Light should be a common good, but sometimes it is necessary to turn it off.

It is always a big surprise to children when they are taught that white light contains all colours, by demonstrating its diffraction through a prism. There is no museum of science in the world that doesn't have a disc, known as the Newton disc, with wedges of colour that appears to be white when spun. That all colour comes from something that is apparently colourless is one of the many wonders of nature. This decomposition of colours that we see in a rainbow was thought of as a serpent of light by our indigenous populations. Light that comes from the Sun and marks the difference between night and day is the basis of life on our planet. Another great surprise is that not all light is visible to the human eye. The electromagnetic spectrum also covers, among others, infrared and ultraviolet regions that we cannot see, but whose effects are equally important. Humans, who have always been curious, have studied not only the light of our stars, but also seek to learn about all the other objects in the universe that send us information in both visible and invisible light form.

The invention of electric power is undoubtedly one of humanity's most fundamental developments. The ability to apparently turn the Sun on and off at will, to be able to read at night and illuminate our cities, has defined our way of life. Of course electric power applications go far beyond just turning lights on, but what interests us here is precisely the fact that we can create light.

Unfortunately, the great advantage of illuminating our streets to return home at night, especially if the lighting is excessive, may conflict with the desire to study the confines of the universe. Excess night lighting prevents nearby telescopes from analysing the light coming from outer space. It is also a matter of biology and ecology as many species, both flora and fauna, are affected in their normal life cycles. What is the magnitude of this problem? How can it be resolved? It is not only a scientific issue; it is also about regulation.

The right to dark skies has been recognized by UNESCO as an implicit right in the conservation of cultural and natural heritage for future generations according to the Declaration in Defence of the Night Sky and the Right to Starlight (2007). It is therefore a measure that supports sustainable development.

All of these subjects were analysed with the vision and knowledge of experts at *The Right to Dark Skies* meeting. It was also significant that the venue of the meeting was the Centre of Digital Culture in Mexico City (Centro de Cultura Digital), for there is much art in dark skies. It is such a pleasure to see the Milky Way in the night sky!

The conclusions will undoubtedly have a very positive impact on astronomical and ecological challenges, and will also affect the issues of energy saving and rational energy use. Electric power should improve the quality of life for all, but must be consumed and managed sustainably.

CONACYT is proud to participate in activities that not only foster science and technology, but also have a positive social impact. We congratulate the UNESCO Office in Mexico for this initiative, as well as their co-organizers: the National Autonomous University of Mexico (UNAM in Spanish), the Mexican Academy of Sciences (AMC in Spanish) and the Scientific and Technological Consultative Forum (FCCyT in Spanish). It goes without saying that we send special congratulations to the researchers who participated in the meeting for such a great job.

Julia Tagüeña

*Associate Director for Scientific Development
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*

Prólogo

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México no solamente apoya la formación de recursos humanos, proyectos de investigación y vinculación con la empresa, sino que tiene un compromiso con la comunicación pública de la ciencia hacia la sociedad y la difusión del conocimiento entre especialistas. Alcanzar la sociedad y la economía del conocimiento no puede lograrse sin el acompañamiento de la comunidad, sin que la ciencia se vuelva parte de la cultura de los ciudadanos. Para caminar hacia esta meta, participar en los años temáticos es una excelente estrategia de divulgación de la ciencia, más aún si el tema es tan cercano a nuestra vida cotidiana, como lo es la luz.

La Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó al año 2015 como el Año Internacional de la Luz y las Tecnologías basadas en la Luz, siendo México uno de los promotores de esta iniciativa. Así, el CONACYT aprovechó esta buena decisión para promover la comunicación de la ciencia y la tecnología alrededor de este tema y apoyó diversas actividades enfocadas a promover el conocimiento sobre la luz y sus aplicaciones. Parecería contradictorio que entre los muchos proyectos apoyados durante este Año de la Luz, que resaltan las aplicaciones del uso de la luz en muy diversas disciplinas, se apoyara una reunión internacional sobre “El derecho a los cielos

oscuros”, organizada por la Oficina en México de las Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). La luz debe de ser un bien común, pero a veces es necesario apagarla.

Cuando se enseña a los niños que la luz blanca contiene todos los colores, mostrando su difracción a través de un prisma, es para ellos siempre una gran sorpresa. No hay museo de ciencias del mundo que no tenga un disco, conocido como disco de Newton, con franjas de colores que al girar se ve blanco. Que todo el color venga de algo que aparentemente no lo tiene es una de las muchas maravillas de la naturaleza. Esta descomposición en colores que vemos en el arcoíris hacía pensar a nuestros pueblos originales en una serpiente de luz. La luz que viene del Sol y que hace la diferencia del día y la noche es la base de la vida en nuestro planeta. Otra gran sorpresa de la luz es que no toda es visible al ojo humano. El espectro de radiación cubre también, entre otras, las regiones del infrarrojo y el ultravioleta, que no podemos ver, pero cuyos efectos son igualmente importantes. La humanidad, siempre curiosa, no sólo ha estudiado la luz de nuestra estrella, sino que queremos saber de todos los demás objetos del universo, que nos mandan información justamente en forma de luz, visible y no visible.

El invento de la luz eléctrica es sin duda uno de los más fundamentales del desarrollo de la humanidad. Que podamos aparentemente prender y apagar el Sol a nuestro gusto, para poder leer en la noche e iluminar nuestras ciudades, ha definido nuestra forma de vivir. Desde luego que las aplicaciones de la energía eléctrica van mucho más allá de prender la luz, pero lo que aquí nos interesa es justamente eso, que podemos crear luz.

Desafortunadamente la gran ventaja de iluminar nuestras calles para regresar de noche a la casa, sobre todo si se ilumina en exceso, puede entrar en contradicción con el deseo de estudiar los confines del universo. El exceso de iluminación nocturna impide que los telescopios cercanos analicen la luz que nos llega del espacio exterior. También es un tema de biología y ecología, pues muchas especies, tanto de flora como de fauna, son afectadas en sus ciclos normales de vida. ¿Cuál es la magnitud de este problema? ¿Cómo resolverlo? No es sólo un tema de ciencia, es también un tema de reglamentación.

El derecho a los cielos oscuros ha sido reconocido por la UNESCO como un derecho implícito en la conservación del patrimonio cultural y natural de las generaciones futuras, de acuerdo con la Declaración sobre la Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas, en

el 2007. Es por lo tanto una medida que apoya al desarrollo sostenible. Todos estos aspectos fueron analizados con visión y conocimiento por expertos en la reunión llamada “El derecho a los cielos oscuros”. Fue también significativo que la sede haya sido el Centro de Cultura Digital de la Ciudad de México, pues hay mucho de arte en los cielos oscuros. ¡Qué placer es observar en el cielo nocturno la Vía Láctea!

Las conclusiones tendrán sin duda un impacto muy positivo en este gran reto de la astronomía y la biología, que además incide en el tema del ahorro y el uso racional de la energía. La energía eléctrica debe mejorar la calidad de vida de todos, pero debe ser consumida y administrada sosteniblemente.

Es para el CONACYT un orgullo participar en acciones que no sólo fomentan la ciencia y la tecnología, sino que además tienen una componente de impacto social positivo. Felicitamos a la UNESCO por esta iniciativa; también a sus coorganizadores: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) y el Foro Consultivo Científico y Tecnológico A. C. Por supuesto, una felicitación muy especial a los investigadores participantes en la reunión por un trabajo bien hecho.

Julia Tagüeña

*Directora Adjunta de Desarrollo Científico del
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*

Presentation

What Does it Mean to Preserve Dark Skies?

Simply, or perhaps simplistically, the preservation of dark skies means retaining the ability to observe the sky in dark conditions similar to those that existed before the Industrial Age and the associated population explosion that followed. However, as the articles in this publication will reveal such preservation has many different aspects, which are all important individually and together, make this goal a common issue that can and should allow for greater interaction and scientific, cultural, educational and technological development, both locally and globally.

Why is Preserving Dark Skies Important?

The most pressing reason to preserve dark skies could be the ability to continue making observations of the universe from the Earth. It may seem simple, but urban growth and associated night lighting in the last 50 years have made it impossible to carry out high-level astronomical research in many places in Europe and North America. On a more individual level, this implies that large

portions of the population are very disconnected from what it means to see the night sky and cannot appreciate our place in the universe. However, beyond astronomy, excessive night lighting has biological and ecological implications since it disrupts the life cycles of fauna (including humans); of the fauna, insects, birds and turtles have always used stars to navigate between different territories with the changing of the seasons.

What Can and Should We Do to Preserve Dark Skies?

Limiting artificial night lighting in no way means relinquishing its benefits if it is carried out in a rational and planned manner, with high-level engineering and innovation. In fact, it implies a reduction in energy consumption and significant savings for the local and federal authorities of a country. The search for increased efficiency acts as a catalyst for the development of new technologies in renewable and sustainable energy, which would have favourable effects on the economy and the welfare of the population.

Education plays a key role in the preservation of dark skies and in the implementation of activities that support this goal. The best-case scenario is that children and young people have the relevant information to make informed decisions in the future and can appreciate for themselves the benefits of having an adequate, natural environment. In this sense, controlling light pollution is no different from controlling sound, air, water and land pollution; it is a matter of comprehensive conservation. Today, the best astronomical sites, favoured for their natural conditions for observation, are in emblematic places and in many cases are protected (such as national parks or ecological reserves). Several of these sites, such as in northern Chile, Hawaii, San Pedro Mártir and the Canary Islands are represented in this volume. They can and should be spearheading efforts to broaden initiatives that support and promote this conservation more generally.

A Common Heritage

The subject of dark skies, above all, has a factor of prime importance that elevates it to and unifies it on an international

level: its cultural relevance. Astronomy and the determination of the seasons through the development of the first calendars is probably the activity with the oldest scientific roots in the history of humanity. Its importance is written in stone at many archaeological sites in China, Babylon, Egypt, Europe, Africa and the Americas. All cultures, absolutely all of them, developed some level of astronomy to measure the passage of time and to know when to migrate, plant, harvest and hunt. It is essential to preserve the ability to have dark skies over these sites where urban settlements were built to reflect this knowledge; if we don't reduce and take out of context what is below, the same must be said for the ability to see what is above on a clear night.

As a result of the meeting held in Mexico City in January 2016, the participants gave an account of both potential and current activities in order to include the right to dark skies on the global agenda. Who better than UNESCO to coordinate these efforts, as a part of its authentic mandate of working for Education, Science and Culture?

William H. Lee

*Coordinator of Scientific Research
Universidad Nacional Autónoma de México*

Presentación

¿Qué significa preservar los cielos oscuros?

De manera sencilla, o quizás simplista, la preservación de los cielos oscuros significa retener la capacidad de observar el cielo en condiciones de oscuridad similares a las que existían antes de la era industrial y de la explosión demográfica asociada y subsecuente. Pero como se demuestra en este libro a través de sus muy diversas contribuciones, dicha preservación tiene muchas aristas diferentes, todas importantes por sí solas y que en conjunto convierten a dicho objetivo en un tema común que puede y debe permitir una mayor interacción y desarrollo científico, cultural, educativo y tecnológico, tanto a nivel local como global.

¿Por qué es importante su preservación?

La motivación más inmediata para contar con cielos oscuros podría ser la posibilidad de seguir haciendo observaciones del universo desde la superficie de la Tierra. Puede parecer algo simple, pero el crecimiento urbano y la luminosidad nocturna asociada en los últimos 50 años han hecho que en muchos sitios de Europa y Norteamérica ya no sea posible llevar a cabo investigación de alto nivel en astronomía. Mas a nivel individual, ello significa que grandes segmentos

de la población estén muy desconectados de lo que significa ver el cielo por la noche y que no puedan apreciar a nuestro lugar en el universo. Pero más allá de la astronomía, la luminosidad excesiva nocturna tiene implicaciones en la biología y en la ecología, porque perturba los ciclos de vida de la fauna (¡incluyendo a los humanos!), entre la que se hallan insectos, aves y tortugas que han usado siempre las estrellas para navegar entre distintos territorios con el cambio de las estaciones.

¿Qué podemos y debemos hacer para preservar los cielos oscuros?

Limitar la luz artificial nocturna de ninguna manera implica renunciar a sus beneficios si se lleva a cabo de manera racional y planeada, con ingeniería de alto nivel e innovación. Implica de hecho una reducción en el consumo de energía y ahorros importantes para las autoridades locales y federales de un país. Buscar esta mayor eficiencia produce directamente una motivación para nuevos desarrollos tecnológicos de energías renovables y sostenibles, que tendrían consecuencias favorables para la economía y el bienestar de una población por sí mismos.

La educación juega un papel fundamental en la preservación de los cielos oscuros y en la implementación de las acciones que llevan a ellos. La mejor opción es que los niños y jóvenes tengan información relevante para tomar las decisiones correctas a futuro y puedan apreciar por sí mismos los beneficios de contar con un entorno natural adecuado. En este sentido controlar la contaminación lumínica no es distinto de controlar la contaminación sonora, del aire, del agua y de los suelos. Es un asunto de conservación en el sentido integral. Hoy, los mejores sitios astronómicos favorecidos por sus condiciones naturales para la observación están en lugares emblemáticos, en muchos casos protegidos (como en parques nacionales o reservas ecológicas). Varios de ellos, como el norte de Chile, las Islas Hawái, San Pedro Mártir y las Islas Canarias, están representados en estas páginas. Pueden y deben ser entonces punta de lanza en los esfuerzos para iniciativas más generales que fomenten y promuevan esta conservación más generalmente.

Un patrimonio común

Pero el tema de los cielos oscuros tiene además de todo lo anterior un factor de primera importancia que lo hace integrador a nivel

internacional: su relevancia cultural. La astronomía y la determinación de las estaciones a través de la elaboración de los primeros calendarios es probablemente la actividad con raíz científica más antigua de la humanidad. Su importancia está escrita en piedra en múltiples sitios arqueológicos, en China, Babilonia, Egipto, Europa, África y América. Todas las culturas, todas, desarrollaron algún nivel de astronomía para medir el paso del tiempo y saber cuándo migrar, cuándo plantar, cuándo cosechar y cuándo cazar. Los sitios donde se construyeron los asentamientos urbanos reflejan este conocimiento, y preservar la capacidad de tener cielos oscuros en ellos es primordial si no hemos de cercenar y sacar de contexto lo que esta abajo, por no poder ver lo que está arriba en una noche despejada.

Como resultado de la reunión llevada a cabo en la Ciudad de México en enero del 2016, los participantes hicieron un recuento de las acciones, tanto posibles como en curso, para poner en la agenda global el tema del derecho a los cielos oscuros. Qué mejor actor que la UNESCO para articular estos esfuerzos, en la auténtica misión de trabajar en pro de la Educación, la Ciencia y la Cultura.

William H. Lee

*Coordinador de la Investigación Científica de la
Universidad Nacional Autónoma de México*

Introduction

When we talk to friends or colleagues about dark and starry skies, we almost automatically think of places far from urban centres that are very distant and isolated. We are easily reminded of nights with celestial views that amazed us, of star filled skies in deserts, forests or beaches far from what we call civilization. Almost as if these forests, deserts and seas were the only places in the world where so many stars existed.

Nothing could be further from reality: stars abound and shine equally anywhere around our planet. Clearly, constellations change

with the seasons and between the Hemispheres, but the sky is essentially the same for everyone. We see this during the day, in the sunlight, but we literally lose sight of it at night when the greatest contrasts between urban and isolated or uninhabited areas occur.

The lights that illuminate the cities we live in have a huge impact on the skies. Effectively, street lighting, illuminated billboards, the powerful lighting of sports stadiums and car lights, among other light contaminants, emit a huge quantity of light into the sky. This light is dispersed by atmospheric gas and dust, and generates a

luminous halo around our urban centres, which ends up obscuring most of the stars. The Milky Way and faint stars become invisible due to light pollution.

In the same way that human activity has created increased pollution in our atmosphere and water resources (such as in rivers, lakes and seas), it has also produced sound and light pollution that have a high impact on our health and on the economy. Light pollution is not as evident as other forms of pollution and it not only affects human beings, but also has an impact on the life cycles of flora and

fauna. Moreover, its effects subvert the sources of cultural, historic and scientific values that have enabled us to understand our place in the universe. Light pollution is gradually depriving us of this extraordinary and intriguing window that reaffirms us as human beings; this excess of unnecessary night illumination takes away our right to enjoy the dark sky.

This international meeting, which brought together experts from all over the world, was conceived to reassess our role as a society in the recovery of our fundamental right to dark skies.

Nuria Sanz

*Head and Representative
UNESCO Office in Mexico*

José Franco

*Coordinator
Foro Consultivo Científico y Tecnológico*

Introducción

Cuando charlamos con amigos o colegas sobre cielos oscuros y llenos de estrellas, casi de manera automática pensamos en lugares lejanos a los centros urbanos, muy distantes y aislados. Con facilidad evocamos recuerdos de visiones celestes que nos maravillaron, con cielos repletos de estrellas, en desiertos, bosques o playas alejadas de esto que llamamos civilización. Como si esos bosques, desiertos y mares fueran los únicos lugares del mundo donde existieran tantas estrellas.....

Nada más lejano a la realidad: las estrellas abundan y brillan igual en cualquier lugar de nuestro planeta. Por supuesto, las configuracio-

nes estelares cambian con las estaciones y entre hemisferios, pero el cielo es en esencia el mismo para todos. Lo constatamos durante el día, a la luz del Sol, pero literalmente lo perdemos de vista en la noche, cuando se dan los grandes contrastes entre los sitios urbanos y los sitios no habitados o aislados.

La gran diferencia la hacen las luces que iluminan las ciudades donde vivimos. Efectivamente, el alumbrado público, los anuncios luminosos, la potente iluminación de los estadios deportivos y las luces de los automóviles, entre otros contaminantes lumíni-

cos, lanzan una enorme cantidad de luz hacia el cielo. Esta luz es dispersada por el gas y el polvo de la atmósfera y genera un halo luminoso alrededor de nuestros centros urbanos, el cual termina enmascarando a la mayoría de las estrellas. La Vía Láctea y las estrellas débiles se vuelven imperceptibles por la contaminación lumínica.

Sí, de la misma manera que la actividad humana ha generado una creciente contaminación en la atmósfera y en nuestros recursos hídricos en ríos, lagos y mares, también ha generado una contami-

nación sonora y luminosa que tiene un alto impacto en la salud y en la economía. Mucho más sutil que las otras, la contaminación lumínica no sólo afecta a los seres humanos, sino que además genera un impacto en los ciclos de vida de la fauna y la flora. Más aún, su efecto trastoca esa fuente de valores culturales, históricos y científicos que nos han permitido ubicarnos en el universo. Poco a poco, la contaminación lumínica nos despoja de esa ventana intrigante y extraordinaria que nos reafirma como seres humanos; ese exceso de iluminación nocturna innecesaria nos arrebató el derecho a disfrutar de los cielos oscuros.

Nuria Sanz

*Directora y Representante de la
Oficina de la UNESCO en México*

José Franco

*Coordinador del
Foro Consultivo Científico y Tecnológico*

Table of contents / Índice

Prologue / Prólogo Julia Tagüeña	6
Presentation / Presentación William H. Lee	10
Introduction / Introducción Nuria Sanz & José Franco	14
1 Astronomy and International Cooperation: UNESCO's Role / Astronomía y cooperación internacional: el papel de la UNESCO	20
Una reflexión polifónica Nuria Sanz	23
2 Astronomy / Astronomía	42
The Evolution of Astronomy: from Photons to Petabytes R. Chris Smith	45
Modern Astronomy in the Islamic World Tofigh Heidarzadeh	53
3 Telescopes / Telescopios	58
Large Telescopes in Chile Miguel Roth	61
Sierra Negra: the Site of the Large Millimetre Telescope Alfonso Serrano Alberto Carramiñana	69
4 The Protection of Dark Skies: Regional Perspectives / La protección de los cielos oscuros: perspectivas regionales	80
Chile Protecting the Dark Skies of Chile: Initiatives, Education and Coordination Guillermo Blanc	85
La protección de los cielos chilenos del norte, a través de reglamentos y del patrimonio Pedro Sanhueza	95
Una política pública sobre astronomía y protección de los cielos oscuros: la experiencia en Chile Gabriel Rodríguez García-Huidobro	101
Controlling Light Pollution in the Area Close to the AURA Observatory— Communication, Development, Education and Outreach Malcolm Smith	113
Mexico / México La Ley del Cielo Fernando Avila Castro	123

United States of America / Estados Unidos de América
Protecting Arizona's Dark Skies 135
Lori E. Allen

Italy/Italia
The Defence of the Night in Italy 145
Fabio Falchi & Luca Zaggia

Spain / España
La protección del cielo en los observatorios de Canarias: valores científicos, culturales y ambientales 157
José Miguel Rodríguez Espinosa

5 The Protection of Dark Skies: Global Approaches and the Role of Interinstitutional Collaboration / La protección de los cielos oscuros: aproximaciones globales y el papel de la colaboración interinstitucional 164

Identifying, Safeguarding and Promoting Cultural Properties Related to Astronomy.
The UNESCO & UAI Thematic Initiative 'Astronomy and World Heritage' 167
Michel Cotte

How to Protect Astronomical Sites and other Environmentally Sensitive Locations from Light Pollution 179
Richard J. Wainscoat

A Global Approach to the Protection of the Sky, International Cooperation and International Science Policy:
the Case Study of ESO 191
Claus Madsen

International Astronomical Union and the Protection of the Dark Skies 197
Sílvia Torres-Peimbert

6 Public Outreach and Astrotourism / Divulgación y astroturismo 200

La Noche de las Estrellas en México 203
José Franco & Emilede Valarde

La Ferme des Etoiles (La Granja de las Estrellas) 207
Bruno Monflier

Cerremos las ventanas 217
Carlos Chimal

Pensar en un planetario, el caso de estudio del Planetarium Torreón 219
Eduardo Hernández Carrillo

7 Conclusions / Conclusiones 226





Chapter 1

Astronomy and International Cooperation: UNESCO's Role

Capítulo 1

Astronomía y cooperación internacional: el papel de la UNESCO

Una reflexión polifónica

Nuria Sanz

Directora y Representante de la Oficina de la UNESCO en México

La admiración, valoración y placer de la contemplación celeste es consustancial a la vida humana desde hace por lo menos 2.6 millones de años de nuestra historia evolutiva como seres culturales; seguramente por aquel entonces las luces zodiacales formarían parte del cotidiano de los primeros homínidos africanos. Desde entonces las culturas han experimentado el cielo como forma de estar y dar sentido a su existir en la tierra. En nuestra historia civilizatoria los eventos astrológicos han pautado los ciclos productivos, la generación de los mitos de origen y las formas de medida espacio-temporales. La noche nos ha permitido entender el universo y seguir buscando respuestas en el cielo a algunas de las preguntas más antiguas de la humanidad. El cielo nos obliga a una poética y a una práctica de la cultura, especialmente ahora que sabemos que la astroingeniería y los megatelescopios son *instrumentalia* necesaria pero no suficiente para preservar nuestras formas de observación celeste, especialmente hoy, cuando estamos más seguros que nunca de que la contemplación tiene que seguir siendo un recurso cultural y científico duradero y seguro, a partir de las pocas ventanas privilegiadas al universo, desde donde continuar generando conocimiento.

Si el cielo es el paisaje cultural más común y universal a todas las culturas del mundo, es así como podemos entender que el verdadero Patrimonio de la Humanidad es que todos compartamos la pregunta sobre el origen y el destino del universo, y para ello la cooperación internacional debe de sentar las bases de otras formas de alfabetización científicas, tecnológicas y culturales que nos hagan valorar y comprender en términos de colaboración la mirada al cielo oscuro. A lo largo de estas jornadas de trabajo, declaramos que la comunidad científica no puede hacer frente a este enorme reto de forma independiente. Que es necesario y urgente proveer a las ciudadanías del mundo de las claves de comprensión de este derecho y de las formas de generación de alianzas para hacer del cielo un recurso esencial para cada uno de los habitantes del planeta.

Subrayamos que para ello es fundamental entender el significado de reconectar relaciones y de la necesidad de reflexionar sobre las formas de cooperación que exige este multipaís. El cielo oscuro nos obliga

a otra forma de entender el multilateralismo y de reflexionar sobre el significado del concepto de soberanía nacional en el ámbito de la investigación del universo. No podemos permitir que la oscuridad del cielo sea un recurso en vías de extinción. Las atmósferas estables, la nitidez del aire, el carácter de los vientos, repercuten en la calidad de las imágenes celestes y son muy pocas las plataformas de observación susceptibles de seguir generando la mejor comprensión de los fenómenos asociados a la observación nocturna de la bóveda astral. Una comunidad amigable, aun a sabiendas de que es fronteriza, es necesaria para construir juntos un discurso interpretativo polifónico, que incluya las diversas miradas que a lo largo de la historia ha suscitado la relación de la humanidad con el universo, lo ptolemaico, lo copernicano, lo olmeca, lo maya, lo islámico, lo escolástico...

Esta reflexión se interesa por amplificar la discusión en tres líneas de trabajo:

1. Entender la importancia de la astronomía y su papel en las agencias especializadas de la Organización de las Naciones Unidas como la UNESCO.
2. Continuar la investigación sobre las lecturas antropológicas del cielo como forma de coadyuvar a la preservación de nuestra diversidad cultural y por lo tanto creativa.
3. Esbozar las condiciones para el desarrollo de un multilateralismo astronómico exitoso.

I. La astronomía en la historia de la UNESCO, algunos hitos que recordar

Astronomía y Naciones Unidas. Conferencia de San Francisco y Conferencia de Londres, así como la creación de agencias especializadas, como la UNESCO

Pretendemos en este espacio generar una breve historiografía de la relación entre la astronomía y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en los ámbitos de la ciencia y la información. Creemos que se trata de un

recorrido poco conocido y que ayudará al lector a entender los procesos de reflexión internacional, las vinculaciones intersectoriales y los programas y proyectos contemporáneos que pueden servir para colaborar con nuestra causa desde múltiples plataformas multilaterales, directa o indirectamente relacionadas con nuestra institución.

Antes de adentrarse en los antecedentes de la astronomía en la UNESCO, conviene revisar justamente la historia de la inclusión de la emblemática sigla *S* (que se refiere a *Science*, ciencia) en el nombre de la Organización. La primera referencia se encuentra en la Conferencia de San Francisco, celebrada del 25 de abril al 26 de junio de 1945 y en la que, por propuesta de la Delegación francesa, se acordó no resolver ahí la creación de un organismo internacional de cooperación intelectual (es decir, la UNESCO), sino más bien convocar a una futura reunión específicamente dedicada a la fundación del mismo. De acuerdo con Gail Archibald (2006, p. 38), fue un astrónomo, el estadounidense Harlow Shapley, quien, desde la Conferencia de San Francisco, propuso que esta nueva organización incluyera la ciencia en su nombre. Sin embargo, la propuesta fue desechada en ese momento por la misma delegación de la que formaba parte el astrónomo, por considerar que el mandato contenía demasiados conceptos.

Posteriormente, y ya en la conferencia específica consensuada en San Francisco y celebrada en Londres, los Estados que participaron en ella (México entre ellos) decidieron crear la UNESCO el 16 de noviembre de 1945 e incluyeron a la Ciencia como uno de los ámbitos específicos de su acción, por lo que se agregó la *S* en su acrónimo. En Londres, Ellen Wilkinson, Ministra de Educación del Reino Unido y Presidenta de la Conferencia que le dio vida a la UNESCO, afirmó:

Aunque en el nombre original de la Organización no figura la ciencia, la Delegación británica presentará una proposición para que se la incluya de modo que el nombre sea Organización para la Educación, la Ciencia y la Cultura. En esta época, cuando todos nos preguntamos, quizá con miedo, qué más van a hacernos los científicos, importa que éstos se mantengan estrechamente relacionados con las humanidades y tengan conciencia de su responsabilidad para con la humanidad por el resultado de sus trabajos. No creo que, tras la catástrofe mundial, haya científico alguno que pueda sostener todavía que no le interesan en

modo alguno las consecuencias sociales de sus descubrimientos. (Valderrama, 1991)

Esta relación entre ciencia y cultura dotó a la astronomía de un papel ejemplar con respecto a su función social y económica. Por ende, la astronomía tiene, desde entonces y hasta ahora, la capacidad de establecerse como materia articuladora entre las diversas agencias de las Naciones Unidas.

Los primeros pasos

En junio de 1946, el profesor Henri Laugier, Secretario General Adjunto de las Naciones Unidas para Asuntos Económicos y Sociales (de 1946 a 1952),¹ presentó ante las Naciones Unidas una propuesta para el establecimiento de un laboratorio internacional de investigación que fungiera como órgano coordinador entre las actividades científicas de las naciones, con el fin de compartir información y servir de enlace entre los científicos. De acuerdo con su propuesta, ésta sería una de las principales tareas del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas, así como de la UNESCO. Unos días después, el 19 de junio de 1946, el *New York Times* dedicó un artículo en su primera plana para comentar la propuesta. El encabezado claramente expresaba: “La Secretaría de la ONU está lista para formar científicos del mundo que trabajen por la paz, tal y como alguna vez lo hicieron para la guerra” (Petitjean, 2006, p. 52). De esta manera, el artículo explicaba que una gran parte de los científicos más relevantes a nivel mundial había sido consultada y que, en tiempos en de paz, la investigación debía centrarse en temas como la tuberculosis, el cáncer, la erosión del suelo, la urbanización y la astronomía (Petitjean, 2006). Así, con la enumeración de esta serie de prioridades, la propuesta de Laugier contribuyó a resaltar la función social y económica de la ciencia, así como la debilidad en la que se encontraban los sistemas de investigación científica a nivel nacional.

Paralelamente, la UNESCO se encontraba definiendo las prioridades de su primer programa de trabajo. Para este fin, se creó una Comisión Preparatoria que, dividida en subcomisiones, solicitaría a los Estados Miembros de la UNESCO propuestas en cada uno de los ámbitos de su mandato.² Una vez reunida la información, Joseph Needham, artífice de la propuesta británica para la inclusión

1. Y miembro fundador de la UNESCO, en noviembre de 1945, como parte de la Delegación francesa.

2. En el caso de las ciencias naturales, la Subcomisión fue presidida por el mexicano Manuel Martínez Báez.

de la ciencia en el mandato de la UNESCO y quien poco tiempo después fuera a convertirse en el primer director del programa científico de la UNESCO, entregó a la Primera Conferencia General de la Organización un proyecto de programa en el que, entre otras tantas propuestas (por ejemplo, el Instituto de la Hylea Amazónica, propuesto por Brasil; un Centro de Matemáticas Aplicadas, propuesto por Francia, o centros de salud de parasitología e inmunología, propuestos por México), se incluía la creación de observatorios astronómicos.³ Al respecto, vale la pena concluir con el hecho de que, además de este proyecto de programa, durante la Primera Conferencia General, Needham también especificó la lista del personal que compondría al Departamento de Ciencias Naturales, agrupado por las disciplinas científicas que deberían dominar: agricultura (1), astronomía (2), bioquímica (3), botánica (2), química (2), ingeniería aeronáutica (1), ingeniería civil (2), geografía (2), matemáticas (1), metalurgia (1), neurología (1), parasitología (1), patología (1), física (3) y radiología (3). Según su visión, era necesario contar con un amplio rango de competencias si se quería disponer de un verdadero centro de intermediación en ciencias naturales (Hadley y Nuotio, 2006, p. 531).⁴

Posteriormente, y tras ser consultado sobre la posibilidad de que el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas estableciera un laboratorio internacional de investigación, el mismo Needham entregó un informe redactado por él con el cual la UNESCO subrayó la importancia de las ciencias naturales al afirmar que, de todas las actividades con las que puede comprometerse el ser humano, las ciencias naturales son la más internacional de todas: “La raza, el color, el credo o la nacionalidad —escribió Needham— han demostrado no tener ningún tipo de relación con la plausibilidad de una hipótesis. Los científicos se pueden entender entre sí sin importar de dónde provengan” (Petitjean, 2006, p. 55). Al mismo tiempo, Needham recaló la necesidad de una acción concertada para resolver los grandes problemas, señalando que el esfuerzo que estaban llevando a cabo los laboratorios nacionales en términos de disciplinas científicas universales (física, química, ingeniería) era encomiable. El informe definía tres principios por tomar en cuenta: primero, no duplicar los esfuerzos; segundo, que la materia a la cual se quisiera dedicar un laboratorio o centro de investiga-

ción hubiera llegado a un estado de madurez suficiente; tercero, la necesidad de que los laboratorios se establecieran ahí donde se encontraban los problemas a los cuales se les quería dar solución, particularmente en aquellos sitios con poca investigación al respecto. Con base en estos principios, Needham identificó, además, nueve áreas prioritarias, entre las cuales los observatorios astronómicos ocupaban el primer lugar.

La divulgación de la ciencia, el caso de la astronomía

Una de las primeras acciones emprendidas por la UNESCO en el ámbito de las Ciencias Naturales fue la publicación, en 1948, de un manual titulado *Sugerencias para maestros que enseñan ciencias en países devastados*, el cual contenía 201 sugerencias para construir aparatos científicos y realizar experimentos de física, química, biología y astronomía.⁵ Si bien la obra estaba pensada particularmente para su uso en las zonas devastadas por la guerra, rápidamente fue traducido al árabe, al chino, al español y al tailandés, pues resultó sumamente promisorio para aquellas regiones con poca o nula experiencia en la enseñanza práctica de la ciencia.⁶

En 1950, y ya bajo el mando del físico francés Pierre Auger, el entonces Departamento de Ciencias Naturales organizó, como parte de su programa de divulgación de la ciencia, una exposición científica itinerante para dar a conocer en América Latina los últimos descubrimientos científicos en física y astronomía.⁷ De acuerdo con una nota publicada en octubre de 1950 en *El Correo de la UNESCO* (medio de difusión oficial de la información de la Organización):

El Museo Científico Circulante demuestra lo que puede hacer un auténtico espíritu de cooperación, ya que, si bien la idea y el plan del mismo fueron de la UNESCO, la ejecución sólo ha sido posible gracias a la devoción de varias instituciones científicas [...] las que han puesto a su disposición, y para todo el tiempo que tarde en desarrollarse el itinerario previsto, algunos de los instrumentos principales que se exhiben en el Museo (el generador hipersónico, el aparato de control termostático, el aparato de televisión, el modelo en madera de betatrón, etc.) [...]

¿Qué fines se propone la UNESCO con esa obra? En primer término, desarrollar su programa de divulgación científica, brindando a la

3. A solicitud, de acuerdo con el mismo Petitjean, de la Delegación estadounidense y de la Unión Astronómica Internacional.

4. UNESCO/Prep.Com./Nat.Sci.Com/12.Paris.

5. Por ejemplo, telescopios reflectores y refractores, astrolabios, cuadrantes solares, identificación de estrellas y constelaciones, etcétera.

6. Para 1962, el manual ya contaba con una segunda edición ampliada con sugerencias de los expertos de la UNESCO, se había reimpresso 24 veces y traducido a 30 idiomas.

7. Vale la pena recordar que, por aquel entonces, el mexicano Jaime Torres Bodet se desempeñaba como Director General de la UNESCO.



Figura 1. *El Correo de la UNESCO* (mayo de 1966), número especial sobre "El hombre y el espacio". © UNESCO.

América de habla española un modelo de museo científico que podía y debía extenderse por esos países; y, en segundo lugar, fomentar la curiosidad de las juventudes latinoamericanas, no sólo mostrándoles los esfuerzos y las realizaciones de los Clubes Científicos Juveniles sino presentándoles también los elementos materiales necesarios para el estudio y evolución de la moderna ciencia física y astronómica. (El Correo de la UNESCO, 1950, p. 2)

Así, y según la descripción de la exposición de Alain Gille (2006, p. 83): "En adición a los paneles con explicaciones, las ampliaciones

de dibujos e ilustraciones, los diagramas y las fotografías, la exposición incluía un vasto número de aparatos científicos que podían ser manipulados por los visitantes, así como una serie de experimentos que se podían realizar al momento". Sin lugar a dudas, el hecho de transportar y poner al alcance de las personas equipos de observación astronómica implicaba un riesgo, pero la exposición resultó todo un éxito pues en los dos años que duró la itinerancia, se montó en 13 países y fue vista por casi medio millón de personas, siendo así una de las primeras y más importantes campañas públicas sobre astronomía.

Tras la sorprendente respuesta del público, la UNESCO continuó con la realización de este tipo de estrategias de divulgación. Así, en 1954 organizó una exposición titulada *El ser humano mide el Universo*. En esta ocasión, la exhibición estuvo dedicada a los instrumentos con los que la humanidad mide las distancias: desde lo infinitamente pequeño hasta lo infinitamente grande. Dividida en 10 secciones, la exposición transmitía los diferentes modelos que la humanidad había tomado como modelo para establecer sus sistemas de medición: la escala humana (el metro), la microbiana (el micrón), los virus y las grandes moléculas (el milicrón), la escala atómica (el ángstrom), la escala geográfica (el kilómetro), el sistema solar (la unidad astronómica), la escala interestelar (el año luz) y la intergaláctica (el pársec).

La era espacial

Si bien la era espacial comenzó con el lanzamiento del primer satélite artificial (Sputnik I, 1957), *El Correo de la UNESCO* ya venía documentando, desde 1951, los avances de la ciencia y la astronomía en la exploración del espacio exterior. Así, por ejemplo, en un artículo publicado en abril de 1951, documentó la captación de la primera emisión radiofónica de la gran nebulosa de Andrómeda.

Hasta hace poco tiempo —afirmaba el artículo— la astronomía era una ciencia "visual": la simple vista y el telescopio servían para sus observaciones. Hoy, una moderna rama de la Ciencia, la radioastronomía, nos abre otra ventana sobre el mundo y nos permite utilizar nuevos instrumentos para el estudio de los espacios interplanetarios. (El Correo de la UNESCO, abril de 1951)



Figura 2. "Los proyectiles cósmicos y la investigación", artículo publicado en *El Correo de la UNESCO* (abril de 1951). © UNESCO.

Posteriormente, en noviembre del mismo año, *El Correo de la UNESCO* publica dos artículos, el primero de los cuales llevaba como encabezado: "La ciencia alcanza la imaginación de Julio Verne. La astronáutica prepara el viaje a la luna". En los avances de la astronáutica sirven como punto de encuentro para reflexionar sobre cómo estos logros se fundan en los grandes hitos de la astronomía y, también, en las ciencias humanas y las grandes expresiones



Figura 3. Sistema de Información Científica y Tecnológica de las Naciones Unidas (UNISIST). © UNESCO.

culturales que encuentran su raíz en la relación del ser humano con el cosmos: desde los mitos de origen distribuidos a lo largo y ancho del planeta hasta los hallazgos de Galileo y Newton, así como los postulados filosóficos de Kant o Laplace sobre aquella "nube de gas primordial que con el tiempo se contrajo, despidiendo al hacerlo la materia de la que se formaron los planetas".

En 1960, un año antes de que el ser humano finalmente realizara su primer viaje al espacio, *El Correo de la UNESCO* publicó un texto de V. G. Fesenkov, entonces Presidente del Comité de Meteoritos de la Academia de Ciencias de la ex Unión Soviética, titulado "Observatorio volante a través del espacio", en el cual se enumeraba la serie de condiciones atmosféricas que determinan los alcances en aquel entonces de la observación del cielo desde la Tierra, por ejemplo, la difusión de la luz solar, la luminosidad de la alta ionósfera o la imposibilidad de la penetración de los rayos cósmicos primarios a través del campo magnético de la Tierra.

La importancia, pues, de la cobertura y el análisis que dedicó *El Correo de la UNESCO* al tema de los viajes espaciales radica en el hecho de que, a través de ella, se reforzó la idea central que la UNESCO había manifestado desde su fundación: que la ciencia y la tecnología debían estar al servicio del mejoramiento de las condiciones de vida de la humanidad y, con ello, resultaba fundamental promover una cultura de paz a través de la cooperación para la investigación (en este caso enfocada en la astronomía) y la difusión de las implicaciones sociales de su conocimiento científico.

Ciencia e Información en la UNESCO

Actualmente, la UNESCO se rige por el principio del Libre Acceso (*Open Access*) en cuanto a la información científica, pues sostiene que esta información, resultado de los proyectos científicos, es también el recurso más importante para la innovación. Esta dimensión, que se enmarca en el sector de la Comunicación y la Información,⁸ tiene su primer antecedente en el Sistema de Información Científica y Tecnológica de las Naciones Unidas (UNISIST), el cual fue ideado a partir de una iniciativa conjunta entre el Consejo Internacional para la Ciencia y la UNESCO, a partir del establecimiento, en 1967, de un Comité que estudiaría la posibilidad de crear un sistema de este tipo.

El estudio UNISIST se refiere a la manera de enriquecer este recurso mediante una mayor cooperación internacional para mejorar su accesibilidad y empleo con objeto de que, como recurso internacional, contribuya de la mejor manera posible al desarrollo científico, educativo, social, cultural y económico de todos los países. (UNESCO, 1971)

Posteriormente, y tras la celebración en 1972 y 1979 de dos conferencias intergubernamentales sobre el tema, la UNESCO incluyó el Sistema como parte de su Programa General de Información, creado ya en 1976. A este respecto, es preciso recordar que, desde 1954, la UNESCO auspició, por solicitud de México, la creación de un Centro de Documentación Científica y Técnica para América Latina, en el que se albergaron y pusieron a disposición las colecciones de revistas científicas y los resúmenes de las investigaciones que se estaban llevando a cabo en la región. Años después, el acervo de este centro fue entregado al Instituto Politécnico Nacional para dar origen a la Biblioteca Central del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV).⁹

Dos programas, dos años internacionales

Desde 1973, la UNESCO y la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (UICG) pusieron en marcha el Programa Internacional de Ciencias Geológicas (PICG, hoy conocido como Programa Internacional de Ciencias de la Tierra, PICT). Durante más de 40 años, el PICT ha funcionado como un catalizador de la cooperación internacional que estimula la transferencia de conocimientos entre las diversas regiones del mundo, promoviendo el diálogo interdis-

ciplinario y el establecimiento de redes. A lo largo de su historia, el PICT ha sustentado más de 400 proyectos con énfasis en la solución de necesidades sociales relacionadas con la geociencia. El programa ha dado prioridad al estudio de los sistemas terrestres, que incorporan temas de alta relevancia social, como la relación entre las comunidades humanas y la naturaleza (tanto biótica como abiótica), así como problemas de salud, cambio climático y extracción de recursos minerales e hídricos. El Programa ha desarrollado una muy relevante cooperación con instituciones y organismos relacionados con la investigación astronómica y el espacio. Asimismo, el PICT



Figura 4. Suplemento para niños de *El Correo de la UNESCO* (abril de 1973). © UNESCO.

8. El mandato de la UNESCO abarca actualmente cinco grandes sectores: Educación, Ciencias Naturales, Ciencias Sociales, Cultura y Comunicación e Información.

9. El 19 de enero del 2015, la Oficina de la UNESCO en México y el CINVESTAV firmaron un Convenio de Trabajo para realizar diversos proyectos de investigación científica, tales como el origen de la producción de alimentos en América o el desarrollo de la tipología de las milpas en Yucatán, entre otros.

promueve la educación en Geociencia y la creación de Geoparques. De acuerdo con sus objetivos: “Los Geoparques Mundiales de la UNESCO cuentan la historia de 4,600 millones de años del planeta Tierra y de los acontecimientos geológicos que le dieron forma, y el registro de todas las formas de vida, incluyendo la evolución humana sobre el planeta. No sólo muestran evidencia de los cambios climáticos en el pasado, sino que también informan a las comunidades locales de los desafíos actuales y ayudan a verificar riesgos y a enfrentar consecuencias tales como terremotos, tsunamis y erupciones volcánicas” (UNESCO, 2016a).¹⁰ Sin duda se trata de un programa que puede coadyuvar a nuestros esfuerzos sobre los cielos oscuros (UNESCO, 2016b).¹¹

Posteriormente, en 2002, la UNESCO puso en marcha el Programa de Educación del Espacio, a partir de los resultados y las recomendaciones de dos grandes conferencias mundiales: la Conferencia Mundial de la Ciencia, organizada por la UNESCO y el Consejo Internacional de la Ciencia (ICSU, por sus siglas en



Figura 5. Gabriel Rodríguez, José Franco y Nuria Sanz durante la Reunión Internacional "El derecho a los cielos oscuros". © UNESCO/Nuria Sanz.

inglés), celebrada en Budapest en 1999; y la Tercera Conferencia de Naciones Unidas sobre los Usos Pacíficos del Espacio Exterior (UNISPACE-III), organizada por el Comité de Naciones Unidas para el Uso Pacífico del Espacio Exterior y la Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior, celebrada en Viena, también en 1999. En la Conferencia Mundial de la Ciencia se recomendó la mejora de la educación científica a través de la inclusión en la currícula de nuevos temas y metodologías de enseñanza, en UNISPACE-III se señaló la importancia de que las nuevas generaciones contaran con oportunidades para aprender más sobre la importancia de la ciencia y la tecnología en el desarrollo humano, a través de las ciencias del espacio. Así, y dado que en ambos casos se identificó a nuestra institución como la agencia de las Naciones Unidas más idónea para implementar dichas recomendaciones, la UNESCO creó un programa que vincula a las ciencias del espacio exterior (es decir, la astronomía, la aeronáutica, la ingeniería y la robótica) con la educación, introduciendo nuevos conocimientos, valores y perspectivas en la enseñanza escolar de la Tierra y del universo. Al mismo tiempo, los conocimientos del espacio exterior ofrecen una nueva y más novedosa perspectiva sobre los procesos de la ciencia y el desarrollo tecnológico. En última instancia, el programa persigue como objetivo ampliar la toma de conciencia sobre las implicaciones sociales que trae consigo la investigación espacial (y, dentro de ella, la astronomía), así como su impacto en el desarrollo sostenible y el bienestar de la humanidad.

De forma paralela, una de las estrategias a través de las cuales la UNESCO ha promovido la difusión y transmisión de conocimientos científicos, así como la concientización de la comunidad internacional sobre las implicaciones sociales y culturales de la ciencia, ha sido la celebración de los años internacionales. Así, y en el caso específico de la astronomía, se pueden destacar dos grandes ejemplos: el del Año Internacional de la Astronomía, en 2009, y el Año Internacional de la Luz y las Tecnologías basadas en la Luz, en 2015, conmemoración en el cual se enmarcó, justamente, la Reunión Internacional “El derecho a los cielos oscuros” de la Ciudad de México, cuyas conclusiones tiene ahora el lector en sus manos.

Con respecto al Año Internacional de la Astronomía, conviene destacar que en el 2009 se cumplía el 400 aniversario de la primera obser-

10. Véase: <www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/ciencias-naturales/earth-sciences/geoparques>.

11. Véase: <www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/list-of-unesco-global-geoparks>.



Figura 6. Diálogo y mesas de discusión durante la Reunión Internacional "El derecho a los cielos oscuros". © UNESCO/Nuria Sanz.

vación astronómica de Galileo a través de un telescopio. Así, durante el 2009 la UNESCO y la Unión Astronómica Internacional (UAI) lideraron todo un año de actividades con el fin de identificar y difundir las contribuciones de la astronomía a la sociedad y la cultura, con un énfasis en la educación, la formación de públicos y el involucramiento de los jóvenes. De acuerdo con Catherine Cesarsky, Presidenta Ejecutiva del Año Internacional, “además de celebrar las maravillas de la astronomía, los proyectos del Año Internacional 2009 tocaron las vidas de millones de personas en todo el mundo; para muchos, este fue su primer contacto con el tema” (UNESCO, 2009, p. 2). Los recuentos finales son relevantes: 40 organizaciones involucradas, 148 Comités Nacionales, 28 proyectos globales y más de 800 millones de personas que acudieron y participaron en alguna de las más de 140 actividades e iniciativas implementadas alrededor del mundo.

Uno de los grandes resultados del Año Internacional de la Astronomía fue la realización y publicación del estudio temático *Patrimonio de la Astronomía y Arqueoastronomía en el marco de la Convención del Patrimonio*, elaborado por la UAI y el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS y UAI, 2010).¹² El principal objetivo de este estudio fue identificar el Valor Universal Excepcional de los Sitios del Patrimonio Mundial vinculados con la astronomía, así como de otros sitios que no cuentan con un proceso de candidatura en la Lista, pero cuyo estudio resulta

igualmente significativo. El estudio presenta 44 casos de diferentes épocas y regiones, a partir de los cuales se han podido establecer las bases para desarrollar categorías de análisis comparativas. El estudio, además, contribuyó a la consolidación de una iniciativa que la UNESCO venía elaborando desde el 2003: la Iniciativa Temática “Astronomía y Patrimonio Mundial”. Esta iniciativa había comenzado como un proyecto piloto para “establecer un vínculo entre ciencia y cultura, a través del reconocimiento de los sitios y monumentos ligados a observaciones astronómicas”,¹³ no sólo en términos científicos sino también de las culturas tradicionales. El informe se presentó en ocasión de la 36 Sesión del Comité de Patrimonio Mundial, celebrada en 2012 en San Petersburgo.¹⁴

En esa misma línea de acción, la Oficina de la UNESCO en México organizó en 2014 la Reunión Internacional “El papel de la arqueoastronomía en el mundo maya: el caso de la Isla de Cozumel”, cuyos resultados pueden consultarse en la publicación homónima, disponible en línea (<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002447/244722S.pdf>).

Finalmente, con el Año Internacional de la Luz y de las Tecnologías basadas en la Luz, la UNESCO y la comunidad científica internacional conmemoraron varios hitos históricos de la ciencia de la luz, entre ellos: la presentación, en 1815, de la teoría de Fresnel sobre las

12. Disponible en: <www2.astronomicalheritage.net/index.php/thematic-study-content>.

13. Véase: <whc.unesco.org/en/astronomy>.

14. Para más información sobre la Iniciativa Temática “Astronomía y Patrimonio Mundial”, véase: <www2.astronomicalheritage.net>.

ondas lumínicas, la descripción de Maxwell sobre la teoría electromagnética (1865), la teoría de la relatividad de Einstein (1915) y el descubrimiento de la radiación de microondas de Penzias y Wilson, en 1965, así como el desarrollo de la fibra óptica a cargo de Charles Kao (también en 1965). Así, y a lo largo del 2015, se realizaron más de 5 mil eventos y actividades en los cinco continentes. Tan sólo con respecto a la astronomía, se llevaron a cabo cerca de 7 mil observaciones nocturnas del cielo y más de 40 materiales educativos sobre la luz y el cosmos, así como 675 exposiciones sobre el espacio en 30 países y en 12 lenguas distintas. Es, pues, con la noción del papel que tiene la luz en las actividades humanas y en la existencia misma de la vida, así como con la relación entre las tecnologías asociadas a la luz con las necesidades de bienestar y desarrollo humanos, que la Oficina de la UNESCO en México planteó, junto con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, la importancia de realizar, justamente durante el Año de la Luz, la Reunión Internacional “El derecho a los cielos oscuros”, gracias a la cual hemos intercambiado experiencias e información y se ha generado una reflexión conjunta, como la que ilustran estas páginas, sobre la contaminación lumínica en México y en el mundo, además de definir las líneas de acción para continuar impulsando la investigación astronómica y el desarrollo de las comunidades astronómicas en la región. Por todo lo anterior, y en un marco más general de la cooperación científica internacional se analizaron sus implicaciones sociales, culturales y económicas, las relaciones de la astronomía con otros aspectos del desarrollo sostenible, tales como la búsqueda y el uso de energías asequibles y no contaminantes (Objetivo de Desarrollo Sostenible [ODS] número 9 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas), el diseño y la instrumentación de estrategias para el establecimiento de ciudades y comunidades sostenibles (ODS número 11), así como la protección y conservación de la vida y los ecosistemas terrestres (ODS número 15).¹⁵

II. Una mirada desde América a las leyendas de la creación del cielo

Desde el inicio de nuestro propósito de organizar una reflexión multidisciplinar sobre el derecho a los cielos oscuros, defendimos la articulación de dos anhelos, por un lado, el de los científicos, y

por otro, el de las comunidades indígenas, cuya cosmogonía, ritos y prácticas culturales contemporáneas encuentran en el cielo un destino y un sentido a su quehacer sagrado y productivo. Y nos hemos dado a la tarea de investigar fuentes y estudios sobre la intrínseca relación entre cielo, cosmogonía, ritual y mito en la América indígena, que pueden ayudarnos a significar la conexión medular de cultura y pensamiento astronómico.

La concepción mesoamericana concibe la estructura del cosmos tripartita: inframundo, tierra y región celeste, tres estadios que confluían en un centro vinculado a los cuatro puntos cardinales, una especie de ombligo del universo; un centro que daba vida a la máquina universal.

Durante tres milenios, mexicas, olmecas, nahuas y mixtecos, entre otros, coincidieron en representar del mismo modo la estructura cósmica, un origen del universo, en inicio, sin dioses (Florescano, 2016).

Ya los mayas en el *Popol Wuh* describen la anterioridad del cielo con respecto a la tierra, al hombre y al maíz: “Ésta es pues la primera palabra, la primera expresión: cuando todavía no existía una persona ni animal, pájaro, pez, cangrejo, árbol, piedra, cueva, barranco, pajón, bosque, sólo el Cielo existía” (Anónimo, 2008).

Al mismo tiempo, como lo tradujo Miguel León-Portilla del *Libro de los Coloquios*, los astrónomos son los hacedores de relación humana-astral, lo cual no puede entenderse simplemente dentro de estrechos esquemas dualistas. Esta consideración nos parece esencial si se quiere analizar la concepción y la relación que establecieron los pueblos mesoamericanos con el cielo, así como su posterior desarrollo astronómico, cuya precisión aún sigue sorprendiendo a los especialistas.

Los que ven, los que se dedican a observar el curso y el proceder ordenado del cielo, cómo se divide la noche. Los que están mirando [leyendo], los que cuentan [o refieren lo que leen]. Los que vuelven ruidosamente las hojas de los códices. Los que tienen en su poder la tinta negra y roja [la sabiduría] y lo pintado.

Ellos nos llevan, nos guían, nos dicen el camino. Quienes ordenan cómo cae un año, cómo siguen su camino la cuenta de los destinos y los

15. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible puede consultarse en: <www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/70/1>.

días y cada una de las veintenas [los meses]. De esto se ocupan. A ellos les toca hablar de los dioses. (León-Portilla, 1986, s/p)

En Mesoamérica, y en general en todas las antiguas culturas americanas, la observación astronómica es inextricable de la política y de la organización social, así como de otros desarrollos del conocimiento, específicamente las matemáticas, la escritura y la agricultura. “Lo que hay que destacar”, dice Alfredo López Austin (1994), “es que las sociedades que llamamos tradicionales tienen en su conducta y pensamiento una congruencia muy superior a la nuestra, proyectada en buena parte en su concepción de las leyes sociales y naturales, *indisolublemente unidas*”.¹⁶ Así, por ejemplo, “las estelas [mayas] registran, sobre todo, eventos importantes en las vidas de los gobernantes y otros sucesos políticos vinculados con las dinastías. Por lo tanto, ‘el tema principal de la escritura mesoamericana fue la presentación de información política en una estructura calendárica’” (Marcus, en Broda, 2000).

En otro texto, Lucrecia Maupomé (1996, s/p) rescata una idea de Séjourné: “El pensamiento nahua [y por extensión, el mesoamericano] está cifrado por los calendarios”.¹⁷ Tal expresión es rastreable en el origen mismo de Mesoamérica, en la cultura olmeca, donde el calendario era tan importante como una constitución. Desde entonces, el cielo era el pentagrama de la melodía política y productiva de las sociedades prehispánicas americanas.

Más allá de Mesoamérica, hacia el norte, los indios skidi organizaron los patrones de su existencia a partir de los movimientos estelares. Sus conceptos de organización y movimiento sideral definieron para ellos lo que debería ser masculino, lo que debería ser femenino y cómo ambos principios se combinan para producir a los seres humanos, a las plantas y los animales (Von del Chamberlain, 2009). Así, por ejemplo, las comunidades skidi consideran a la estrella Polaris como ejemplo de liderazgo político: tal y como el astro polar se mantiene en su sitio, siempre disponible, como si estuviera al tanto del resto de las estrellas, una función de faro, de vigía; así también el jefe de una comunidad debe mantenerse al pendiente de las necesidades de su pueblo (Von del Chamberlain, 2009). Por su parte, los navajos identifican a las estrellas como símbolos para vivir en equilibrio con las fuerzas de la naturaleza. Para

esta comunidad, *Náhookos bika’ii* (la Osa Mayor, principio masculino) y *Náhookos ba’áiadi* (Casiopea, principio femenino) giran en torno a Polaris, así también el hombre y la mujer deben permanecer en torno al hogar, cerca del fuego, como una familia. Otro ejemplo de ética sideral lo brindan los tseltales, quienes encuentran en el camino que realiza el Sol una representación del bien. Cuando los tseltales hablan de hacer el bien, se refieren a ir hacia donde sale el Sol. El bien, *te lekilal*, permanece, nos trasciende y se enmarca en el cosmos. El bien nos llega a diario desde donde sale el Sol y con su recorrido se genera una realidad axial en la que se integra el bien del orden cósmico cotidianamente (Paoli, 2013).

La arquitectura que da forma a la concepción del cosmos. Arriba y hacia abajo por la misma escalera

A partir de la orientación astronómica de sus sitios sagrados, las culturas prehispánicas dieron expresión a la unidad de medida de tiempo y de espacio. Las pirámides mismas son observatorios astronómicos en la medida en que éstas se construyeron a partir de una representación del cielo que no tiene forma de bóveda, sino que responde a una estructura piramidal. Así, el Sol sube escalonadamente hacia el cénit y luego desciende al inframundo.

“Mitología matematizada” es la manera en que León-Portilla define cómo la observación del cielo produjo otra expresión cultural característica de Mesoamérica, en la que se puede admirar la naturaleza integral de su pensamiento simbólico-práctico: “gracias a la extraordinaria habilidad escultórica de los olmecas, se levantaron algunas de las pirámides más antiguas de Mesoamérica, las cuales eran una representación simbólica del *kósmos*” (León-Portilla, 1986, s/p).

De todas las culturas mesoamericanas, los mayas son quizá quienes produjeron la mayor expresión astronómica de Mesoamérica. Gracias a sus conocimientos matemáticos, dieron seguimiento al curso de los astros, registraron solsticios y equinoccios, predijeron eclipses. Ahí está, como un testimonio, el Códice Dresde:

Desde finales del siglo XIX se conoce muy bien cuál era la sofisticación del conocimiento de los cielos por parte del mundo maya. Desde el inicio de las investigaciones, el calendario y la práctica matemática no podían ser considerados de segunda categoría científica, pero sí provenientes de

16. Las cursivas son nuestras.

17. Disponible en: <bibliotecadigital.ilce.edu.mx/Colecciones/index.php?c>.

formas de hacer ciencia no-occidental. Desde las primeras lecturas del Código de Dresde se evidencian las visibilidades cíclicas de Venus y las relaciones entre los ciclos lunares y los eclipses. (Sanz, 2016, p. 16)

El Códice Dresde está emparentado con otro códice mesoamericano, el Borgia, en el que se hallan numerosas representaciones gráficas del cielo con color dominante gris oscuro, círculos y puntos negros, o bien con pequeños detalles en forma de herradura y estrellas, representadas convencionalmente como “ojos de la noche”. A veces la imagen contiene también el dibujo de cuchillos de pedernal. Se sabe que es el cielo nocturno por la presencia de la Luna (Mikluska, 2015). “No cabe duda de que las pirámides escalonadas de los antiguos mexicanos, en cuyas cúspides había adoratorios, eran también representaciones de los asientos de las deidades en las alturas celestes” (Preuss, en Neurath, 2015).

Por ello, no sorprende que, así como en su cúspide hubo adoratorios, alrededor de las pirámides, se hayan encontrado numerosas cuevas de importancia ritual y astronómica: por ejemplo en Xochicalco o en la misma Teotihuacán. Bocas subterráneas a través de las cuales el Sol finalmente descendía al inframundo. Como recuerdan Moragas Segura y Sarabia González (s/a), debajo de la Pirámide del Sol se halla una cueva

en la cual se realizaban ritos religiosos relacionados con el agua, la fertilidad o ceremonias de investidura y oráculos, [la cueva] parece ser el elemento que sirvió de atracción religiosa de la población en un punto concreto del Valle antes de la construcción de las pirámides. Para [Doris] Heyden la existencia de esta cueva se puede relacionar con el concepto de Chicomostoc o “lugar de origen”.



Figura 6. Izquierda: La Tabla de Venus del Códice Dresde fue usada por los sacerdotes para conocer los augurios relacionados con este planeta. Centro: La página 27 del Códice corresponde a las ceremonias de los *uayeb*, o cinco días aciagos, los cuales marcaban el final del año y el primer día del año nuevo. Derecha: En las páginas 43 a 45 de este códice se muestra una tabla de 780 días, con un monstruo se muestra una tabla de 780 días, con un monstruo que desciende del cielo. Se le llama Tabla de Marte por coincidir con el periodo sinódico de dicho planeta, de 779.936 días. © UNESCO/Nuria Sanz.

En su aportación al volumen *El papel de la arqueoastronomía en el mundo maya: el caso de la Isla de Cozumel*, Jesús Galindo Trejo (2016, p. 21) comienza afirmando que:

La observación sistemática de la bóveda celeste dio al habitante mesoamericano la posibilidad no sólo de generar su propio sistema calendárico, sino también la de crear una manera peculiar de orientar sus principales estructuras arquitectónicas. [...] Se trata de una especie de relojes cósmicos que todavía funcionan, aunque sus creadores ya no están.

Quizá el ejemplo más popular del funcionamiento de esos “relojes cósmicos” es la Pirámide del Castillo en Chichén Itzá, que adquiere notoriedad cada equinoccio por el “descenso de Kukulcán”, fenómeno que incluso ha sido estudiado por la NASA, según lo refiere Montero García (2016, p. 86).

Otro caso ejemplar es, sin duda, el de Teotihuacán, la Ciudad de los Dioses, con su majestuosa arquitectura dispuesta según la perspectiva cosmogónica-religiosa, principalmente en las pirámides del Sol y de la Luna. Es ahí, en Teotihuacán, donde toma lugar el mito del Quinto Sol:

Los pueblos que llegaron a asentarse en el valle de México después de 750 d. C. vieron esparcidos aquí y allá restos de esculturas y cerámica; adivinaron que debajo de los montículos de tierra existían edificios y calzadas; pero no sabían quién los había construido. Entonces los atribuyeron a los dioses. El mismo nombre de la ciudad así lo refiere: “lugar donde nacen los dioses”. El topónimo surge cuando esos pueblos deciden que fue en Teotihuacán donde se convocó a los dioses para crear el Quinto Sol y, por ende, al hombre. (Matos Moctezuma, 2012, pp. 11-12)

Los incas también desarrollaron un sofisticado sistema de estructuras monumentales para registrar los movimientos del Sol a lo largo del horizonte circundante andino. En su caso, se preocuparon por ubicar en un sitio la creación del Sol, pues ello les permitió emparentarse con el astro, tal y como los mexicas lo hicieron con Teotihuacán. Para los incas, este sitio estaba en el lago Titicaca, la Isla del Sol, donde también nacieron la Luna y las estrellas y donde además se formó el primer ser humano, Manco Cápac. Así lo re-

fiere Cristóbal de Molina (1613) en su relación de 1573, de la cual respetamos la grafía del original:

dicen que era de noche y que allí hizo el Sol y la Luna y estrellas, y que mando al Sol y Luna y estrellas fuesen a la isla de Titicaca, que esta allí cerca, y que desde allí subiesen al cielo. Y al tiempo que se queria subir el Sol en figura de un hombre muy resplandeciente, llamo a los Incas y a Manco Capac como a mayor dellos, y le dijo: “Tu y tus descendientes habeis de ser senores y habeis de sujetar muchas naciones; tenedme por padre y por tales hijos mios os jacteis [...]”.

Recuerda David S. P. Dearborn (2000) que “existe evidencia histórica que sugiere que la Isla del Sol fue un sitio de adoración al Sol y el punto atribuido de su nacimiento desde mucho antes del arribo del imperio Inca. Esta asociación con el astro se puede extender por lo menos a los indios Colla, quienes ocuparon el área mucho antes de la incursión Inca”.

Además, como asientos de la Tierra, como sitios de refugio, como entradas al inframundo, las cuevas están emparentadas con el cielo. Confunden, sin duda, los términos castellanos *inframundo* o *subterráneo*, pero hay que recordar, como lo hace Katarzyna Mikulska (2015, p. 114), que:

la palabra nahua ilhuicatl, “cielo”, se usa en referencia no sólo al espacio celeste, que desde el punto de vista occidental está encima de la tierra, sino a varios lugares que son al mismo tiempo destinos de los muertos. [...] Este lugar puede ser la “casa del sol” —tonatiuh ichan ilhuicatl—, el cielo [...] a donde iban los guerreros muertos en combate, las mujeres muertas en el primer parto y los niños ofrecidos a Tlalloc [sic]. También puede ser el “cielo Tlallocan”.

Lo que estas imágenes manifiestan, escribe Ana Díaz (2015), es que “el arriba y el abajo comparten la misma naturaleza, pero la importancia de sus cualidades está en la transformación que se genera mediante la acción ritual: la palabra y la ofrenda, que preceden y dirigen la transformación”.

No por nada, para los huaves de San Mateo del Mar (Oaxaca), a cada difunto en la tierra le corresponde una estrella en el cielo. También

para ellos el Sol atraviesa el inframundo (“las entrañas de la tierra”) y vuelve a salir por el oriente, donde tiene su casa: hacia donde miran los que rezan y hacia donde se orientan las tumbas de los muertos (Lupo, 1991).

De las palabras, de los mitos y las cuentas

De acuerdo con datos de Ulrich Köhler (2001), los tzotziles chiapanecos de San Pablo Chalchihuitán reconocen hasta 20 fases de la Luna y que su existencia no sólo se encarna en el uso de frases y palabras específicas para nombrarlas, sino también en gestos y posiciones. Por su parte, los achés mayas de Guatemala indican el tiempo de sequía remedando con la mano un cuenco horizontal que hace referencia a la Luna llena. Para referirse al tiempo de lluvias, el mismo cuenco de la mano se gira para verter el líquido de la Luna. Actualmente, en la Amazonia peruana, los indios amuesha dividen la noche en seis subperiodos y cuentan con un término definido para identificar cada uno: *tsapuen* (de las 18 a las 20 h); *rantaren* (de las 20 a las 23 h), cuya raíz proviene de *ranto*, que quiere decir “estrella”, con lo cual se reconoce el momento en que éstas son más visibles; *po’cto’tsentsap* (de las 23 a las 24 h); *narenen* (de las 24 a las 2 h); *puetarenmoch* (de las 2 a las 4 h), y *shocshocaren* (de las 4 a las 6 h) (Santos Granero, 1992).

Sin lugar a dudas, esta expresión contemporánea de los indios amuesha recuerda la tradición cristiana de la división de la noche en vigilias, transmitida en latín por San Isidoro en el siglo VII y luego vertidas a las lenguas romances por Alfonso de Palencia en el siglo XV: tarde (cuando el Sol se pone), crepúsculo (cuando comienzan las tinieblas), concubio (cuando los hombres se duermen), noche intempesta (cuando los animales ya reposan), conticinio (cuando todo se encuentra en imperturbable silencio), gallicinio (cuando los gallos comienzan a cantar), dilúculo (cuando se anuncia la llegada del alba) y antelucano (cuando el alba comienza a esparcir las tinieblas).

Ahora bien, en el caso de las culturas precolombinas, el mensaje cifrado en sus sitios arqueológicos responde a un ciclo cosmogónico que se repite en sus mitos, con ligeras variaciones. De los olmecas a los mexicas, las imágenes visuales, los ritos y ceremonias y los mitos pintados en los códices propagaron el mismo relato acerca de la

creación del cosmos y el principio de los reinos (Florescano, 2012). El cielo marcaba el origen y el destino.

Es el caso del Quinto Sol de los mexicas, como ya se ha dicho, pero es también el caso del Popol Vuh de los mayas o del Código de Viena de los mixtecos. Como lo señala Florescano (2012), la estructura del mito es idéntica a la de los Cinco Soles: creación del cosmos, manifestación de los dioses, ordenamiento del mundo, nacimiento de los seres humanos e historia de sus reinos. Además de identitaria, la secuencia mítica contribuye a preservar la memoria colectiva, ancestral. Y son el cielo y su observación de donde se desprende este mecanismo. Como recordaba el mitólogo Joseph Campbell (2013): “Hoy sabemos que provenimos del espacio, ya que fue en ese espacio primordial donde se formó nuestra galaxia, a la que pertenece nuestro Sol, que nos da vida. Y este planeta, de cuya materia estamos hechos, es un satélite que gira alrededor de ese sol”. Para Campbell, el Universo es “nuestro gran ancestro”. Mirar al cielo, por lo tanto, es observar el punto más distante de nuestro pasado. Ahí está nuestro origen.

El cielo está vivo, y llora

Para las culturas precolombinas, el cielo estaba vivo. Así lo demuestra, por ejemplo, la información que sobre los incas dejó el cronista Polo de Ondegardo (1571). De acuerdo con su relación, entre las constelaciones de los incas se encontraban varios animales y aves, incluyendo llamas, felinos y serpientes:

Y, generalmente, [de] todos los animales y aves que hay en la tierra, creyeron [los incas] que hubiese un su semejante en el cielo, a cuyo cargo estaba su procreación y aumento. Y, así, tenían cuenta con diversas estrellas, como las que llamaban Chacana y Topalorca y Marrana y Mirco y Miquiquiray, y otras así. (González Pujana, 1994)

Actualmente, los indios amuesha, a quienes ya nos hemos referido, consideran que la posición de las estrellas en determinadas épocas del año está ligada a los hábitos migratorios de las aves, a la floración y fructificación de los árboles o a las diversas etapas del ciclo biológico de los animales salvajes (Santos Granero, 1992).

En el Pacífico americano, de acuerdo con la mitología polinesia hawaiana, el viaje del Sol de un extremo al otro del cielo es un sím-



Figura 7. Vista del cielo estrellado en el Estado de Coahuila. © César Cantú.



bolo que contiene, en sí mismo, a todas las generaciones humanas habidas y por haber:

Ku, hombre o esposo (kane), e Hina, mujer o esposa (wahine), son invocados como los grandes dioses ancestrales del cielo y la Tierra. Juntos, controlan a la fertilidad y la procreación humana. Ku significa “crecer erguido” e Hina significa “inclinarse hacia abajo”. El Sol, al amanecer, es referido como Ku, y al ponerse es nombrado Hina. Por lo tanto, la mañana le pertenece a Ku, mientras que el atardecer le pertenece a Hina. Las alabanzas para Ku se dirigen hacia el Este, las de Hina hacia el Oeste. Juntos contienen a toda la Tierra y el cielo, de Este a Oeste, en un símbolo que contiene a todas las generaciones del ser humano, tanto de los que vendrán como de los que ya han nacido. (Beckwit, 1940)

A final de cuentas, si la Tierra es el asiento de la vida, el cielo es el techo que cobija y nutre sus manifestaciones. Quizá por ello los huicholes conciben el tejado de zacate de sus templos como un equivalente al cielo, el cual debe renovarse periódicamente mediante la acción ritual. Quizá por ello, los navajos representaron al cielo en la bóveda de sus cuevas sagradas. Quizá por ello las casas en las que habitaron los skidi eran utilizadas como observatorios desde los cuales rastrearon los movimientos del cielo. Quizá por ello los huaves de San Mateo de Mar (Oaxaca) corroboran la sacralidad del cielo al comparar a las estrellas con las velas de una iglesia. Quizá también por ello los mayas modernos de Cobá (Quintana Roo) cortan los postes que usarán para erigir sus casas en la época de plenilunio, para asegurarse así de que se conserven bien y se mantengan firmes. Porque, como lo recuerda López Austin (1994) para los pueblos indígenas actuales, los árboles, las lombrices, los animales domésticos y los mismos seres humanos contienen más o menos agua, de acuerdo con las fases lunares. Si la Luna brilla menos que el Sol es porque se trata de un recipiente que se vacía, que “llora”, que “deja escapar su líquido que es luz, que es llanto, que es lluvia”.

La América indígena contemporánea necesita cielos nocturnos visibles para seguir creyendo en lo que le significa.

III. Soberanía nacional vs. multilateralismo astronómico exitoso

¿Cómo discutir el concepto de *soberanía celeste*? En pocos años las ventanas privilegiadas al estudio del universo van a reducirse a un número no superior a cinco países en el orbe, pero la generación de conocimiento sólo puede ser el resultado de proyectos multipaís, aunque el cielo se observe desde un territorio nacional. Y lo que es más importante, los resultados son esenciales para todos.

Esta forma de generación de conocimiento nace compartida y se disfruta colectivamente. Los megatelescopios que anuncian paisajes astronómicos cada vez más sofisticados van a concentrarse en territorio chileno en la próxima década. Chile va a emplazar 70 % de las infraestructuras mundiales en 2025, y esto ha significado un reto en cuanto a la traslación de su industria, de su innovación y de su política pública al servicio de la astronomía. Es ahora cuando la exploración debe conducirnos a una forma de diplomacia científica y cultural, capaz de formular sistemas y mecanismos de cooperación internacional y de inventar una nueva fórmula de multilateralismo eficaz en el siglo XXI. Se trata de una empresa pública internacional en un territorio nacional, lo cual implica inventar formas de innovación multilaterales y formas de protección colaborativa de largo plazo. En otras palabras, el cielo nos obliga a otra forma de concierto mundial para proteger el paisaje más común para todas las culturas sobre la tierra.

Sin duda este escenario de cooperación puede encontrar algunas referencias previas en la tan discutida Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar y que ahora va a reanudarse en el seno de la Organización a través de New UN Treaty for the Conservation and Sustainable Use of Marine Biological Resources in Areas Beyond National Jurisdiction under the United Nations Convention on the Law of the Sea.

Patrimonio Común de la Humanidad

El concepto *patrimonio común* de la humanidad surge a mediados siglo XX, aunque algunos autores han intentado rastrear su origen en la obra de Francisco de Victoria y en la obra de algunos americanistas, como Andrés Bello.

Desde el punto de vista jurídico se ha relacionado este concepto con los de *res communis* y *res nullius*, los cuales provienen del derecho romano y su usanza, el primero, para definir bienes comunes y, el segundo, para recibir cosas sin dueño. En el primer caso quedaban incluidos los bienes que no le pertenecían a nadie, de uso común, eran bienes de todos pero no apropiables, lo que impedía el desarrollo de derechos reales sobre ellos e implicaba el principio de libertad de uso común para todos. En el segundo caso, las cosas sin dueño pasan a formar parte de la propiedad de las personas y, a partir de ahí, sirve como fundamento para la concepción clásica del derecho internacional sobre apropiación de territorios que han sido descubiertos, ocupados o apropiados.

Otro concepto importante que tener en cuenta es el de *interés común de la humanidad*, que para algunos expertos constituye el fundamento para la articulación del concepto de *patrimonio común de la humanidad* y forma parte de tratados internacionales más recientes, de acuerdo con una tendencia que postula la necesidad de introducir en el ordenamiento jurídico internacional un principio que descansa sobre la consideración de la humanidad como titular de derechos sobre determinados ámbitos o espacios físicos, recursos que representan el interés común de la humanidad.

La idea del interés común lleva a la comprensión de que con independencia de los intereses propios de cada nación hay una concurrencia de fines compartidos que tiene que ver con aspectos que se derivan de un interés común. Y es sin duda esta acepción la que está más cerca de nuestros propósitos. A lo largo de toda la historia de las relaciones internacionales se puede identificar cómo en determinados momentos se ha llegado a la constitución jurídica de lo que significan los intereses o bienes comunes o algunos otros conceptos que reconocen la existencia de bienes de pertenencia común a todos los seres humanos.

El concepto de *patrimonio común de la humanidad* surge en el derecho internacional en el ámbito del derecho del mar. Pero tenía que ver con los espacios situados más allá de las jurisdicciones de los Estados. La primera vez que se utiliza el concepto es en un discurso del Presidente de los Estados Unidos, Lyndon B. Johnson, en 1966, con el objeto de proteger el mar de distintas formas de competencia. Poco a poco, su utilización va avanzando en todo el derecho internacional

en relación con los bienes comunes, donde debe prevalecer sobre la competitividad un concepto de *res communis*. Y algunos de los principios que regulan ese concepto son el uso pacífico, la libertad de acceso, exploración e investigación científicas, el reparto equitativo de los mismos en beneficio de toda la humanidad. Pero toda esta reflexión parte de la existencia de un espacio determinado donde no se considera la jurisdicción de ningún estado en particular. El patrimonio de todos habría de construirse fuera de la soberanía de las naciones. Caso diametralmente contrario al que ahora nos ocupa.

Ahora se trata, sin embargo, a propósito del cielo, de fomentar la cooperación científica con fines pacíficos, difundiendo los resultados de los programas y colaborando para reforzar la capacidad de investigación, pero desde las ventanas al universo instaladas en un territorio nacional soberano y con un propósito común: beneficiar a toda la comunidad internacional.

Sin duda los cielos oscuros abren otras ventanas a la reflexión multilateral.

La lectura de estos mitos sobre el cielo define mejor nuestras formas de humanidad. El ejercicio de la astronomía puede ser demostrativo de que el beneficio es para todos y cuya práctica puede convertir esa forma ancestral de respeto en una forma de ciudadanía y de responsabilidad social.

En los aspectos aquí considerados la ciencia tiene obligación de comunicar y de ayudar a traducir los avances científicos en términos de desarrollo local. Quizá en un futuro no muy lejano podamos inventar alianzas cuyo propósito sea generar reservas internacionales de cielos estrellados. Como una forma de “astronomía para el desarrollo”. Sin duda, el conocimiento astronómico es una ventana a otras ciencias y a otras culturas, y goza de una suerte de efecto intercambiador.

Las colosales inversiones financieras que demandan las renovadas infraestructuras de observación astronómica requieren además ser explicadas a la opinión pública con todo rigor y explicitando el beneficio social que permite justificar los costos, también astronómicos, de estas empresas científicas y tecnológicas, especialmente ahora que acabamos de estrenar una Agenda Mundial para el Desarrollo

que necesita cumplir con 17 objetivos, pero que especialmente debe cumplir con la eliminación de la pobreza en el mundo, como reto primero y absoluto.

Todos los participantes son conscientes de que la puesta en práctica de las legislaciones y normativas tiene por sí misma un alcance limitado y que el practicar con el ejemplo depende de una rigurosa articulación de propósitos con una ciudadanía bien informada, responsable y exigente, que colabore con los cargos públicos responsables de las infraestructuras urbanas, planificación territorial, vivienda, y con todos aquellos que ocupan una responsabilidad en la política pública urbana, sin olvidar las alianzas urgentes con los sectores productivos y empresariales público-privados.

Los convocados a esta reunión se reiteraron convencidos del papel de la investigación arqueológica y reflexionaron sobre las recomendaciones formuladas por el Instituto Nacional de Antropología e Historia de México al respecto de los lugares ligados a la arqueoastronomía, a modo de continuidad con lo ya avanzado por la reunión organizada por el Oficina de la UNESCO en México y el Gobierno de Quintana Roo/Cozumel (UNESCO, 2016c).

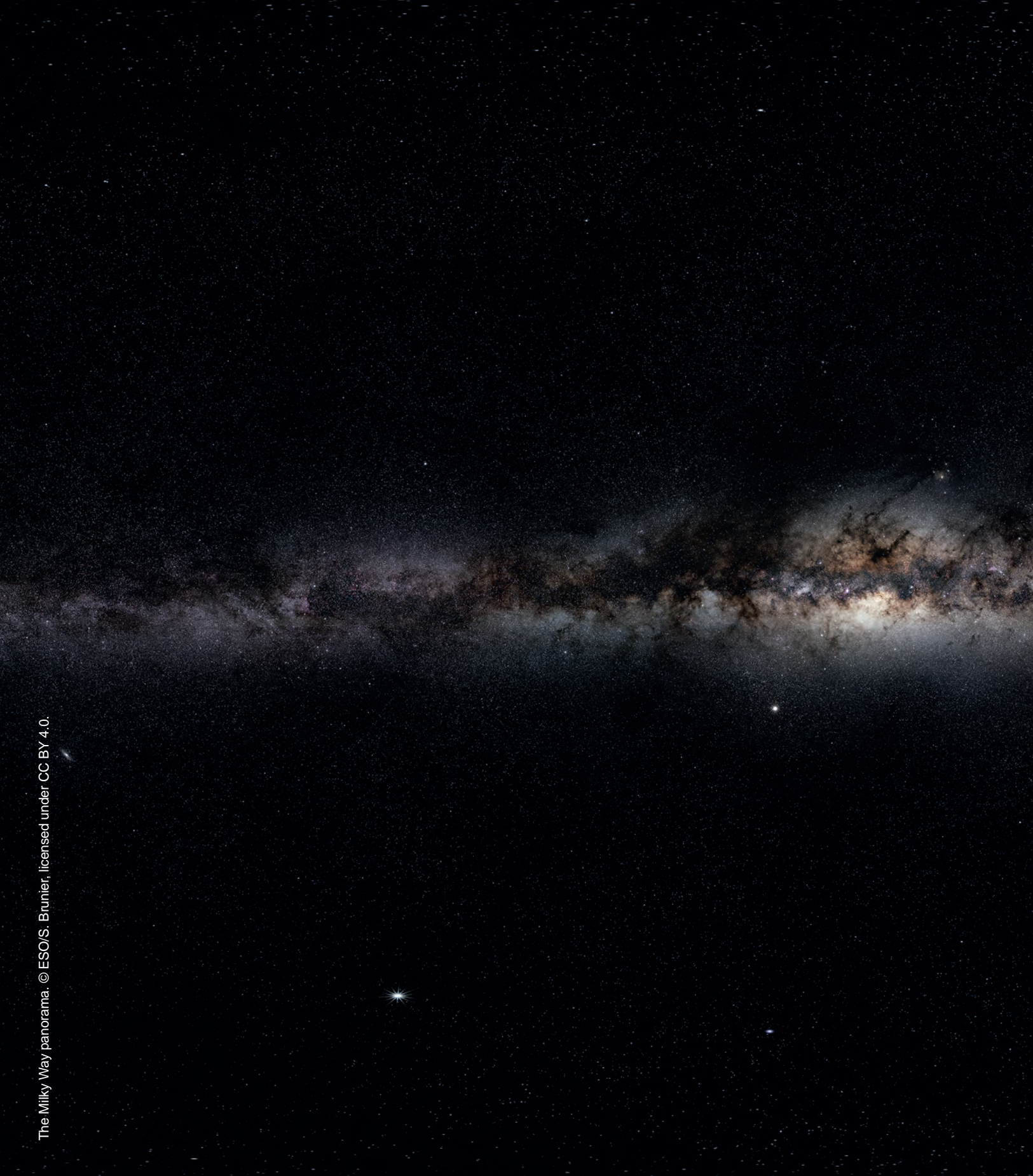
Los cielos “arqueológicos” son fundamentales para entender los sitios ligados a la arqueoastronomía de una forma comprensiva, y promover un grupo de estudio y planeación interdisciplinaria. Arquitectura, traza urbana prehispánica y bóveda celeste son realidades que deben entenderse de forma integrada. Del mismo modo reconocen el papel esencial que desarrollan los planetarios, como museo-centro de interpretación de sitio, y la necesidad de que cuenten con la mejor documentación científica y con el asesoramiento cercano y fundamental de astrónomos profesionales y de pedagogos. Poder ver el cielo arqueológico a través de la observación de los astros hoy es el mejor espectáculo, sin luces ni sonido.

Formas de interpretar (ciencia) o de interrogar el sentido de la naturaleza celeste (antropología) han ido explicitando la gran contribución social de la ciencia astronómica. A pesar de las regularidades, el cielo nunca es un blanco fijo. Las variaciones devienen en sorpresas que a su vez se convierten en respuestas. Todos debemos ser vigías del universo. Los científicos y el cielo nos necesitan a todos.

Bibliografía

- Anónimo. 2008. *Popol Wuj* [Traducción al español y notas de Sam Colop]. Guatemala, PACE-GTZ Cholsamaj.
- Archibald, G. 2006. How the 'S' came to be in UNESCO. UNESCO, *Sixty Years of Science at UNESCO*, París, UNESCO, pp. 36-39.
- Beckwit, M. 1940. *Hawaiian Mithology*. Yale University Press. <http://www.sacred-texts.com/pac/hm/index.htm>
- Broda, J. 2009. Mesoamerican astronomy and the ritual calendar. Selin, H. (ed.), *Astronomy across Cultures. The History of Non-Western Astronomy*, Boston, Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Campbell, J. *Las extensiones interiores del espacio exterior: la metáfora como mito y religión*. Girona, Atalanta, 2013.
- Chamberlain, Von del. 2009. Native American astronomy. Selin, H. (ed.), *Astronomy across Cultures. The History of Non-Western Astronomy*. Boston, Springer Science+Business Media Dordrecht.
- De Molina, C. 1613. Papeles varios sobre los indios Incas, Huachiriris y otras antigüedades del Perú. [Material de archivo.]
- Dearborn, S. P. 2000. The Inca: rulers of the Andes, children of the Sun. Selin, H. (ed.), *Astronomy across Cultures. The History of Non-Western Astronomy*. Boston, Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Díaz, A. 2015. La pirámide, la falda y una jicarita llena de maíz tostado. Una crítica a la teoría de los niveles del cielo mesoamericano. Díaz, A. (coord.), *Cielos e inframundos. Una revisión de las cosmologías mesoamericanas*. Ciudad de México, UNAM.
- El Correo de la UNESCO. Octubre de 1950. Vol. III, No. 9.
- . Abril de 1951, Vol. IV, No. 4.
- . Noviembre de 1951, Vol. IV, No. 11.
- . Abril de 1960. A. XIII, No. 4.
- Florescano, E. 2012. Los paradigmas mesoamericanos que unificaron la reconstrucción del pasado. Disponible en: <http://aleph.academica.mx/jspui/handle/56789/28965>
- . 2016. ¿Cómo se hace un dios?, creación y recreación de los dioses en Mesoamérica. Ciudad de México, Peguin Random House.
- Galindo Trejo, J. 2016. *El papel de la arqueoastronomía en el mundo maya: el caso de la Isla de Cozumel*. Ciudad de México, Oficina de la UNESCO en México, pp. 21-37.
- Gille, A. 2006. "On the Road. UNESCO's travelling science exhibitions", en *Sixty Years of Science at UNESCO*, pp. 83-82.
- González Pujana, L. 1994. Estudio comparativo del conocimiento astronómico en los cronistas de la América andina. *Revista Complutense de Historia de América*, No. 20, Madrid, Editorial Complutense, pp. 75-85.
- Hadley, M. y Nuotio, L. 2006. Partnership in science. Cross-cutting issues in UNESCO's natural sciences programmes. UNESCO, *Sixty Years of Science at UNESCO*, París, UNESCO. pp. 531-558.
- ICOMOS y UAI. 2010. Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention a Thematic Study. ICOMOS/UAI, París.
- Köhler, U. 1991. Conceptos acerca del ciclo lunar y su impacto en la vida diaria de indígenas mesoamericanos. Broda, J., Iwaniszewski, S. y Maupomé, L. (eds.), *Arqueoastronomía y etnoastronomía en Mesoamérica*. Ciudad de México, UNAM.
- León-Portilla, M. 1986. Astronomía y cultura en Mesoamérica. Moreno Corral, M. A. (comp.), *Historia de la astronomía en México*. Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica. bibliotecadigital.ilce.edu.mx/Colecciones/index.php?clave=cAsHistAst&pag=0

- Lupo, A. 1991. La etnoastronomía de los huaves. Broda, J., Iwaniszewski, S. y Maupomé, L. (eds.), *Arqueoastronomía y etnoastronomía en Mesoamérica*. Ciudad de México, UNAM.
- Matos Moctezuma, E. 2012. *Teotihuacan*. Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica.
- Maupomé, S. 1996. Reseña de las evidencias de la actividad astronómica en la América antigua. Moreno Corral, M. A. (compl.), *Historia de la astronomía en México*. Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica.
- Mikulska, K. 2015. Los cielos, los rumbos y los números. Aportes sobre la visión nahua del universo. Díaz, A. (coord.), *Cielos e inframundos. Una revisión de las cosmologías mesoamericanas*. Ciudad de México, UNAM.
- Montero García, A. 2016. Astronomía, arquitectura y cavernas. *El papel de la arqueoastronomía en el mundo maya: el caso de la Isla de Cozumel*. Ciudad de México, Oficina de la UNESCO en México, pp. 85-109.
- Moragas Segura, N. y Sarabia González, A. s/a. Teotihuacan. <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/arqueoweb/pdf/8-2/moragas.pdf>
- Neurath, J. 2015. La escalera del padre sol y nuestra madre joven águila. Díaz, A. (coord.), *Cielos e inframundos. Una revisión de las cosmologías mesoamericanas*. Ciudad de México, UNAM, Instituto de Investigaciones Históricas/Fideicomiso Felipe Teixidor y Mose-rat Alfau de Teixidor.
- Paoli, A. 2013. Lenguaje y ecosistema cultural de los tzeltales. Quinteros, G. y Corona, Y (coords.), *Las prácticas sociales del lenguaje en contextos de tradición indígena*. Ciudad de México, UAM. http://www.uam.mx/cdi/pdf/publicaciones/practicas/practicas_sociales.pdf
- Petitjean, P. 2006. Giving science for peace a chance. UNESCO, *Sixty Years of Science at UNESCO*, París, UNESCO, pp. 434-451.
- Santos Granero, F. 1992. The dry and the wet : astronomy, agriculture and ceremonial life in Western Amazonia. *Journal de la Société des Américanistes*, T. 78, No. 2, pp. 107-132. Disponible en: http://www.persee.fr/doc/jsa_0037-9174_1992_num_78_2_1460
- Sanz, N. 2016. El paisaje cultural celeste como patrimonio y desarrollo. *El papel de la arqueoastronomía en el mundo maya: el caso de la Isla de Cozumel*. Ciudad de México, Oficina de la UNESCO en México, pp. 11-19.
- Valderrama, F. 1991. *Historia de la UNESCO*. París, UNESCO.
- UNESCO. 1971. *Sinopsis del Estudio sobre la posibilidad de establecer un sistema mundial de información científica*. <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001356/135602so.pdf>
- . 2006. *Sixty Years of Science at UNESCO*. París, UNESCO.
- . 2009. *International Year of Astronomy. Final Report. Executive Summary*. París, UNESCO.
- . 2016a. Geoparques Mundiales de la UNESCO. <http://www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/ciencias-naturales/earth-sciences/geoparques>
- . 2016b. List of UNESCO Global Geoparks. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/list-of-unesco-global-geoparks>
- . 2016c. *El papel de la arqueoastronomía en el mundo maya: el caso de la Isla de Cozumel*. Ciudad de México, Oficina de la UNESCO en México.



Chapter 2

Astronomy

Capítulo 2

Astronomía



The Evolution of Astronomy: from Photons to Petabytes

R. Chris Smith

AURA Observatory, Chile

Abstract

Since the middle of the twentieth century, astronomers from around the world have sought out the unquestionably best places in the world to build great observatories from which to explore the universe through optical telescopes, seeking answers to fundamental questions of astronomy, of physics and of humanity. While many of the basic questions remain the same today, the way science is done at these modern mountaintop laboratories has rapidly evolved over the past twenty years with the arrival of digital detectors that can be mosaicked into larger and larger focal planes. This evolution has taken astronomers from the analysis of kilobytes of data to the challenge of sifting through petabytes of data and data products. We explore this evolution through the ‘case study’ of the discovery of Dark Energy, looking not only at the impacts of changes in technologies, but also at the changes in how astronomers and their collaborations approach their search for answers. That said, although our methods may be changing, the future of ground-based astronomical observations depends on the essential availability of the dark skies over the mountaintop sites, these ‘windows to the universe’ through which we explore the cosmos.

Resumen

Desde mediados del siglo XX, astrónomos de todo el mundo han tratado de localizar los que incuestionablemente son los mejores lugares para construir grandes observatorios desde los cuales explorar el universo a través de telescopios ópticos, para buscar respuestas a las preguntas fundamentales de la astronomía, de la física y de la humanidad. Aunque muchas de las preguntas básicas siguen siendo las mismas hoy, la forma en que se hace ciencia en estos modernos laboratorios en la cima de las montañas ha evolucionado rápidamente durante los últimos 20 años, con la llegada de los detectores digitales que pueden hacer mosaicos de planos focales cada vez más grandes. Esta evolución ha llevado a los astrónomos del análisis de kilobytes de datos al desafío de examinar cuidadosamente petabytes y productos de datos. Exploramos esta evolución mediante el “caso práctico” del descubrimiento de la energía oscura, considerando no sólo los efectos de los cambios en las tecnologías, sino también los cambios en la forma en que los astrónomos y sus colaboradores abordan su búsqueda de respuestas. Dicho esto, aunque nuestros métodos puede que estén cambiando, el futuro de las observaciones astronómicas terrestres depende fundamentalmente de la disponibilidad de cielos oscuros sobre los sitios en las cimas de las montañas, estas “ventanas al universo” a través de las cuales exploramos el cosmos.

Introduction

High in the peaks of the Andes in northern Chile, as well as other special mountains around the world, astronomers from all over the globe work nightly, looking for answers to some of the most fundamental questions of humanity. Answers to questions such as:

- Where do we come from? How did the universe begin?
- Where do the elements from which we are made come from?
- Are there other planets, and is there life on any of them?
- Where are we going?
- What is the destiny of our universe?

We look for the answers in the skies, the dark and pristine night-time skies over these special mountaintop laboratories. These are privileged places, where we find the best skies in the world and where astronomers have worked and collaborated for more than fifty years.

Identifying the Best Sites on Earth

Many factors go into the identification of the best sites for astronomical observatories. The most important, of course, are related to the skies. The natural conditions of the night-time skies are critical. An essential natural condition is the number of clear nights, given that at least at optical wavelengths clouds block the access to the light from the stars and galaxies astronomers seek to study. The best sites in the world offer more than 250 and, sometimes over 300, usable nights for astronomical observations. These locations provide for effective investments, given that the cost per night of operating the telescopes at an observatory may range from US\$10,000 to \$100,000. Cloudy nights with no productive observations are therefore rather expensive prospects!

Another key element of the best astronomical sites is minimal atmospheric turbulence over the mountaintops, characterised as ‘seeing’ by astronomers. This turbulence distorts the light passing through the atmosphere above the telescopes, which leads to blurry images, just as it does when one looks at distant objects along a hot highway. This turbulence creates the ‘twinkling’ of the stars



Figure 1. Dark skies over Cerro Tololo Inter-American Observatory as the Moon rises to the east. © NOAO/AURA/NSF.

we see in most places. Good astronomical sites are characterised by having very little turbulence overhead, which leads to sharp images of stars, also known as ‘good seeing’. The best sites are found where the winds flow over the mountains relatively undisturbed at all altitudes. This condition is most often found where the winds approach the site from the ocean, such as on the western coasts of the United States and Chile, or island sites such as Hawaii or the Canary Islands.

The other key requirement for excellent astronomical sites is the darkness of the skies. As astronomers push the frontiers of our understanding of the universe, they most often are studying fainter and fainter targets, objects that are either more distant or simply intrinsically less luminous than those previously studied. In order to detect and study these faint sources, the background glow of the sky must be minimal. While this is a natural characteristic of good sites, it is one that can be easily modified or destroyed by man-made lighting, such as that from nearby cities. Indeed, most of the sites along the western coast of the United States that fulfil the previously mentioned natural characteristics of good astronomical sites have been severely compromised by light pollution from Los Angeles and other large cities in California.

Beyond these natural conditions, there are additional factors that enter into the evaluation of astronomical sites that have less to do with the actual astronomical observation and more to do with the ability to operate the observatory. These include the available infrastructure, such as reliable roads, electricity and lines of communications. Perhaps the most important of these factors is the commitment and support of the government and local communities. Without long-term and solid commitments, investing the millions of dollars necessary for the installation and operation of an observatory carries great risks. Over the decade timescales that these observatories operate, support for protection of the sites is critical for the continued success and possible growth of the facilities at any given site.

Classic Astronomy at High-Mountain Observatories

As astronomy progressed into a more and more quantitative science in the early 1900s, astronomers worldwide began to seek out the



Figure 2. The mountaintop sites of AURA Observatory in northern Chile, with Cerro Tololo in the foreground and Cerro Pachon in the background. © NOAO/AURA/NSF.

most extraordinary sites on the planet for the installation of new generations of large telescopes. These sites were most often located on distant mountaintops, hundreds if not thousands of miles away from the home institutions. ‘Classical observations’ of the mid-to-late 1900s developed into a demanding endeavour, involving travelling thousands of miles to the mountaintop facilities, where one would spend several nights observing in the cold domes, concentrating on guiding the telescope for long hours in order to collect data on distant objects. The value of clear skies grew even more important given the investment that the trip to the telescope entailed and the potential disappointment of being met with cloudy skies, resulting in few or no observational results.

The data from these observations were carefully recorded for later analysis, first on photographic plates and later on a rapidly changing variety of digital media, from 9-track tapes to CD and DVD ROMs and later, portable hard disks. After the long trip home, the astronomer(s) processed and analysed the data, often dedicating months of work in order to extract detailed information from the data that had been collected during each night of observation at the observatory. While advances in detectors provided the opportunity for much more precise measurements, the fundamental characteristics of this classical approach of astronomical observation and analysis continued to be common throughout the 1990s and into the 2000s.



Figure 3. Hubble Space Telescope image of supernova 1994D in galaxy NGC 4526. © NASA/ESA, The Hubble Key Project Team and The High-Z Supernova Search Team, licensed under CC BY 3.0.

A Case Study in the Evolution of Astronomy: Supernovae and Dark Energy

In the 1990s, advances in digital detectors, most importantly charge-coupled devices (CCDs), opened the opportunity for new methods to be applied to probe some of the fundamental questions explored by astronomers. These detectors allowed for surveys of the sky with greater uniformity, sensitivity and speed, while also opening the possibility of rapid observations of objects whose characteristics changed significantly over short periods, from hours to months, permitting the effective exploration of the universe in the time-domain. The study of supernovae and their possible use as precision distance indicators is one of the fields that best exemplifies the rapid evolution of astronomy over the past two decades.

In 1989, a team of astronomers from Cerro Calan/University of Chile and Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO) undertook a supernova survey that set out to use the newly available CCD detectors to obtain high-precision photometry of supernovae. Given that these events are relatively rare, the ‘Calan-Tololo’ survey (Hamuy et al., 1993) used photographic plates on the wide-field CTIO/University of Michigan Curtis Schmidt telescope to observe large areas of sky in order to discover young supernovae. Follow-up observations were then performed with a CCD camera on the CTIO 0.9 m telescope, allowing for precise measurements of the brightness of these supernovae as they faded. The 32 Type Ia supernovae discovered during this survey provided the foundation for the development of the Phillips relationship (Phillips, 1993), which demonstrated that although these supernovae were not a

completely homogenous class of objects, their maximum observed brightness could be calibrated and thus, due to their immense intrinsic luminosities, they could be used to determine quite accurate distances at cosmological scales.

With this tool in hand, two teams, one led by Brian Schmidt and the other by Saul Perlmutter, set out to measure nothing less than the destiny of the universe, a determination of whether or not the predicted deceleration of the expansion of the universe would eventually lead to it collapsing back upon itself. Driven by the requirements to detect and follow faint, distant supernovae quickly and reliably, the two teams transitioned to using wide-field CCD detectors on the CTIO Blanco 4 m telescope in the search for supernovae, along with CCD imagers on telescopes around the world for the follow-up observations. The volume of digital data increased by an order of magnitude, and the data from the Blanco telescope had to be processed and analysed in close to real time in order to achieve the goals of these two supernova surveys. In the end, the abilities to collect and analyse these data and rapidly follow up with observations of the supernovae led to the completely unexpected discovery of the accelerating universe (Riess et al., 1998; Schmidt et al., 1998; Perlmutter et al., 1999), a result that was later recognized with the Nobel Prize in Physics in 2011. The mystery of what is causing this acceleration, often called ‘Dark Energy’, has been one of the key drivers in the continued evolution of astronomy towards larger and larger digital surveys, and correspondingly larger data sets.

New Facilities and New Methods for Science

While the classic method of astronomical observations, involving astronomers travelling great distances to remote mountaintop facilities, still represents the majority of ground-based astronomy, the evolution to large surveys and massive datasets is changing the way much of astronomical investigation is carried out. At the beginning of this decade, the Sloan Digital Sky Survey (York et al., 2000) led the way by providing one of the first massive, publicly available datasets feeding statistical studies and truly data-driven discoveries.

Indeed, these wide-field digital surveys are being driven by the need for large, uniform, well-calibrated and well-documented datasets to fuel some of the most fundamental investigations in physics and



Figure 4. The original team members of the Calan-Tololo Survey. Left to right: Mark Phillips, Nicholas Suntzeff, José Maza, Mario Hamuy. © Nicholas Suntzeff licensed under CC BY-SA 4.0.

astronomy today, including research into Dark Energy and Dark Matter. The ‘classical’ approach simply cannot provide the statistical samples of stars, supernovae and galaxies necessary to investigate these questions. New instruments, new telescopes and new methods are required.

One example of this class of instruments is the Dark Energy Camera (Flaugher et al., 2015), a 570-megapixel camera installed on the CTIO Blanco 4 m telescope in 2012. With this instrument, an international team of scientists from the astronomy, physics and computer science communities has undertaken the Dark Energy Survey (DES) (Abbott et al., 2005). The DES will map roughly a quarter of the southern sky and use four parallel analyses of the dataset to constrain the characteristics of Dark Energy. With a production of roughly half a terabyte of data each night of this 500 night survey, the resulting database of images and measurements will reach several tens of petabytes by the time the survey is finished in 2018.

Construction has already begun on the next major step in this evolution of astronomical investigation, the Large Synoptic Survey Telescope (LSST) project. The LSST is designed to conduct a deep and wide survey of the universe, scanning the entire visible southern sky every few nights, and repeating these scans continuously for ten years. The images from its 3.2 gigapixel camera will be processed and analysed within 60 seconds to identify objects that have changed or moved, from nearby asteroids that might impact the Earth to distant supernovae and galaxies that will help astronomers continue to probe the mystery of Dark Energy. This survey will produce over 15 terabytes per night, collected in an archive that will grow to over 200 petabytes of information over the project’s

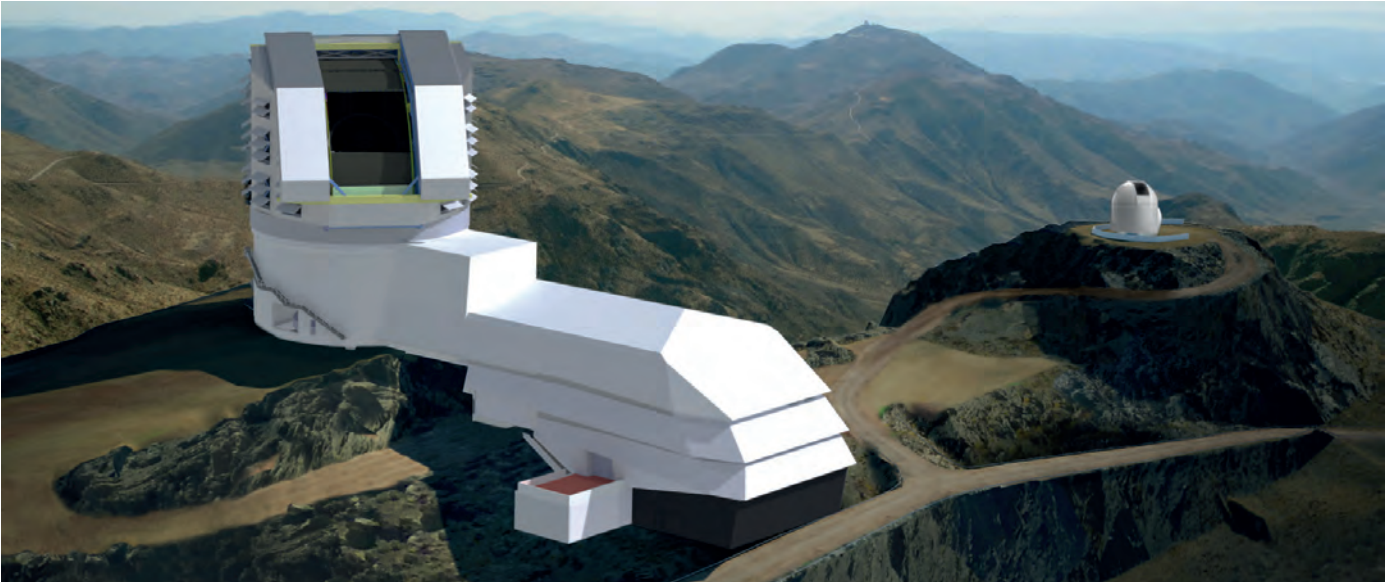


Figure 5. Artist rendition of the LSST and its calibration telescope on Cerro Pachon, with Cerro Tololo in the background. © LSST, licensed under CC BY-SA 4.0.

lifetime, representing the largest single astronomical resource ever produced.

Perhaps even more impressive than the advanced technologies involved in the LSST and similar new astronomical facilities is the impact they are having on the sociology of the science being carried out. While Dark Energy is apparently pushing the universe apart at an ever-increasing rate, the study of this mystery and the evolution it has brought about in the methods being used have brought together scientists from astronomy, physics, computer science, mathematics and other fields. These collaborations are critical in order to manage the transition from investigations of individual objects and small samples in previous decades to statistical analyses of massive datasets in the decades to come.

Conclusion

During the past two decades, astronomy has truly evolved from the study of photons collected by photographic plates to data-driven

investigation, sifting through petabytes of information for clues about how the universe works. New generations of digital detectors are being mosaicked together to create larger and larger wide-field cameras that can map vast areas of the sky with both speed and sensitivity, allowing astronomers to create digital representations of the universe that can be mined with the tools and techniques of data science.

While the techniques of modern astronomy have changed dramatically, the fundamental requirement of capturing the photons from those distant stars and galaxies remains the same. This only reinforces the importance of the few extraordinary sites around the world at which the astronomical observations can be carried out efficiently, under the optimal conditions of clear, stable and extremely dark skies. These sites are truly our ‘windows to the universe’, through which we explore the cosmos, and in doing so, learn more about ourselves.

References

- Abbott, T. et al. 2005. *The Dark Energy Survey*. arXiv:astro-ph/0510346 (Accessed 21 May 2016.)
- Flaugher, B. et al. 2015. The Dark Energy Camera. *The Astronomical Journal*, Vol. 150, No. 5.
- Hamuy, M. et al. 1993. The 1990 Calan/Tololo Supernova Search. *The Astronomical Journal*, Vol. 106, No. 6, pp. 2392-2407
- Phillips, M. M. 1993. The Absolute Magnitudes of Type IA Supernovae, *The Astrophysical Journal Letters*, Vol. 413, No. 2, pp. L105-L108.
- Riess, A. G. et al. 1998. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. *The Astronomical Journal*, Vol. 116, No. 3, pp. 1009-1038
- Schmidt, B. P. et al. 1998. The High-Z Supernova Search: Measuring Cosmic Deceleration and Global Curvature of the Universe Using Type IA Supernovae. *The Astrophysical Journal*, Vol. 507, No. 1, pp. 46-63.
- Perlmutter, S. et al. 1999. Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae. *The Astrophysical Journal*, Vol. 517, No. 2, pp. 565-586.
- York, D. G. et al. 2000. The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary. *The Astronomical Journal*, Vol. 120, No. 3, pp. 1579-1587.

Modern Astronomy in the Islamic World

Tofigh Heidarzadeh

University of California, Riverside, USA

Abstract

This article is a brief account of the history of how modern astronomy was introduced into the Islamic world and its general situation in the recent years. With a population of over 1.5 billion and a projected increase in population of 73% by 2050 (2.8 billion or 30% of the 9.3 billion in the year 2050), the Islamic world will play a major role in environmental changes. However, the Islamic world makes a disproportionately small contribution in the world production of science and technology, and for this reason, it is more likely that it fails to have a constructive impact on environmental changes. This paper suggests that by wisely managing present resources, the Islamic world can minimise their lag in astronomy and effectively participate in the international campaign of preserving dark skies. The economic prosperity of the Arab world, together with its rich past history in science (especially in astronomy), the recent increase in the number of amateur astronomy clubs and astronomical media in the Middle East, and the unique geographical conditions of the region can help the Islamic world carry out operative projects to advance in astronomy. Islamic States can easily follow the IAU's Strategic Plan 2010–2020, entitled *Astronomy for the Developing World*, and the instructions of IAU Office of Astronomy for Development (OAD) to develop necessary infrastructure and initiate an astronomical renaissance in the Muslim world.

Resumen

Este artículo es un breve recuento de la crónica de cómo la astronomía moderna fue introducida en el mundo islámico y de su situación general en los últimos años. Con una población de más de 1,500 millones y un aumento previsto en la población del 73% para el 2050 (2,800 millones o un 30% de los 9,300 millones en el año 2050), el mundo islámico desempeñará un gran papel en los cambios medioambientales. Sin embargo, el mundo islámico hace una contribución desproporcionadamente pequeña a la producción mundial de ciencia y tecnología, y por ese motivo, es más probable que no tenga un impacto constructivo sobre los cambios medioambientales. Este artículo plantea que mediante una inteligente gestión de sus recursos actuales, el mundo islámico puede minimizar su atraso en astronomía y participar eficazmente en la campaña internacional para preservar los cielos oscuros. La prosperidad económica del mundo árabe, junto con su rico pasado en la ciencia (sobre todo en astronomía), el reciente aumento en el número de clubs de aficionados a la astronomía y medios relacionados con la astronomía en Oriente Medio, así como las singulares condiciones geográficas de la región, pueden ayudar al mundo islámico a llevar a cabo proyectos operativos para progresar en astronomía. El mundo árabe puede seguir fácilmente el Plan Estratégico 2010–2020 de la Unión Astronómica Internacional (UAI) —denominado “Astronomía para el mundo en desarrollo”— y las instrucciones de la Oficina de Astronomía para el Desarrollo (OAD) de la UAI para desarrollar las infraestructuras necesarias y dar inicio a un renacimiento astronómico en el mundo musulmán.

As it is clearly stated in the briefing document of the international conference *The Right to Dark Skies*, held in Mexico in January 2016, ‘the sky is the only common natural landscape for all of the inhabitants of Earth’. The disappearance of dark skies is thus not a local problem, but a global one that demands a universal response and determination for environmental protection. For this to be effective, there must be greater awareness on the issue, both among policy makers and the general public.

In this paper, I will look at the ‘awareness’ of this problem throughout the Islamic world.¹ I will try to illustrate the status of modern science, specifically astronomy, in major Islamic states, and discuss their background and contribution to modern astronomy. With a population of over 1.5 billion and a projected increase of 73% by 2050 (2.8 billion or 30% of the 9.3 billion in the year 2050), the Islamic world can play a major role in environmental changes, both positively and negatively.

1. The Muslim world or Islamic world, in general, refers to those who follow the teaching of Islam. In a political sense, we mainly refer to countries or states in which Muslims constitutes the majority of population. In this sense, the majority of Muslim nations are located in North Africa, the Middle East and South-East Asia. About 15% of Muslims are Arab, more than 60% live in South-East Asia, and the rest are in the Middle East and North Africa. Muslims who live as minorities in India, China, Russia and so on are about one-fifth of the Muslim world.

To understand the status of modern astronomy in the Islamic world, I would like to give a very brief account of the history of astronomy in Islam. Islam appeared in AD 610 in the western Arabian Peninsula and, within just a few decades, it expanded to a vast empire extending from North Africa to India. It was through this expansion that Muslims became familiar with the Greek, Hellenistic, Persian and Indian traditions in science, including the theory and practice of astronomy.

From the end of the eighth century, Muslims started to systematically translate all available scientific and philosophical texts from various languages into Arabic and, within a short time they adopted Greek science, as well as Ptolemaic astronomy. The first astronomical observations and calculations in Islamic culture go back to the first half of the ninth century. By the end of the fifteenth century, Muslim astronomers were able to improve planetary parameters by means of new observations, establish the largest pre-modern observatories, produce systematic texts in plane and spherical trigonometry and introduce trigonometry as an independent subject of study, as well as developing new observational and computational techniques. Furthermore, they suggested new models to reform the Ptolemaic system in a way that planets perform uniform circular motions around the central Earth. Four of these models were later directly used by Copernicus to create uniform circular motion of planets around the new centre of the universe, the Sun.

The decline of intellectual creativity in Islam almost corresponded with the culmination of the Renaissance in Europe. The last major observatory in Islamic territories was demolished in Istanbul the same days that Tycho Brahe observed the comet of 1577, and by demonstrating the celestial nature of comets, provided the first undeniable evidence to reject at least some basic assumptions of the Aristotelian cosmology.

While the Scientific Revolution was in development, almost the entire Islamic world was unaware of and, in most cases, uninterested in the philosophical, epistemological, scientific, observational, experimental and instrumental developments which were taking place in Europe from the 1500s to even the early 1900s.

The two Islamic Empires of the medieval period, the Ottoman and Persian Empires, had a large percentage of Muslims from North Africa to the eastern borders of China and both reached their peak in power and prosperity at the time when the Scientific Revolution took place in Europe.

Despite receiving intellectual products and instruments of modern European science, albeit with a delay, these Empires were unable to integrate them effectively into their education systems. Examples of the introduction of modern astronomy into the Ottoman and Persian Empires can help us to better understand the process: the Copernican model was first introduced into the Ottoman Empire in 1732 and modern astronomy was first integrated into the Ottoman higher education system in the 1830s. In Persia, the first telescope was introduced in the late seventeenth century, however we have no records or astronomical observations from it. A simplified version of Copernican astronomy was translated into Persian in the 1780s, but it was not widely circulated. Modern astronomy was then included in the newly established Persian higher education system in the 1850s.

What is important to highlight here, however, is the fact that these higher education institutions both in the Ottoman and Persian Empires were a kind of polytechnic institution model established to train students in practical sciences, such as engineering, military skills, mining, agriculture and medicine. In other words, they were not Humboldtian universities and they never evolved to Humboldtian institutes. These universities did not develop out of the traditional Islamic educational institutions, otherwise known as madrasas, nor did they evolve from societies pursuing modern science, as was the case in Europe during and after the Scientific Revolution. These higher education institutions were established to replicate the European education system since the Islamic societies had not contributed to the modern world's developments in science, philosophy or technology for more than 300 years since the 1500s and were not familiar with scientific and educational developments in Europe.

After this long absence, the Islamic societies tried to import modern science within a short period of time, without going through adaptation or appropriation phases. Therefore, they failed at first

to acknowledge modern science as a process. Importing scientific facts and tools without recognizing the essence and foundation of modern science transformed the newly established universities into mere teaching institutions. As a result, from the mid-nineteenth century there have been two education systems throughout the Islamic world, with minimal or zero structural connections. First are the traditional schools that have a background going back more than 1,000 years, but are completely lacking and inactive in natural science education, are unaware of the modern science and criticize it. The second system is the newly ‘imported’ system, which is mainly aimed to promote practical knowledge.

Although the above relates to higher education institutions in the Ottoman and Persian Empires, the story is pretty much the same in Islamic states from east to west. Examples include Cairo University, which was established in the first decade of the twentieth century to promote practical knowledge, and the University of Indonesia, which was built in the 1850s by the colonial government of the Dutch East Indies as a medical school.

Then, the question is how important was (and is) astronomy in these education systems? How did the educated elites and policy makers evaluate the role of astronomy in national scientific and technological progress? Since, from the beginning of the introduction of modern science to Islamic societies, the imported European educational system was transformed into professional vocational institutes, it lost its holistic nature. As a result, astronomy (like many other disciplines) was generally taught as one of the general science courses, mostly as spherical astronomy and introductory description of astronomical objects.

Modern astronomy gained more support from the government when it was useful in public and state affairs. For example, the first modern observatory in the Ottoman Empire, which was established in 1868 in Istanbul, was an institution for weather forecasting and timekeeping. Had there not been this practical need, there would have been no use for modern astronomy. For instance, in 1858 forty Persian students were sent to Paris to study modern science and one of them was assigned to pursue astronomy. For six years, he studied with the prominent astronomer Urbain Le Verrier, and is very likely

one the first Middle Eastern professional observational astronomers. Upon his return home, however, he was appointed head of the national telegraph office due to the lack of astronomical facilities.

In colonized Islamic territories, the story was slightly different. In some, Europeans created observatories or carried out observations, which was helpful in training local astronomers. In Egypt, the first modern observatory was founded in 1840; however, the only activity recorded is the observation of the solar eclipse in 1860. Nevertheless, the next observatory that was established during the British dominance in Egypt was, until 1945, the largest observatory in North Africa and the Middle East. It contained a 30 inch reflector (donated by British astronomer, John Reynolds) and other photographic and spectrometric equipment.

The observatory was directed by British astronomers, and numerous projects in galactic, cometary and stellar studies were carried out. The observatory was considered an extension of the Greenwich Observatory. After 1957, due to Egypt making closer ties with the Soviets, the observatory was equipped with instruments devoted to satellite tracking, magnetic observations and radio astronomy. A similar observatory, but active for a shorter time, was established in Algeria by the French colonizers.

From the 1920s, a second generation of higher education institutions appeared throughout Islamic territory as a result of population increase and economic growth, and the formation of

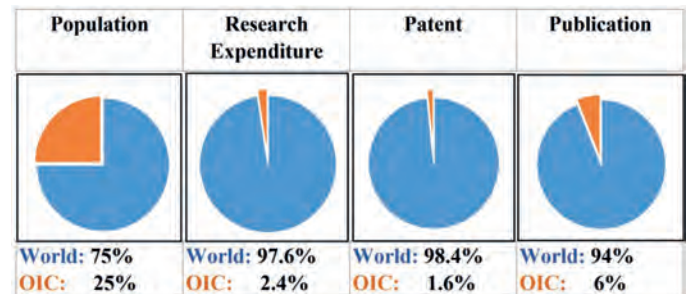


Figure 1. The OIC in comparison to the world in terms of population, research expenditure, patents and publications. © Tofigh Heidarzadeh, adapted from Guessoum and Osama (2015).

new states after the First World War. However, this quantitative expansion occurred in parallel with the existing educational mentality, in which minimum attention was paid to promoting research in pure sciences and to integrating arts and sciences with research and industry. In fact, in a majority of cases, technology in these states was completely dependent on foreign countries and even national research in science could not yield mutual interaction with the technological progress.

Recent statistics show that there are more than 1,600 universities and higher education institutions in Islamic states.² However, the productivity factors of these institutions, in terms of research, publications, inventions and impact on technology do not match with their quantitative expansion and with global standards. In 2012, the Organization of Islamic Cooperation (OIC), whose member countries make up 25% of the world population, contributed only 1.6% of the world's patents, 6% of academic publications and 2.4% of the global research expenditure. The same statistics show that papers from twenty OIC countries, which are the most productive in science and technology, are cited less frequently than those from countries of comparable GDP (Guessoum and Osama, 2015).

However, the number of peer reviewed astronomical publications in Islamic countries has been even less. An analysis of the United States National Science Foundation's statistics shows that from 1997 to 2011, the contribution of 37 Islamic states was only 0.88% of the world's astronomical publications, while Mexico alone contributed 1.06% during the same period. In other words, from 1997 to 2011 Mexico published 226 more papers than the 37 Islamic countries combined (National Science Board, 2014).

The number of astronomers can be another criterion to evaluate the situation of astronomy in Islamic states. Due to the lack of any astronomical databases in these countries, I used the individual member directory of the International Astronomical Union (IAU) as an indicator. Whilst there are about 2 IAU members per million capita from South Africa and 9 members per million from Israel, the numbers for Saudi Arabia is 0.10, for Indonesia 0.05, for Pakistan 0.01, for Turkey 0.68 and for Egypt (which holds the largest observatory in the region) 0.44.



Figure 2. Artist's conception of the Iran National Observatory (INO).
© INO.

Finally, to have a better idea about astronomical infrastructure in Islamic states, we can survey their observational facilities.³ In about 45 countries in which Islam is the majority religion of the people, only 5 countries have observatories with a telescope equal or more than 40 cm in diameter. (We exclude the 2 m telescope of Shamakhi Observatory in Azerbaijan that was created in 1958 during the Soviet era). The combined Light Gathering Power of all telescopes in Islamic states is equal to a 3 m telescope. This figure, hopefully, will improve in the next 5 years by the establishment of Iran National Observatory (INO), which will hold a 3.4 m telescope. Its primary mirror, polished in Finland, was delivered to Iranian authorities in December 2015.

With this new telescope, the light gathering power of Islamic states would increase to the size of a 4.5 m telescope. In comparison, the Southern African Large Telescope (SALT), which is the largest single optical telescope in the Southern Hemisphere and among the largest in the world, has a primary mirror array of 11 m in diameter. SALT was funded by South Africa, the United States, Germany, Poland, India, the United Kingdom and New Zealand, and the observatory has been operational since September 2011.

2. World Universities and Colleges, http://www.canadian-universities.net/World_Universities/

3. World Public Library, List of Observatories http://www.worldlibrary.org/articles/List_of_observatories

Among numerous factors causing this wide gap in scientific and technological progress between developed and developing countries, especially Islamic states, one factor is more conspicuous. There is a clear correlation between research and development expenditure and scientific progress. While developed countries spend something between 1.5% to 4% of their GDP on research and development, this ratio is far lower in Islamic countries (Masood, 2002). In recent years, although some Islamic countries with comparably lower GDP, like Turkey, Egypt and Iran have tried to raise their budgets in R&D, they are still spending less compared to countries with similar GDPs. In the wealthiest Islamic states, however, the ratio between GDP and R&D expenditure is disappointing (National Science Board, 2014).

Based on all these facts, what possible approaches may increase the momentum of these states towards scientific and technological progress, specifically in the field of astronomy? As was mentioned at the beginning of this paper, with a population of over 1.5 billion and a projected increase of 73% by 2050 of 2.8 billion or 30% of the 9.3 billion in the year 2050 (Pew Research Center, 2015), the Islamic world has and will have a major role in all global issues. Undoubtedly, promoting and measuring scientific literacy in Islamic states can be an immediate and most essential step.

The promotion of this science literacy can be started from self-awareness about Islamic history in science and its status quo in the matter. Unfortunately, exaggerations in the evaluation of the impact of Medieval Islamic science on the development of modern science have misled public understanding of the nature of both classical and modern sciences in the Islamic world. Promotion of astronomy and enriching astronomical literacy in these societies can play a profound role in achieving effective scientific knowledge for the twenty-first century.

Fortunately, there are a good number of opportunities to be employed in this regard. The economic prosperity of the Arab world, hand in hand with the rich past history of Muslims in science (especially in astronomy), the recent increase in the number of amateur astronomy clubs and astronomical media, and the unique geographical conditions of the majority of Islamic countries can help them to fulfil operative projects in astronomy, following IAU's Strategic Plan 2010 – 2020,

entitled *Astronomy for the Developing World*, and instructions of IAU Office of Astronomy for Development (OAD).

A local office for the Middle Eastern and Islamic countries can be extremely helpful in:

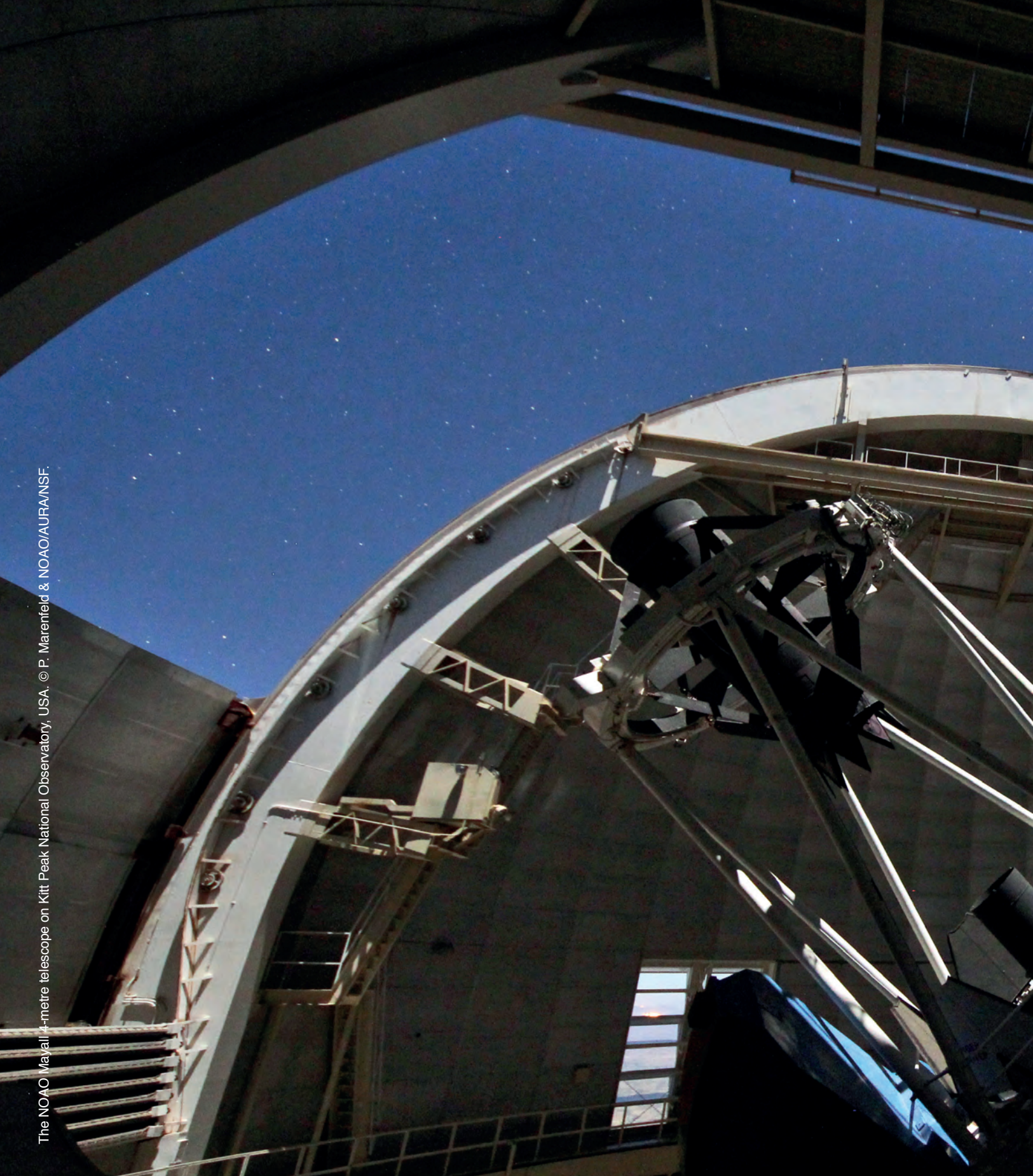
1. Using modern communication tools to connect people interested in astronomy and provide educational material for them. Rapid and reliable translation into local languages is vital.
2. Connecting schools and educational institutions to online observational networks and finding means to solve language barriers.
3. Helping to include modern astronomical knowledge in educational textbooks of all levels.
4. Promoting observational and hands-on astronomy by holding workshops, field trips and star parties⁴.
5. Helping to provide public programming for dissemination by the media in order to increase public knowledge about the connection between astronomy and development.
6. Encouraging policy makers to establish a regional big telescope funded by a consortium of regional and international partners.
7. Commemorating Islamic scientists' contribution and educating the public on the international nature of scientific knowledge, and using science as a strong peace-making vehicle.

References

- Guessoum, N. and Osama A. 2015. Revive universities of the Muslim world. *Nature*, Vol. 526, pp. 364–366.
- Masood, E. 2002. Blooms in the desert. *Nature*, Vol. 416, pp. 120–122.
- National Science Board. 2014. *Science and Engineering Indicators 2014*. Arlington, Va., National Science Foundation (NSB 14-01).
- Pew Research Center. 2015. *The Future of World Religions: Population Growth Projections, 2010–2050*. Pew Research Center.
- Royal Society. 2014. *The Atlas of Islamic World Science and Innovation*.

4. Star Party: any gathering of amateur astronomers.

The NOAO Mayall 4-metre telescope on Kitt Peak National Observatory, USA. © P. Marenfeld & NOAO/AURA/NSF.



The background image shows the interior of a large telescope dome. A massive telescope tube is visible, extending from the bottom left towards the center. The dome's structure is made of metal beams and panels, with a large opening at the top. The lighting is dim, with some light coming from a window or opening in the distance, creating a dramatic, low-key atmosphere. The overall color palette is dark, with some highlights on the metal surfaces and the sky visible through the opening.

Chapter 3

Telescopes

Capítulo 3

Telescopios

Large Telescopes in Chile

Miguel Roth

Giant Magellan Telescope, Chile

Abstract

From the middle of the twentieth century, Chile became an attractive destination for astronomical studies, due to its already then recognized clear skies and its full coverage of the Southern Hemisphere. Thanks to the visionary impetus of Federico Rutland, Director of the National Astronomical Observatory, in and around 1950 modern astronomy and astrophysics in Chile started to take off explosively, a growth that has continued to increase and today is looking at concentrating, by the mid 2020s, roughly 70% of all ground based observational capabilities. There are four main reasons for this. Aside from the aforementioned clear skies and favourable location, the Atacama Desert has two characteristics that are as important as the lack of clouds — extreme dryness and an outstanding unvarying atmosphere. This leads to an image quality that is second to none, also known as ‘seeing’ among astronomers. The low level of light pollution is the fourth factor.

There are currently many big telescopes larger than 4 m in diameter functioning in Chile, as well as the latest addition in the race for large telescopes, the 8 m type. These are found in Paranal, with 4 telescopes of 8.4 m in diameter (VLT), in Las Campanas, with 2 telescopes of 6.5 m (Magellans) and Cerro Pachón, with one 8.2 m (Gemini South). In the radio wave domain, the Atacama Large MM Array (ALMA) at Chajnantor is the largest radio telescope in the world.

This article will describe in moderate depth the immediate future of extremely large telescopes in Chile, addressing the fascinating projects of the Large Synoptic Survey Telescope (LSST), the Giant Magellan Telescope (GMT) and the European Extremely Large Telescope (E-ELT). The importance of preserving pristine conditions will also be discussed briefly.

Resumen

Desde mediados del siglo XX, Chile se convirtió en un destino atractivo para los estudios astronómicos, debido a sus cielos claros, algo reconocido ya desde entonces, y a su amplia cobertura del hemisferio austral. Gracias al ímpetu visionario de Federico Rutland, Director del Observatorio Astronómico Nacional, hacia 1950 la astronomía y la astrofísica modernas en Chile empezaron a tomar impulso vertiginosamente, un crecimiento que ha seguido aumentando y hoy contempla una concentración para mediados de la década del 2020 de aproximadamente 70% de todas las capacidades de observación terrestre. Existen cuatro motivos principales para ello. Aparte de los ya mencionados cielos claros y su conveniente ubicación, el Desierto de Atacama tiene dos características tan importantes como la falta de nubes, a saber, sequedad extrema y una excepcional atmósfera inalterable. Esto lleva a una insuperable calidad de imagen, conocida también como “calidad de imagen” entre los astrónomos. El bajo nivel de contaminación lumínica es el cuarto factor.

Actualmente hay muchos grandes telescopios mayores de 4 m de diámetro funcionando en Chile, así como la última incorporación en la carrera por los grandes telescopios, el de 8 m. Éstos se encuentran en Paranal, con cuatro telescopios de 8.2 m de diámetro (VLT); en Las Campanas, con dos telescopios de 6.5 m (Magallanes), y en Cerro Pachón, con uno de 8.2 m (Géminis Sur). En el ámbito de las ondas de radio, el Atacama Large MM Array (ALMA), en Chajnantor, es el radiotelescopio más grande del mundo.

Este artículo describirá en razonable profundidad el futuro inmediato de los telescopios extremadamente grandes de Chile, abordando los fascinantes proyectos del Gran Telescopio para Rastreo Sinóptico (LSST), el Telescopio Gigante de Magallanes (GMT) y el Telescopio Europeo Extremadamente Grande (E-ELT, por sus siglas en inglés, todos los anteriores). La importancia de conservarlos en condiciones prístinas será también analizada brevemente.

In 2025, Chile will probably house about 70% or more of the world's capability to observe the sky from the ground with professional telescopes. While other countries will continue developing their observational capabilities, no other place on Earth, with the possible exception of Mauna Kea on the Big Island of Hawaii, will concentrate the largest telescopes that humans feel capable of building and operating to the fullest extent and possibilities of their designs.

The Next Step

Humanity has made tremendous discoveries over the centuries. In astronomy, a 'discovery' is defined as a new finding that changes our view of the universe. Examples are abundant: when Galileo pointed his telescope towards Jupiter and he discovered the moons, objects revolving around something that was not 'us'; when radio-astronomy discovered the signal associated with the centre of the Milky Way and background radiation originating from the big bang, and so on.

The factor that is common to discoveries in astronomy is the **increased** capability to observe the universe by a factor of 10, as well as the opening of a new 'observing tool', like different frequencies to analyse electromagnetic radiation or a fully new technique to gather information.

In this respect, the recent announcement of the detection of gravitational waves by LIGO is one of the most striking discoveries of our times since it opens a new window to the universe that wasn't available before. Over centuries, humanity has observed the skies by means of the light (electromagnetic radiation in a general term, including X-rays, visible, infrared and radio wavelengths). The detection and analysis of light is explained by Maxwell's equations: electric and magnetic fields travelling at the speed of light as a result of atomic or molecular transitions and other phenomena associated with the discrete nature of matter, where energy is emitted in the form of electromagnetic waves. Gravitational waves are predicted by Einstein's General Relativity equations and originate in the interaction of mass. Shaking hands, hugging or a car crash will generate gravitational waves but the energy carried by them and the effect is smaller by many orders of magnitude than the energy involved in electromagnetic radiation. This is the main reason why it took a century to detect them.

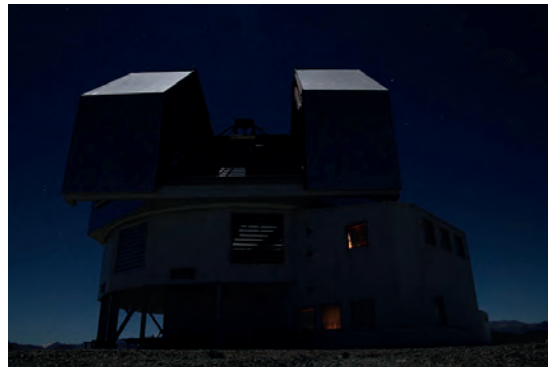


Figure 1. End of the twentieth century large telescopes in Chile. From top to bottom: the Magellan 6.5 m telescopes; © Krzysztof Ulaczyk, licensed under CC BY-SA 3.0. Gemini south; © Denys, licensed under CC BY-SA 3.0.

Optical and infrared astronomy has achieved this 'factor of 10' improvement roughly every 30 to 35 years since Galileo, over approximately 400 years. The previous generation of Large Telescope (Figure 1) ended with the twentieth century. This suggests that by 2020 to 2030, humanity should take the next step. Figure 2 shows the evolution of the size of telescopes over time.

The future optical and infrared projects to settle in Chile are:

- The LSST (Large Synoptic Survey Telescope),
- The GMT (Giant Magellan Telescope) and the
- E-ELT (European Extremely Large Telescope).

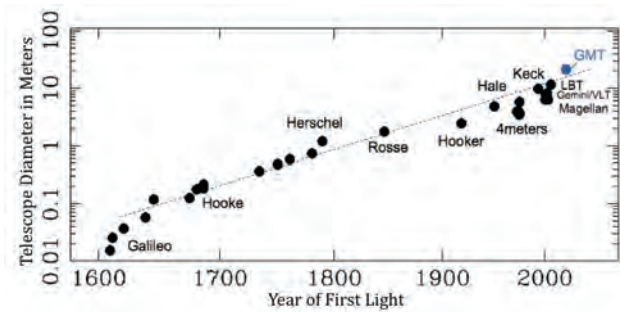


Figure 2. Evolution of telescope size in time. © Patrick McCarthy.

Needless to say, in the radio domain at longer wavelengths, Chile houses the largest radio telescope on Earth; ALMA, the Atacama Large Millimetre Array and various other large projects are either under consideration or in the commissioning phase (CCAT, the Cerro Chajnantor Atacama Telescope, the ACT, Atacama Cosmology Telescope, TAO, the Tokio Atacama Observatory and so on).

Reasons for Making Chile the Centre of Ground-based Astronomy

...or what do we require from an outstanding site? The Humboldt current, the cold current that originates in Antarctica and runs along the coast of South America, combined with latitude, produces different effects: from extreme rains and cold deserts in the south, to the driest desert on Earth, the Atacama Desert. The different observatories are located in areas of very low cloud coverage, with some 300 nights per year that are useful for astronomical observations. The dryness of these places is an essential component, but not the only one.

The dominating winds travel for thousands of kilometres, over the Pacific Ocean, reaching the western coasts of North and South America in a smooth turbulence-free flow. This very stable atmosphere, when it reaches the first significant elevations, is responsible for the outstanding image quality recorded at the different observatories. This is the same reason why big observatories developed in California during the first half of the twentieth century and why the Big Island in Hawaii and the Canary Islands, also displays exceptional conditions.

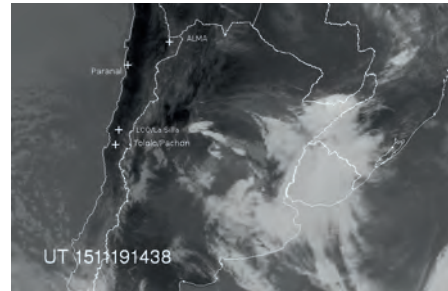


Figure 3. Random sunset image of South America, showing the very clear skies over northern Chile. Dominating winds come from the west. © NOAA.

Other aspects that make for an outstanding site include: dark skies, the ability to carry out business (in a general sense) in a stable environment and infrastructure.

In the same manner as a stable atmosphere allows the light of a point source to be concentrated in the smallest possible area (resolution), a dark sky allows for the largest contrast. The degradation of both effects, 'seeing' and contrast, are equivalent to reducing the size of the telescope. In other words, a large telescope on a poor site is equivalent to a smaller telescope on an excellent site.

A large project involves investing huge sums of money, and benefits from clear regulations for commercial transactions, a modern labour code and other items involved in a stable environment. Modern communication systems, roads, airports and ports are important as well. Last but not least, a big project also benefits from the availability of highly trained professionals and a qualified workforce in a safety conscientious environment.

All the above-mentioned aspects are fully met in Chile and very specifically so in the north.

Optical and Infrared Telescopes for the Twenty-first Century

The LSST (Large Synoptic Survey Telescope)

This relatively 'small' telescope, compared to the 30 to 40 m class telescopes, has an 8.4 m primary mirror. It will be located on Cerro

Pachón, a 2,800 m high peak, east of La Serena, at the same location as the Gemini South telescope.

Its unique design has the tertiary mirror ground on the same glass as the primary one. This will accomplish an enormous field of view (10 square degrees, about 40 times the size of the full moon), which will be imaged by the camera with 3,200 megapixels and will take a 'picture' of the full sky accessible to its location every 3 nights over the period of 10 years. Upon completion, the LSST will have gathered, by adding together 10 years of images, the most complete catalogue of this part of the universe. Two of the biggest challenges for the LSST are: handling, organizing and archiving the enormous amount of data, from moving targets to supernovae and reporting them in a timely manner, as well as providing the community with the tools to mine the data, searching and finding what the astronomer is looking for. This will be the epitome of data mining.

The primary mirror, together with the tertiary incorporated in the same glass structure, was manufactured at the Richard F. Caris Mirror Lab of the University of Arizona. The mirror manufacturing facility will be further discussed in the context of the Giant Magellan Telescope.

The images from the LSST will be obtained by using a state of the art camera. For many years, the photographic plate was the natural way of obtaining large images, but they have been completely replaced by mosaics of solid-state detectors with enormous advantages in terms of sensitivity, linearity, dynamic range and fast access to data.

The LSST is under construction on Cerro Pachon, close to Cerro Tololo, in Chile's Fourth Region and expects to have 'first light' in 2020.

The GMT (Giant Magellan Telescope)

When completed in 2021, the 25 m telescope will be the largest optical and infrared telescope in the world until two other projects, the E-ELT (see next page) and the TMT (to be constructed in Hawaii) become operational. It will be located at a privileged site on the top of Cerro Las Campanas, within the property of Carnegie's Las Campanas Observatory in the Third and Fourth Region in the Atacama Desert at an elevation of 2,500 m.

The primary optic of this telescope is formed by 7 very large 8.4 m mirrors on one single mechanical structure. It is interesting to note that each mirror is of the same size as the LSST mirror! Aside

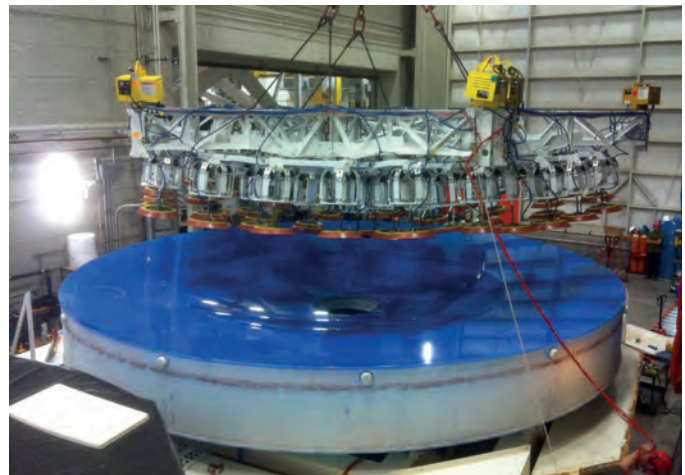
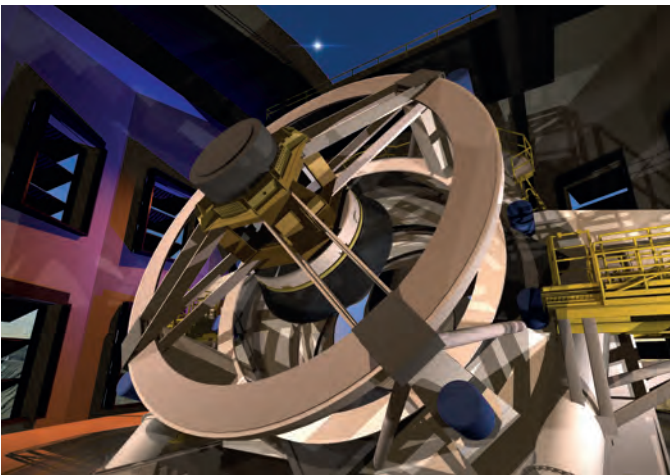


Figure 4. Left: Artist conception of the LSST, viewed from the telescope platform. Right: The primary-tertiary mirror combination, polished to specifications and ready to be stored. © LSST, licensed under CC BY-SA 4.0.

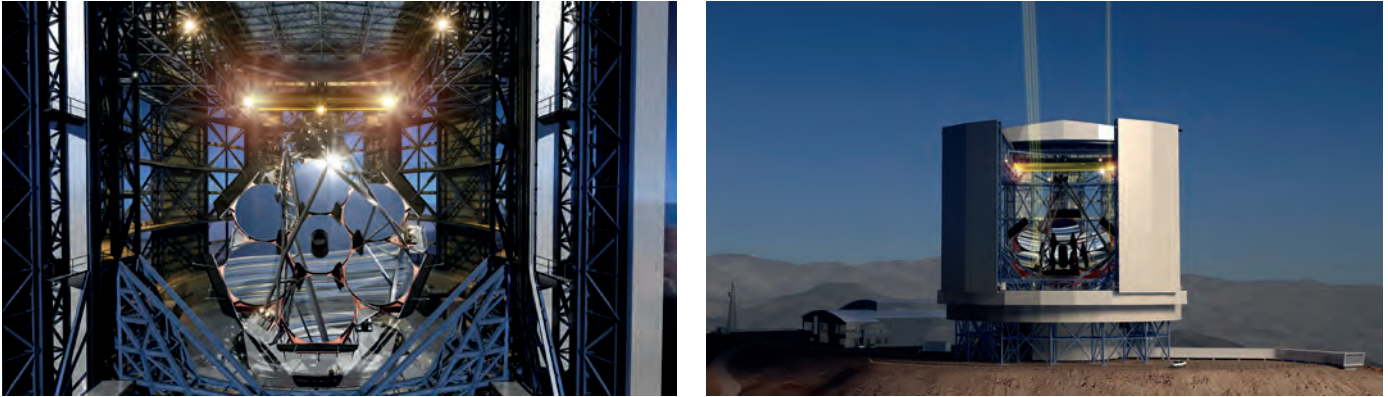


Figure 5. Two artist conceptions of the GMT telescope, showing the seven mirrors in a single structure and the enclosure. Notice several objects placed in the images for scale comparison. The laser beams emerging from the telescope in the right-hand picture are part of a complex system called Adaptive Optics (AO), used to compensate for the effects of the atmosphere's turbulence. © Giant Magellan Telescope – GMTO Corporation.

from the mechanical difficulties of supporting 140 metric tons of glass, these mirrors have an asymmetric curve polished to their surface. With the central mirror being symmetric, the six outside mirrors need to make a perfect parabolic curve. As mentioned before, these mirrors are manufactured at the University of Arizona by means of a process first implemented following an idea by the British-born American astronomer, Roger Angel, that has produced a large number of the most modern mirrors, from 1.5 m all the way to 8.4 m, including the 6.5 m of both Magellan Telescopes and the primary 8.4 m mirror for the Large Binocular Telescope, located in Arizona, and, as mentioned, the mirror for the LSST.

The process involves a very large furnace with the ability to rotate. Hexagonal cylinders made of refractory material are distributed inside this furnace. Pieces of borosilicate glass are placed on top of the hexagons, and the furnace is closed and the heaters turned on. When the borosilicate glass (Pyrex) reaches about 1,200 °C and starts to melt, the furnace starts to rotate at 5 RPM. The combination of the way the refractories are distributed, the amount of glass and the rotation speed will make the glass occupy the spaces between the refractories and leave a thin sheet of glass of roughly 5 cm with the correct approximate shape to be adjusted and polished to the stringent required specifications.

The concept of the Giant Magellan Telescope is depicted above. It will be placed in a 60 m tall enclosure, the equivalent of a 22 story building that will be required to rotate smoothly following the telescope position.

Once completed, the GMT, equipped with Adaptive Optics, a technique used by several ground based telescopes, will exploit its optical limit and will have a resolution ten times better than the Hubble Space Telescope.

The European Extremely Large Telescope (E-ELT)

This telescope of approximately 39 m in diameter is being developed by the European Southern Observatory, a consortium of 16 European countries that operates 2 observatories in Chile. The E-ELT will be located on Cerro Armazones, south of Antofagasta, Chile, another outstanding site only a few kilometres from Cerro Paranal, the site of the VLT.

As for the GMT, it is impossible to cast and polish a single mirror of this size. Unlike the LSST and the GMT, the E-ELT will use a different technique in order to 'produce' its primary: it will use 798 hexagonal segments, each with an equivalent diameter of 1.5 m. This technique has already been used in the construction of the VLT and the Keck telescopes. Both techniques face big challenges.

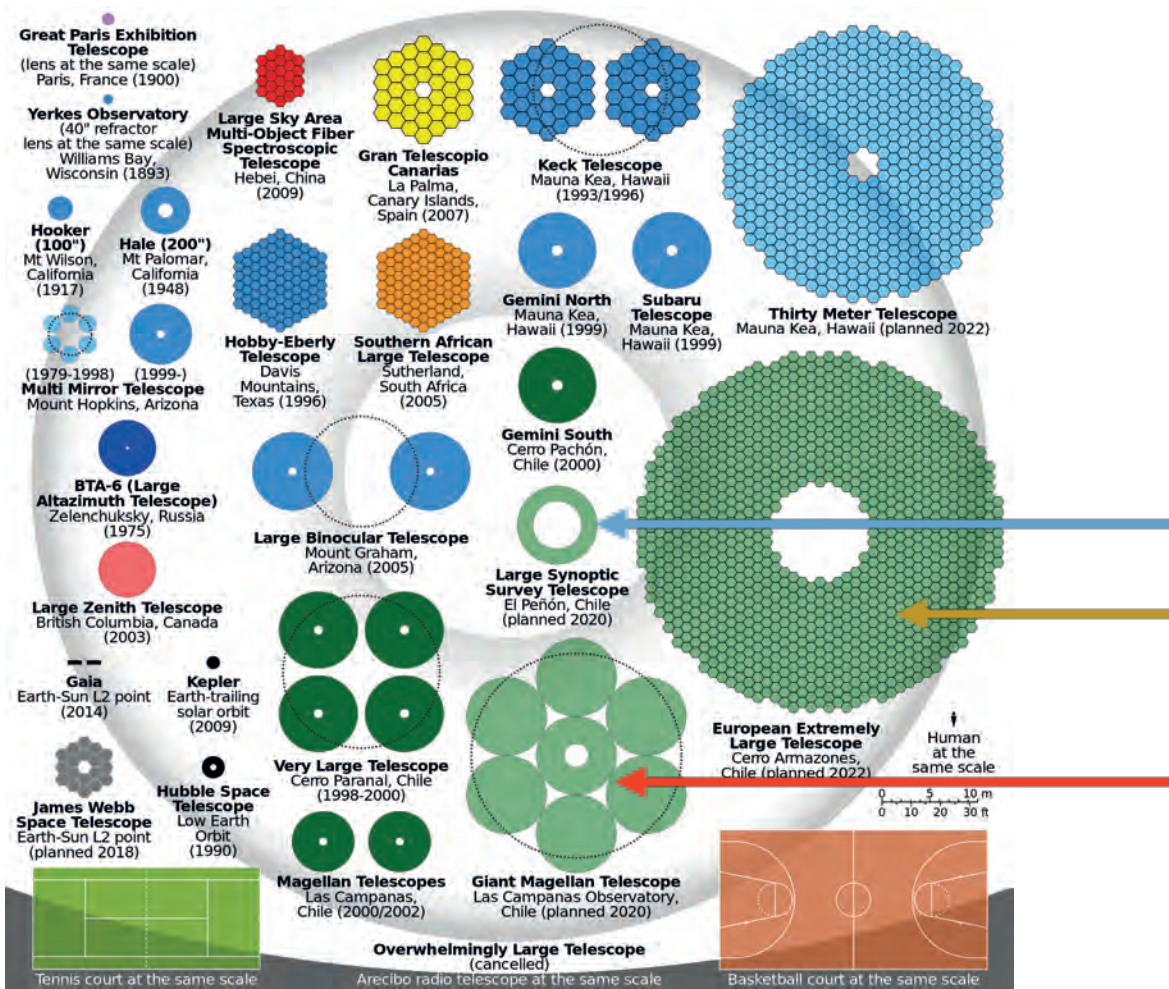


Figure 6. Comparison of the diameters of the primary mirrors of the three telescopes described here. A blue arrow, the LSST, in yellow, the EELT and in red, the Giant Magellan Telescope. © Cmglee, licensed under CC BY-SA 3.0.

While the 7 GMT mirrors have to be perfectly aligned in order to form a 25 m mirror, the segments of the E-ELT have to align perfectly too, so as to produce a single giant mirror.

As with all modern large telescopes, the E-ELT will have an ‘altazimuth’ mount. This enables telescopes to provide an area that is gravitationally invariant, where very large instruments can be placed. In other words, the instruments that can be very big and weigh several tens of tons do not ‘travel’ with the telescope,

but remain in the same place while the light from the telescope is tunnelled to the instrument. This is seriously beneficial for the instrument teams, simplifying the design and avoiding flexures that can make the design almost impossibly expensive. Adaptive Optics will be an obvious feature also at the E-ELT.

Science with large telescopes

Projects of this size inevitably have to present a scientific justification. As mentioned above, the LSST will have one mission. It will obtain

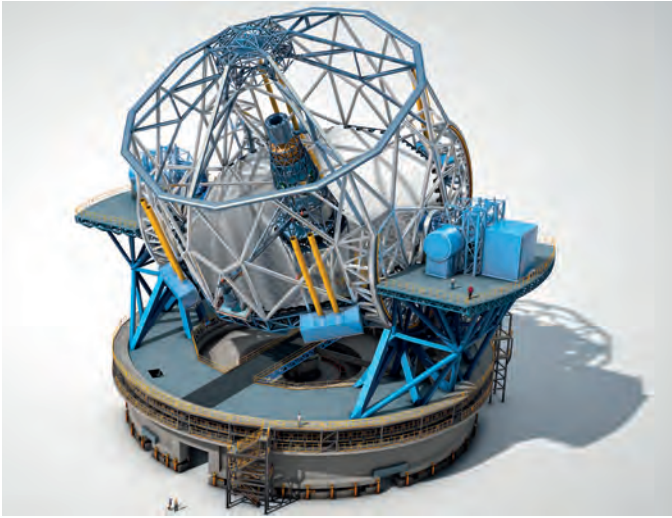


Figure 7. Artist conception of the E-ELT. The blue boxes, to the right of the telescope correspond to just one of the instruments. Also shown is an example of 5 out of almost 800 segments. © ESO, licensed under CC BY 4.0.

a full image of the accessible sky, in three wavelengths, every three to four days over a period of ten years. These images will be made compatible and combined, providing the deepest and most complete image of the universe, paying special attention to objects that vary in their intensity or position (from killer asteroids to the most distant supernovae and possibly the sources of gravitational waves.) Without going into individual problems that the LSST will tackle, this is the Science Case.

Unlike the LSST, the other telescopes will perform ‘pointed’ as opposed to ‘synoptic’ observations. While the LSST will have only one instrument, its amazing camera, the GMT and the E-ELT will provide images and, more importantly, spectra, in optical and infrared wavelengths. These giant telescopes will look for planets of nearby stars, with the stated objective of finding Earth-like ones and to study in detail their atmosphere for possible indications of biological activity; stellar populations in the Milky Way and other galaxies and the origin of black holes, with special attention to the one in the centre of our galaxy. The interaction of galaxies and the first light in the universe, and the most distant galaxies will be studied. Cosmology and the origin of Dark Matter and Dark Energy are problems to be addressed also.

Considering that these projects will increase the possibilities of observation from the ground by several orders of magnitude, it is likely that new problems (for which we, for the time being, ignore the questions) will open new horizons.

The Right of People to Dark Skies

The title of this meeting, *The Right to Dark Skies*, addresses one of the serious problems that might affect these giant telescopes: light pollution.

As mentioned previously, telescopes need dark skies in order to fully exploit their capabilities. Contaminated skies inhibit the capabilities of large telescopes making them equivalent to smaller telescopes since the contrast is diminished and the background is filled with artificial spectral features. Historically, large telescopes have been rendered close to useless because of this. Other articles will address this subject in more detail.

Let us fight this with determination: we want our children to be able to look at the marvels of the universe and our scientists to study them with the most powerful tools ever built.

Sierra Negra: the Site of the Large Millimetre Telescope Alfonso Serrano

Alberto Carramiñana

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), Mexico

Abstract

Sierra Negra, also known as Tliltépetl, located in the Pico de Orizaba natural park in the Mexican state of Puebla, was chosen in 1997 as the site for the Large Millimetre Telescope Alfonso Serrano or Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano in Spanish (LMT/GTM). The LMT is the world's largest single dish telescope for studying the cosmos in the wavelength range of 0.8–4.0 mm. The INAOE and the University of Massachusetts Amherst have collaborated for twenty years to construct and operate the world-class LMT. The summit of Sierra Negra was selected for the positioning of the LMT as a result of the low water vapour content of its atmosphere, which is due to its altitude of almost 4,600 m. With a latitude of 19 °N, Sierra Negra has good access to the Southern hemisphere skies. The site started developing infrastructure shortly after being chosen and the LMT itself was constructed between 1999 and 2006. Its first light on the millimetre-wave range was announced on 1 June 2011, a few weeks before the passing of Alfonso Serrano, its initial and long-time promoter. Since 2013, the telescope has been used in scientific operations, with an aperture of 32 m, and is due to reach full 50 m operations by the end of 2016. The telescope is part of the Event Horizon Telescope initiative, a global project that aims to capture images of the black hole at the Galactic Centre in 2017.

The development of basic infrastructure at Sierra Negra, specifically the access road, electricity and the internet, prompted the installation of other facilities benefiting from the thin atmosphere of this high altitude site. In July 2007, Sierra Negra was chosen for the installation of the High Altitude Water Cherenkov Observatory (HAWC), a wide field of view gamma-ray detector to survey two thirds of the sky in the 0.1–100 TeV region of the electromagnetic spectrum. The HAWC was installed 1 km north and 500 m below the LMT, at an altitude of 4,100 m, and consists of an array of 300 individual water Cherenkov detectors. The full installation of the array was achieved on time for HAWC to be inaugurated in March 2015.

Sierra Negra is an exceptional site providing tolerable conditions, such as relatively mild weather at more than 4,000 m and a very low electromagnetic interference noise. The conditions for optical astronomy have been partially studied, with optical seeing data obtained from 1999 to 2002 showing a median of 0.78" and weather data aiding to characterise the site in terms of the fraction of clear skies. Despite its location in a relatively populated region of Mexico, the sky at Sierra Negra is dark to the eye, a likely effect of its altitude. The sky's actual brightness, however, remains to be quantified. Future instruments needed for dark skies, which could be considered for Sierra Negra, are optical and atmospheric Cherenkov telescopes.

Resumen

Sierra Negra, también conocida como Tliltépetl, ubicada en el Parque Nacional Pico de Orizaba, en el Estado de Puebla, fue elegida en 1997 como sitio para el Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano (GTM). El GTM la antena individual más grande del mundo para estudiar el cosmos en el rango de longitud de onda de 0.8–4.0 mm. El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y la Universidad de Massachusetts Amherst han colaborado durante 20 años para construir y operar el GTM de primera categoría. La cima de Sierra Negra fue escogida para el posicionamiento del GTM debido al bajo contenido de vapor de agua de su atmósfera, lo cual se debe

a su altitud de casi 4,600 m. Con una latitud de 19° N, Sierra Negra tiene buen acceso a los cielos del hemisferio austral. El sitio comenzó a desarrollar infraestructuras poco después de ser elegido y el GTM fue construido entre 1999 y 2006. Su primera luz en el rango de ondas milimétricas fue anunciada el 1 de junio del 2011, unas semanas antes del fallecimiento de Alfonso Serrano, su impulsor inicial durante mucho tiempo. Desde el 2013, el telescopio se ha utilizado en operaciones científicas con una apertura de 32 m y se espera que alcance operaciones de 50 m para finales del 2016. El telescopio forma parte de la iniciativa Telescopio de Horizonte de Eventos, un proyecto global que pretende capturar imágenes del agujero negro en el centro de la galaxia en 2017.

El desarrollo de infraestructuras básicas en Sierra Negra, específicamente el camino de acceso, electricidad e internet, motivó la construcción de otras instalaciones que se benefician de la delgada atmósfera de este sitio a gran altitud. En julio del 2007, Sierra Negra fue elegida para la instalación del Observatorio HAWC (por sus siglas en inglés), un detector de rayos gamma de amplio campo de visión que puede rastrear dos tercios del cielo en la región de 0.1-100 TeV del espectro electromagnético. El HAWC fue instalado a 1 km al norte y 500 m por debajo del GTM, a una altitud de 4,100 m, y está compuesto por un conjunto de 300 detectores individuales de luz de Cherenkov en agua. La instalación completa del conjunto se logró a tiempo para que el HAWC fuese inaugurado en marzo del 2015.

Sierra Negra es un sitio excepcional que proporciona condiciones tolerables, como un clima relativamente suave a más de 4,000 m. Asimismo, hay en el sitio un ruido muy bajo de interferencias electromagnéticas. Las condiciones para la astronomía óptica han sido parcialmente estudiadas, con datos en el óptico obtenidos de 1999 al 2002 que muestran una media de 0.78" y datos meteorológicos que ayudan a caracterizar el sitio en función de la fracción de cielos claros. A pesar de su ubicación en una región relativamente poblada de México, el cielo en Sierra Negra es oscuro a la vista, un probable efecto de su altitud. Sin embargo, el resplandor real del cielo sigue estando por cuantificarse. Futuros instrumentos necesarios para cielos oscuros, que podrían considerarse para Sierra Negra, son telescopios ópticos Cherenkov atmosféricos.

Mexico's Potential for Astronomy

Mexico is a mountainous country with many sites that have high potential for astronomy, for example, the Baja California Peninsula, which extends for over 1000 km along the Pacific coast, reaching 3000 m at its highest point. The laminar flow of air coming from the ocean and reaching the first mountain range, almost unperturbed, provides ideal conditions for optical astronomical observations. San Pedro Mártir, where Mexico's National Astronomical Observatory (OAN-SPM) is located, benefits from these excellent conditions and low levels of light pollution. I will review the OAN-SPM site further in this article.

The evolution of observational techniques in astronomy beyond the visible portion of the electromagnetic spectrum resulted in unprecedented demands for finding potential sites for new facilities. A relevant example in Mexico are radio experiments that require

minimal electromagnetic interference. These conditions, recently measured on Guadalupe Island, may allow the unique exploration of the early universe.

Moving towards the south, the Central Mexican Plateau has peaks higher than 4000 m. These peaks could be potentially exploited by scientific facilities that benefit from high altitude conditions. The water vapour content of some of these peaks was monitored in the early 1990s during the search for the site of the Large Millimetre Telescope Alfonso Serrano (LMT). In February 1997, the tallest of these sites, Sierra Negra, was selected and development began shortly afterwards. Today, Sierra Negra hosts half a dozen experiments, including the LMT and the High Altitude Water Cherenkov (HAWC) Gamma Ray Observatory, and is becoming a world-class site in scientific research.

Sierra Negra

Sierra Negra, *Tliltēpetl* in Nahuatl, meaning ‘the black mountain’, is an extinct volcano next to Pico de Orizaba, the highest peak in Mexico, with just 7 km separating the two summits. The Nahuatl name of Pico de Orizaba is *Citlaltepetl*, ‘the mountain of the stars’. The two mountains constitute the Pico de Orizaba National Park (Parque Nacional Pico de Orizaba in Spanish), which covers a total area of 196 km². The park limits at northern latitudes lie between 18°57’00” and 19°09’40” and at western longitudes between 97°12’11” and 97°22’04”. With an altitude of 4,582 m, Sierra Negra is the fifth highest mountain in Mexico, just a few metres shorter than Nevado de Toluca. While Sierra Negra is an old volcano without signs of volcanic activity, the crater of Pico de Orizaba is about 4,000 years old and has a record of minor eruptions and exhalations that started in 1533 and continues to the present day (Rossotti, 2001).

Through a Presidential Decree issued in November 2004, the Mexican National Institute of Astrophysics, Optics and Electronics (INAOE in Spanish) gained ownership of 10.2 Ha at the top of the

mountain, above 4,500 m. In addition, the INAOE has a permit from the Mexican Secretariat of Environment and Natural Resources (SEMARNAT in Spanish) to use about 4 Ha for the HAWC Gamma Ray Observatory, which lies 1 km north of the LMT, at 4,100 m. A few experiments share the Sierra Negra site and its infrastructure with the LMT, the HAWC being the most prestigious.

The Large Millimetre Telescope Alfonso Serrano

The Large Millimetre Telescope Alfonso Serrano (or Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano, GTM, in Spanish) is an antenna with a 50 m diameter dedicated to research in astronomy through observations in the 0.8–4.0 mm band (Carrasco et al., 2006). The LMT is the product of binational collaboration between the INAOE and the University of Massachusetts Amherst (UMASS) to build and operate the largest single dish millimetre-wave telescope in the world for observations in the 0.8–4.0 mm band. The LMT, the most ambitious science project undertaken by Mexico, was formally approved in 1994. The project’s important milestones are shown in Table 1. We can identify the construction (1999–2006),

DATE	MILESTONE
31 AUGUST 1992	LMT PROJECT PRESENTED TO CONACYT.
20 SEPTEMBER 1993	CONACYT NOTIFIED UMASS ABOUT THE LMT’S APPROVAL CONTINGENT ON ITS GO-AHEAD IN THE USA.
14 FEBRUARY 1994	UMASS COMMUNICATED THE POSITIVE RESPONSE REGARDING THE US CONTRIBUTION TO THE LMT.
31 OCTOBER 1994	CONACYT AND THE INAOE SIGNED AGREEMENT TO FINANCE THE LMT’S DESIGN, CONSTRUCTION AND INSTALLATION.
17 NOVEMBER 1994	SIGNATURE OF THE INAOE - UMASS MEMORANDUM OF UNDERSTANDING.
FEBRUARY 1996	DEFINITION OF LMT SPECIFICATIONS.
FEBRUARY 1997	SIERRA NEGRA SELECTED AS THE LMT SITE.
DECEMBER 1997	THE INAOE CONTRACTS MAN TECHNOLOGIE TO DESIGN THE LMT.
1999 - 2006	THE LMT IS BUILT.
22 NOVEMBER 2006	THE LMT IS INAUGURATED BY PRESIDENT FOX. M87 IS OBSERVED AT 14 GHZ.
1 JUNE 2011	THE FIRST LIGHT IN THE NOMINAL 1-3 MM BAND IS ANNOUNCED.
12 JULY 2011	ALFONSO SERRANO PASSES AWAY.
MAY 2013	THE LMT STARTS OPERATIONS WITH 32 M APERTURE, ENOUGH TO BECOME THE LARGEST SINGLE DISH MILLI-METRE TELESCOPE IN THE WORLD.
2013 - 2015	THE LMT COMPLETION PLAN IS SUPPORTED BY CONACYT.
2016	TARGET FOR FULL 50 M OPERATIONS.

Table 1. The LMT project’s important milestones.



Figure 1. Sierra Negra or *Tliltetpetl*, the black mountain, in front of the white snowy *Citlaltepetl*, the mountain of the stars. © James Lowenthal.

the inauguration (November 2006), the first light in the millimetre band (June 2011) and early science operations (2013–2016). The LMT is still a productive telescope with relevant participation in the Event Horizon Telescope,¹ a Very Long Baseline Interferometer (VLBI) initiative to image the black hole residing at the Galactic Centre in 2017. With the Mexican National Council of Science and Technology (CONACYT in Spanish) supporting the LMT Completion Plan, the telescope is currently on track for entering full 50 metre observations by the end of 2016.

The search for the site of the LMT was conducted in the mountains of Mexico, that are higher than 3000 m in altitude, including a location in the OAN-SPM. The most relevant parameter was the column density of water vapour in the atmosphere for which the main competing factors were the intrinsic drier conditions of the north of

Mexico and the thinner atmosphere at high altitude. Monitoring of the Nevado de Toluca showed altitude to be dominant, leading to the eventual selection of the highest site monitored: Sierra Negra. With geographical coordinates of 18°59'N and 97°19'W, the LMT site has the additional advantage of good visibility of the southern skies.

The HAWC Very High-Energy, Ray Observatory

Since 1912, it has been recognized that very energetic particles from outer space, termed cosmic rays, continuously penetrate the terrestrial atmosphere (Friedlander, 1989). In 1938, Pierre Auger discovered that these energetic cosmic particles produce an avalanche of secondary particles in the atmosphere, a phenomena described as ‘Extensive Air Showers’ (EAS) or atmospheric particle cascades. This finding led to the construction of arrays of particle detectors, or Extensive Air Shower Arrays, for the study of high-

1. <http://www.eventhorizontelescope.org/>



Figure 2. Drone view of the HAWC Gamma Ray Observatory on its inauguration, 20 March 2015. The array is approximately 150 m on each side, with a single detector 7.2 m in diameter. © INAOE.

energy cosmic rays (Friedlander, 1989). Between 1999 and 2008, the high altitude Milagro EAS, located in New Mexico at an altitude of 2650 m, proved the feasibility of effectively distinguishing between cosmic ray and gamma ray induced cascades, opening the possibility of performing studies on astrophysical sources. The detection by Milagro of TeV gamma ray emission from sources like the Crab Nebula, Mkn 421 and the Galactic Plane was the basis for proposing an improved designed detector to be located at a higher altitude: the High Altitude Water Cherenkov Observatory (Hoffman and Sinnis, 2008).

The HAWC proposal came to Mexico in January 2006 when the Milagro collaboration started to actively look for sites above 4,000 m in Mexico, China and Bolivia. A Mexican interest group comprised of individuals from several institutions formed and, as a result, a site

feasibility study was carried out for the installation of the HAWC at Sierra Negra. In July 2007, the site of Sierra Negra was selected for the High Altitude Water Cherenkov Gamma Ray Observatory. Clearance of environmental permits took a couple of years and in July 2009, an extension of the LMT road was opened to access the current HAWC site. A flattened platform of 22,500 m³ was prepared in 2011 for the installation of the array between 2012 and 2014. The array consists of 300 water Cherenkov detectors, each 7.2 m in diameter and 5 m high, filled with 180,000 l of water and instrumented with 4 photomultiplier tubes to record the Cherenkov light produced by the passage of energetic particles in the water. One advantage of the HAWC's modular design is the possibility of early tests and engineering, and scaled operational phases. After sixteen months of early science operations with one-third of the array functional and the remaining two-thirds still in installation, the HAWC

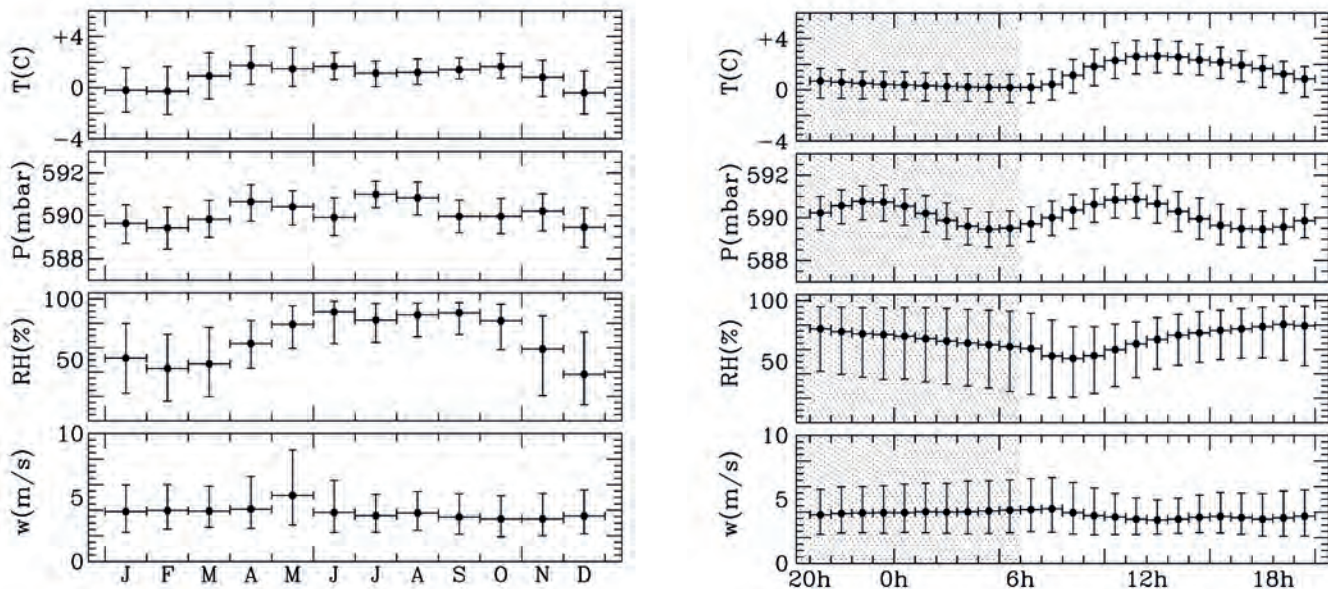


Figure 3. Temperature, atmospheric pressure, relative humidity and wind velocity at Sierra Negra for the different months (left) and hours (right). © Alberto Carramiñana with data from Carrasco et al. (2009).

was inaugurated on 20 March 2015, the day of the equinox. The HAWC is currently operating continuously, with a duty cycle above 95%, making daily detections of the Crab Nebula that exceed the expectations stated in the original proposal presented to the National Science Foundation (NSF), the US Department of Energy (DOE) and CONACYT (Westerhoff, 2014).

The HAWC is unaffected by observational conditions, light pollution or weather, with the exception of extreme weather, like electric storms or heavy precipitation. In the next two years, a peripheral outrigger array will be installed around the HAWC. It will be made of more than 300 smaller detectors containing 2500 l of water each and separated by 10 to 15 m. The expanded HAWC array will cover a total area of 100,000 m² centred on the current dense array, significantly increasing the response of the detector for gamma ray energies above 10 TeV (Sandoval, 2015).

Other Experiments at Sierra Negra

There are some smaller experiments taking place in the area at the top of the mountain which were installed through agreements signed with the INAOE:

- The Solar Neutron Telescope is the result of collaboration between the UNAM Geophysics Institute, Mexico and Nagoya University, Japan. It was installed between 2003 and 2004 in a hut just 70 m south-west of the LMT, starting operations shortly thereafter. More recently, in 2010, the SciBar instrument of Nagoya University was located in Sierra Negra, next to the Solar Neutron Telescope, and rebaptized as SciCRT (Scintillation bar Cosmic Ray Telescope). This instrument, originally a neutrino detector at the Fermi National Accelerator Laboratory, consists of 14,366 scintillator bars connected to multi-anode photomultiplier tubes and has been performing as a solar neutron detector and a high resolution cosmic ray detector at Sierra Negra since mid-2013 (Sasai et al., 2014).
- LAGO: originally the Large Aperture GRB Observatory, now part of the renamed Latin American Giant Observatory, LAGO is a network of EAS detectors in Latin America (The LAGO Collaboration, 2016). The LAGO station at Sierra Negra is designed as an array of four water Cherenkov detectors, one of them of the same dimensions as those at the HAWC, while the other three are of the same diameter, but just 1 m tall. It has

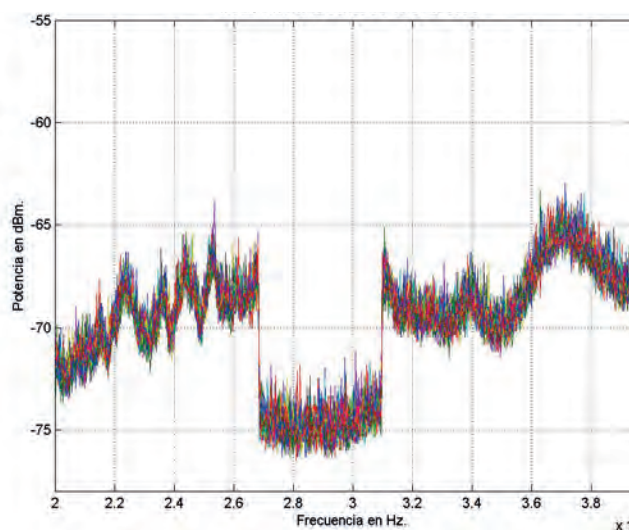


Figure 4. Measurements of electromagnetic noise for frequencies between 20 and 40 GHz. The data is dominated by instrumental noise, with no detection of interference. © Celso Gutierrez.

not began scientific operations, but has been very useful as a test bed for student training.

- OMEGA, for the Mexican Observatory of Gammas, is an atmospheric Cherenkov telescope formerly part of the HEGRA array² that is currently being installed at the HAWC site. These telescopes require dark and clear skies to operate and are sensitive to light pollution.
- Minor experiments include a station for monitoring greenhouse gases from the Climate Institute; a geo-positional reference marker from the Mexican National Institute of Statistics and Geography (INEGI in Spanish) for geodesic studies; a seismograph from the Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, currently non-functional; radiometers and weather stations in the top zone and the HAWC site run by the INAOE.
- The 10.4 Ha area at the top of Sierra Negra has also been considered for the potential installation of optical telescopes, with a flattened area at the north-east end of the area.

The Conditions at the Sierra Negra Site

Sierra Negra has had a particular history of monitoring, due to its origin as the site of the Large Millimeter Telescope Alfonso

Serrano. Among the studies carried out, we can list the following, to be detailed further:

- The atmospheric content of water vapour was first measured in 1995 and 1996 for the LMT site selection (Torres et al., 1997); monitoring this water vapour has since continued.
- Meteorological data has been taken at the top of the mountain continuously since 2000 and has been used for the further characterization of the site's properties, (Carrasco et al., 2005; Carrasco et al., 2009).
- The site was categorized in terms of its image quality in the visible spectrum, through optical measurements between 2000 and 2002 (Carrasco et al., 2003).
- The site was monitored for electromagnetic noise in radio for frequencies up to 40 GHz (Martínez, 2013).

Opacity at Millimetre Wavelengths

Measurements of the atmospheric opacity at a frequency of 210 GHz were carried out between August 1995 and November 1996 for the site selection process. The opacity measurements were correlated with contemporaneous precipitable water (PPW) vapour measurements in order to obtain extrapolated opacity estimates dating back to 1990. Sierra Negra was found to show opacities below 0.4 for more than 90% of the time and incursions of opacities below 0.1 in winter (Torres et al., 1997). Radiometer measurements have continued since then as the site's opacity is monitored continuously as part of LMT operations, confirming these results and the availability of sub-millimetre conditions at Sierra Negra.

Meteorological Data

One relevant aspect of Sierra Negra is the benign weather when considering the altitude of the site. Statistics on weather data taken over more than seven years, between 2000 and 2008, were presented by Carrasco et al. (2009). The weather station was located some 120 m north-east of the LMT, at an altitude of 4,530 m. Median values of atmospheric variables were temperature $T=1.1$ °C; atmospheric pressure $P=590.1$ mbar; relative humidity $RH=68.9\%$; and wind velocity $w=3.8$ m/s. We noted that temperature medians do not vary significantly between day (2.12 °C) and night (0.35 °C) or wet (1.39 °C) and dry (0.34 °C) seasons, while relative humidity does vary noticeably between the wet (84.9%) and dry (50.9%)

2. The HEGRA atmospheric Cherenkov telescope system. <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CT/CT.html>

TOWN OR CITY	ALTITUDE (M)	POPULATION (2000)	DISTANCE (KM)	DIRECTION (° E FROM N)	LOG R
TEXMALAQUILLA	3100	1,109	5.39	148.6	1.78
CIUDAD SERDÁN	2540	34,303	13.93	270.5	1.34
ATZITZINTLA	2680	2,926	9.85	188.0	0.97
ORIZABA	1284	53,889	27.33	122.0	0.16
CÓRDOBA	924	132,091	41.55	103.6	-0.31
COSCOMATEPEC	1588	21,385	30.91	72.5	-0.50
TEHUACÁN	1676	172,510	58.51	188.2	-0.89
PUEBLA	2162	1,157,625	93.17	273.7	-1.02
XALAPA	1427	384,021	73.43	36.4	-1.08
TECAMACHALCO	2055	24,108	45.29	256.2	-1.22
MÉXICO	2233	17,500,000	197.63	283.8	-1.37
VERACRUZ	14	381,190	126.04	79.6	-2.12

Table 2: Estimate of the light pollution effect of population centres on Sierra Negra, measured by the ratio between the increase of light and the natural level of sky brightness. Reproduced from Carrasco et al. (2002).

seasons (Carrasco et al., 2009). The data also contained information regarding solar radiation incidents and was used to quantify the fraction of clear skies, showing this to vary significantly between the wet and dry seasons, May to October and November to April respectively.

A setup of two identical weather stations installed at the LMT and the HAWC was implemented in 2012. Simultaneous data are currently being acquired at the two different altitudes, with the goals of correlating the weather variables and studying the structure of the atmosphere.

Optical Seeing

Optical seeing is a measure of the apparent size of a star, which is dominated by the widening effect of turbulent air in the atmosphere. As a result, while the Sun, located at one parsec (3.17 light years), would have an apparent diameter of 0.01" only considering geometry, atmospheric turbulence distorts stellar images to sizes comparable to 1".

Astronomical seeing was measured at Sierra Negra between 2000 and 2002 using a Differential Image Motion Monitor, in order to

evaluate the possibility of installing a large optical telescope at Sierra Negra. The median of the seeing data acquired then was 0.78", with a first quartile of 0.61", showing Sierra Negra to be a competitive site in terms of the quality of astronomical images, although still not at the level of San Pedro Mártir, where the number of clear nights is also better (Carrasco et al., 2003).

Electromagnetic Interference

Electromagnetic interference of radio frequencies was measured at the LMT site between 2007 and 2008, as reported in Gustavo Martínez's PhD thesis (2013). Low frequency data showed signals from radio-FM, TVs, mobile telephones, radio-localization and radio-navigation systems, as expected. Aside from these signals recorded at frequencies below 3 GHz, no interference above the instrumental noise of the detector system, between -70 and -80 dBm, was perceived.

Electromagnetic interference is an obvious concern for the LMT, in particular for frequencies above 75 GHz. However, its instrumentation is prone to interference at lower frequencies. Heterodyne instruments of the LMT, like the Redshift Search Receiver or SEQUOIA, convert the signals received to lower



Figure 5. The Large Millimetre Telescope Alfonso Serrano observing the sky at Sierra Negra, while the Milky Way transits. © James Lowenthal (Smith College).

frequencies through mixing them with local oscillators. These intermediate frequencies, often between 2 and 5 GHz, are more vulnerable to interference by systems like cellular phones or wireless links. Through an explicit protection clause in the signed agreements, the INAOE has implemented a policy with all Sierra Negra users of non-interference with the LMT. In particular, all data generated at the site is transmitted through the on-site optical fibre, avoiding the use of microwave links.

The LMT is explicitly included in the Mexican National Table of Frequency Allocations³ through the radio astronomy service and note MEX-283. This note considers a 100 km radius protection zone for the LMT, difficult to implement in practice. Currently, services above 75 GHz in Mexico are virtually non-existent and the National Park does provide some protection to the site against electromagnetic noise. It is noted that the International Astronomical Union, in its XXIX General Assembly, issued its resolution B4 regarding the potential use of those frequencies in radars for cars.

Sky Brightness

Sky brightness has not been properly studied at Sierra Negra, in part because there has not been a project with the resources to establish an optical telescope on site. The site is located near important population centres and their effect on the sky at the site was estimated in 2002 (Carrasco et al., 2009). The quantification was made using Walker's law, which quantifies the effect of urban centres to their population, $\log(r) = \log(X) - 4.7 \log(R)$, where r is the ratio of the observed sky glow and its natural value; X is the total luminous flux of outdoor lightning in the source, taken as 150 lumen per inhabitant; and R is the distance to the urban centre in km. The table shown in Carrasco et al. (2002) is updated below. The values of $\log(r)$, shown in Table 2, can only be indicative as they need to be updated and there is no consideration of the high altitude of the Sierra Negra site, which is bound to result in a lower level of light pollution as less urban light is scattered down.

On-site measurements were made back in 2005, using a 14-inch telescope. These data are not sufficient to properly define sky brightness at Sierra Negra, where night images from the site show

a starry sky that can be exploited for observations in the optical window or with air Cherenkov telescopes.

Summary

Mexico has an invaluable number of astronomical sites. These exceptional properties, such as the high altitude Sierra Negra volcano, host facilities benefiting from its thin atmosphere, the Large Millimetre Telescope Alfonso Serrano and the High Altitude Water Cherenkov Gamma Ray Observatory. Due to the nature of its facilities, Sierra Negra has been characterized in terms of the water vapour content of its atmosphere, its weather and radio frequency interference noise. The optical seeing of Sierra Negra has been measured, showing the site to be competitive for astronomy in the visible spectrum. Located inside a national park, Sierra Negra has local conditions that allow it to keep its dark skies.

References

- Carrasco, E., Aretxaga, I. and Irvine W. (coordinadores). 2006. *El Gran Telescopio Milimétrico: Dos Países Vecinos Exploran Juntos El Cosmos*. INAOE.
- Carrasco, E., Ávila, R. and Carramiñana A. 2005. High-altitude wind velocity at Sierra Negra and San Pedro Mártir, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 117, pp. 104-110.
- Carrasco, E., Carramiñana, A., Avila, R., Gutiérrez, C., Avilés, J. L., Reyes, J., Meza J. and Yam, O. 2009. Weather at Sierra Negra: 7.3-yr statistics and a new method to estimate the temporal fraction of cloud cover, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 398, pp. 407-421.
- Carrasco, E., Carramiñana, A., Avilés, J. L. and Yam, O. 2003. Optical seeing at Sierra Negra. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 115, No. 809.
- Carrasco, E., Carramiñana, A., Avilés, J. L. and Yam, O. 2002. *Site Conditions at Sierra Negra*. Reporte Técnico 228, INAOE.
- Friedlander, M. W. 1989. *Cosmic Rays*. Harvard University Press.

3. National Table of Frequency Allocations: <http://cnaf.ift.org.mx/>

- Hoffman, C. and Sinnis, G. 2008. Milagro maps out gamma-ray frontier. *CERN Courier*.
- The LAGO Collaboration. 2016. The Latin American Giant Observatory: Contributions to the 34th International Cosmic Ray Conference (ICRC 2015). arXiv:1605.02151 (Accessed 02 June 2016.)
- Martínez, G. 2013. Receptores de microondas y ondas milimétricas con aplicación en monitoreo de radiofrecuencias y radiometría. Ph.D. thesis, INAOE.
- Rossotti, A. 2005. Reconstrucción de la historia eruptiva de la Pómez Citlaltepetl. Ph.D. thesis. Centro de Geociencias, UNAM, Mexico.
- Sandoval, A. 2015. HAWC upgrade with a sparse outrigger array. arxiv1509.04269 (Accessed 02 June 2016.)
- Sasai, Y. et al. 2014. Performance of the SciBar cosmic ray telescope (SciCRT) toward the detection of high-energy solar neutrons in solar cycle 24. *Earth, Planets and Space*, Vol. 66.
- Torres, V., Davydova, Valentina., Carrasco, L. and Guzmán, I. 1997. *Evaluation of the long term behavior of sites for mm-wavelength radio-astronomy: the quest for a site for the Large Millimetre Telescope*. Technical Report LMT-97-18, INAOE.
- Westerhoff, S. 2014. HAWC: a next generation all-sky gamma-ray telescope. *Advances in Space Research*, Vol. 53, No. 10, p. 1492.

Left: The night sky from Cerro Murphy, Chile. © ESO/B. Tafreshi (twanight.org), licensed under CC BY 4.0.
Right: The Milky Way over the Atacama Desert, Chile. © ESO/B. Tafreshi (twanight.org), licensed under CC BY 4.0.





Chapter 4

The Protection of Dark Skies: Regional Perspectives

Capítulo 4

La protección de los cielos OSCUROS: perspectivas regionales

Jewels of the Chilean night sky. © ESO/B. Tafreshi (twanight.org), licensed under CC BY 4.0.





Chile

Protecting the Dark Skies of Chile: Initiatives, Education and Coordination

Guillermo Blanc

Universidad de Chile / Sociedad Chilena de Astronomía (SOCHIAS), Chile

Abstract

During the next decade, Chile will consolidate its place as the ‘World Capital of Astronomy’. By 2025, more than 70% of the world’s infrastructure for conducting professional astronomical observations will be installed in the Atacama Desert in the north of the country. The amazing scientific discoveries these telescopes produce have a direct impact on our understanding of the cosmos, and protecting this ‘window to the universe’ is fundamental in order to ensure humanity’s right to contemplate the night sky and decipher our origins.

As a country, Chile faces the challenge of fighting light pollution and protecting its dark skies in a context of sprawling urban growth and an ever-expanding mining industry that shares the same territory with astronomical observatories. The Chilean Astronomical Society (Sociedad Chilena de Astronomía, SOCHIAS) plays an active role in protecting dark skies through a series of initiatives involving educational programmes, aiding in the development and enforcement of public policy and regulation, and seeking the declaration of Chile’s best astronomical sites as protected heritage areas, both at the national and international levels.

Whilst describing our experiences, I highlight the importance of approaching the problem of light pollution from all sides, involving all the relevant actors (communities, national and local governments, lighting industry, environmentalists, astronomers and others). I also discuss how communication and timely coordination with potential problematic actors (like industries, cities and some government agencies) can be an effective tool to transform potential enemies into allies in the fight for the protection of the night sky.

Resumen

Durante la próxima década, Chile afianzará su lugar como “Capital Mundial de la Astronomía”. Para el 2025, más del 70% de la infraestructura mundial para realizar observaciones astronómicas profesionales estará instalada en el Desierto de Atacama, al norte del país. Los asombrosos descubrimientos científicos que generan estos telescopios tienen un impacto directo en nuestro entendimiento del cosmos, y proteger esta “ventana al universo” es fundamental para garantizar el derecho de la humanidad a contemplar el cielo nocturno y descifrar nuestros orígenes.

Como país, Chile enfrenta el desafío de luchar contra la contaminación lumínica y proteger sus cielos oscuros en un contexto de crecimiento urbano descontrolado y con una industria minera en continua expansión que comparte el mismo territorio que los observatorios astronómicos. La Sociedad Chilena de Astronomía (SOCHIAS) desempeña un activo papel a la hora de proteger los cielos oscuros a través de una serie de iniciativas que implican programas educativos, ayudando en el desarrollo y aplicación de políticas públicas y regulaciones, y solicitando la declaración de los mejores sitios astronómicos de Chile como áreas de patrimonio protegidas, tanto a nivel nacional como internacional.

Al tiempo que describo nuestras experiencias, subrayo la importancia de abordar el problema de la contaminación lumínica desde todos los ángulos, implicando a todos los actores relevantes (comunidades, gobiernos nacionales y locales, industria de la iluminación, ecologistas,

astrónomos y otros). Analizo también cómo la comunicación y la coordinación oportuna con potenciales actores problemáticos (como industrias, ciudades y algunas agencias gubernamentales) puede ser una eficaz herramienta para transformar a potenciales enemigos en aliados en la lucha por la protección del cielo nocturno.

Chile: World Capital of Astronomy

During the first half of the twentieth century, the largest telescopes in the world, like the 100-inch Hooker Telescope at Mount Wilson and the Palomar 200-inch Hale Telescope, were mostly concentrated in southern California, in the continental United States. In the 1950s and 1960s, American and European astronomers started scouting potential sites in the Atacama Desert in northern Chile. This was part of an effort to find places offering superb observation conditions and also ensuring low levels of light pollution in the future. The urban sprawl of cities like Los Angeles and San Diego was quickly diminishing the capabilities of the most powerful telescopes in the world, and the low population density of the Atacama Desert and its remoteness seemed to offer decades, even centuries, of dark skies ahead.

With the construction of the Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO) in 1963 by the United States National Optical Astronomical Observatory (NOAO), the establishment of the La Silla Observatory in 1965, operated by the European Southern Observatories (ESO), and the start of operations at the Las Campanas Observatory in 1969, built by the Carnegie Institution for Science, the Atacama Desert started its journey towards becoming the most important hub of astronomical observing facilities in the world.

Today, the Atacama hosts about 30% of the total optical telescope collecting area in the world, including flagship projects like the four 8.2 metre ESO Very Large Telescopes (VLT), the two 6.5 metre Magellan Telescopes at Las Campanas and the 8.1 metre Gemini South Telescope. Chile's share of the world's optical astronomical infrastructure will increase to about 70% with the completion of projects currently in construction, such as the Large Synoptic Survey Telescope (LSST), the 25 m Giant Magellan Telescope (GMT) and the 39 m European Extremely Large Telescope (E-ELT).

Furthermore, considering telescopes that observe at radio wavelengths, where light pollution can be present in the form of radio interference

from communications and other sources, Chile already hosts most of the world's radio telescope collecting area, primarily thanks to the Atacama Large Millimetre/sub-millimetre Array (ALMA). This is the largest and most powerful radio telescope in the world, consisting of a sixty-six 12 m antenna interferometer.

All this investment in astronomical infrastructure has undoubtedly transformed the Atacama Desert into the 'World Capital of Astronomy' and has brought enormous benefits to the country on several fronts. Chile and its government see the development of astronomy as an opportunity for national development. The scientific cooperation between international observatories and Chilean universities has translated into enormous advances in the quality, quantity and impact of astronomy, astrophysics and astronomical instrumentation research that is conducted in Chile. Today, Chilean universities are at the forefront of astronomical research and compete side by side with universities in Europe and North America.

The international observatories in the Atacama have also sparked the attraction and training of highly qualified professionals in several fields of engineering, physical and mathematical sciences and computer science. The transfer of knowledge, expertise and technology between astronomical observatories, universities and the private sector offers enormous opportunities for the development of advanced technology engineering companies in Chile, an aspect of strategic importance for future economic growth and international competitiveness. Furthermore, other areas like STEM education, the growing industry of astrotourism and the protection of the country's natural and cultural heritage have all benefited in one way or another from the development of astronomy in the country.

Light Pollution in Chile

Until the early 1990s, light pollution around important astronomical observatories in Chile was minimal. Most sites, even those close to large cities, like Cerro Tololo near La Serena, showed measured

sky brightness consistent with natural (virgin) levels. During the 1990s, Chile saw enormous economic and population growth, with a sustained annual GDP increase ranging from 5–10% and a 15% growth in population. This development continued over the next two decades and a significant fraction of it has happened in and around the Atacama Desert, the country's main mining region.

Figure 1 presents maps of the Atacama's sky brightness levels at the zenith computed using night time satellite imagery and atmospheric light propagation models. It is clear that the areas affected by light pollution have increased substantially over the years. Already in the mid-1990s, sites close to cities like Cerro Tololo and Cerro Pachón showed small but significantly measured enhancements in sky brightness above the natural levels. Today, the levels of light pollution at Tololo and Pachón are increasing alarmingly and remote sites that previously showed virgin dark skies, such as Las Campanas and La Silla, now sit at the edge of regions significantly affected by light pollution.

The problem of light pollution is now evident to the naked eye in remote sites such as Las Campanas. Figure 2 shows a long exposure

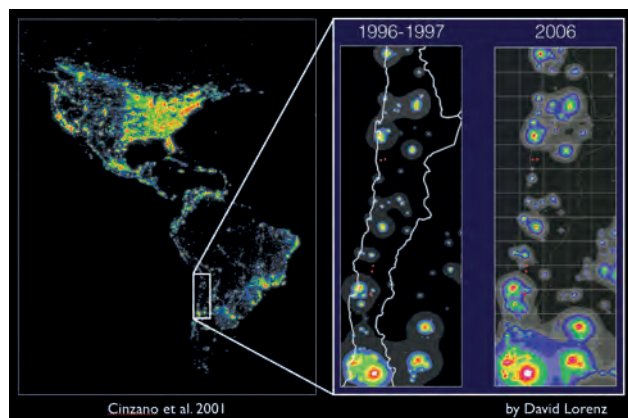


Figure 1. Evolution of light pollution in northern Chile 1996-2006. Red squares mark the positions of the main optical astronomical observatories in Chile. From south to north: Pachón and Tololo, La Silla, Las Campanas, Paranal and Armazones. © Guillermo Blanc adapted maps by P. Cinzano, F. Falchi, University of Padova; C. D. Elvidge, NOAA National Geophysical Data Center, Boulder; and David J. Lorenz, University of Wisconsin-Madison.

all sky image of the night sky at this site. The twin 6.5 metre Magellan telescopes are seen at the bottom. On the horizon, one can clearly identify the glowing sky above cities such as La Serena, Coquimbo, Vallenar and Copiapó. One can also see significant sources of light pollution from nearby mining operations, and the lights illuminating crossroads and toll plazas on a nearby stretch of the Panamerican Highway.

A few decades ago, these levels of light pollution at such remote sites were unimaginable. Astronomers, in pursuit of good image quality and low sky brightness, usually conduct their observations by pointing their telescopes at high elevations above the horizon. Astronomical observations, therefore, tend to avoid the areas most dramatically affected by light pollution. If the sustained increase in sky brightness is not controlled appropriately, the sky brightness of the entire night sky can be seriously affected, even towards the zenith, forever degrading the 'windows to the universe' that the dark skies above the Atacama Desert provide us.

Beyond the direct detrimental effects of light pollution on the quality of astronomical observations, several other negative effects are now recognized to be associated with excessive, unnecessary levels of illumination. These include, among other things, distortions in people's sleep patterns and associated health problems, disruption of migration patterns and the hunting and reproductive behaviour of certain animal species and negative environmental and economic impacts associated with the unnecessary overproduction of electric power that is wasted on illuminating the sky. Moreover, in the particular case of Chile, light pollution threatens to take away all the evident benefits to our society that the development of astronomy is currently providing and will provide in the future.

Light Pollution Regulation in Chile

Astronomers in Chile had already begun expressing serious concerns about the problem of light pollution and its dramatic evolution in the 1990s. Their concerns were well received by the Chilean government and prompted the first regulation on light emissions in the country's history. The 1998 Supreme Decree N° 686 of the Ministry of Economy regulated the characteristics of exterior light fixtures in the three northern regions of the country (Antofagasta,



Figure 2: Present day levels of light pollution at Las Campanas Observatory. The cities of La Serena, Vallenar and Copiapó, as well as lightning on the Panamerican Highway and some nearby mining operations are clearly visible on the horizon. © Yuri Beletsky, Las Campanas Observatory.

Atacama and Coquimbo), where most of the observatories are located. Before the 1998 decree, the only protection astronomical observatories received was the designation of ‘Scientific Interest Zones for Mining Purposes’ outlined in the Chilean Mining Code, which defines relatively small buffer zones where no mining activities can be performed without the expressed authorization by the President of the Republic.

Decree N° 686 was followed by the creation of the Office for Protection of Sky Quality in Northern Chile (OPCC in Spanish) in May 2000. The OPCC currently operates under an agreement between the Chilean government, a consortium of international observatories installed in the country and more recently the Chilean Astronomical Society (SOCHIAS in Spanish). This office, under

the leadership of Director Pedro Sanhueza, has been the most important actor in the fight against light pollution in Chile during the last two decades. A 10-year effort led by the OPCC and others translated into widespread compliance with the light emissions regulation established in Decree N° 686. This enormously mitigated the growth of light pollution during the 2000s, which, given the growth of cities in the region, could have been much worse during that decade.

In the early 2010s, the advent of new illumination technologies, mainly the widespread availability of energy efficient Light Emitting Diodes (LEDs), with a strong emission component at blue wavelengths¹ and the popularisation of bright large area LED screens for use in advertisement, made the Decree N° 686 insufficient in terms of providing adequate protection of dark skies in the north of Chile. This prompted the development of new regulation, now coming from the Ministry of Environment.

The new Supreme Decree N° 43 of the Ministry of Environment officially replaced the original Decree N° 686 in 2014, imposing much stricter regulations concerning the characteristics of lighting fixtures and illuminated signs used in outdoor lighting, advertisement, industrial illumination (including mining) and sports events. Of particular importance is the requirement for all outdoor lighting fixtures to have ‘full cut off’ (that is, zero emissions above the horizontal), strict limits on the fraction of the total emissions that can be output at blue frequencies and the establishment of maximum levels of illumination at floor level. While this new decree has the potential to be a powerful tool for controlling light pollution in the Atacama Desert, its implementation has suffered delays. Ensuring a significant level of compliance will require major efforts in education and coordination between the different actors involved in the problem of light pollution. It is here where SOCHIAS, in partnership with the OPCC, is playing a central role in promoting the protection of dark skies.

The Work of SOCHIAS and the OPCC

SOCHIAS is a scientific society that brings together most of the professional astronomers working in Chile. It was created in the year 2000 and it currently has more than 160 members, including

1. Blue light produces more light pollution than red light as it scatters more easily in the atmosphere.

researchers, professors and students at Chilean universities, as well as astronomers and engineers working at different astronomical observatories in the country. Since 2015, SOCHIAS has established a close partnership with the OPCC, the international observatories and the Chilean government, with the goal of fighting light pollution and protecting Chile's dark skies.

From the perspective of SOCHIAS, we see the problem of light pollution as one involving many diverse actors, who play different roles. These include, on one side, the astronomers, the environmentalists and the regulatory government agencies like the Ministry of Environment that have a vested interest in the fight against light pollution. On the other side, local communities, city governments, private industries and other national and regional government agencies related to energy and transportation, can all see different incentives to either produce more light pollution or reduce its levels. For example, a local city government might want to increase the level of lighting in its streets in an effort to reduce night-time crime in the area, or it might want to reduce its electric bill by adopting better illumination practices that reduce the amount of wasted energy spent on illuminating the sky. If the problem of light pollution is to be addressed effectively, we must involve all the different actors, understand their needs and priorities, and find common ground and synergies that reasonably protect their interests while also protecting our dark skies.

In this context, SOCHIAS is involved in several initiatives aimed at protecting the dark skies of northern Chile, which target different actors in the problem of light pollution. These initiatives fall under two main categories: education initiatives and coordination initiatives. Both are essential tools in our fight to protect the unique resource that our country has in its night sky.

Education Initiatives

Education starts from raising awareness about the existence of the problem of light pollution and the importance of the protection of dark skies. In terms of strategy, it is fundamental to understand that light pollution is a 'problem' that, at least in a country like Chile, is seldom acknowledged as such. Most people are either not aware of the existence of light pollution in the first place, or consider it to be

a minor issue that should be given low priority when it comes down to enacting and enforcing environmental protections. Therefore, the starting point for our work on light pollution education is the general public, and the most effective tool to reach this public is the press. In SOCHIAS, we try to maintain a constant presence of news related to the protection of dark skies in the national press. During 2015, we were mentioned approximately twelve times in the national newspapers, television and radio shows. We also encourage all the members of our society to mention the subject of light pollution whenever they are interviewed about their scientific discoveries. This requires maintaining good relations with scientific journalists at the main news outlets in the country and also being fully available whenever an opportunity to raise the subject in the media arises.

Beyond the general public, a fundamental part of our strategy is to target specific interest groups such as companies that fabricate, import and distribute hardware for public and industrial lighting. For this, in close collaboration with the OPCC, we organized two workshops during 2015 that directly targeted the lighting industry. In these workshops, one of which included a presentation by the Chilean Minister of the Environment, Pablo Badenier, and other government authorities, we exposed the subject of light pollution and the technical requirements that the law mandates for illumination products to be certified for installation in protected regions.

We are seeing a very positive response from these companies and have taken away an important lesson from this experience. Companies in the illumination business have an obvious interest in selling more of their products and therefore have traditionally been seen as adversaries of groups trying to decrease the levels of light pollution. As a result of the new relationship that has been established through these workshops, we are happy to see some companies embracing the fight against light pollution and viewing it as an opportunity to better market their products as environmentally friendly and up to standard with the strict requirements of the law. They also see the need for massive replacement of old non-compliant luminaires as a potential business opportunity. This is a textbook case of how communication, education and an interest in understanding the

necessities of all parties involved in a problem can turn potential adversaries into allies.

Similar experiences are regularly seen with companies in the mining sector, who because of worker safety concerns have a strong incentive for maintaining high levels of illumination in their facilities. The experience of the OPCC shows how receptive these companies are when, by means of meetings and other instances of communication, they realise that by minimal investments they can maintain the same levels of safety while dramatically reducing their impact on light pollution. In the case of the mining sector, there is a strong incentive to reduce light pollution in order to offset other environmental impacts associated with mining and to maintain a good image of social responsibility and sustainability.

Maybe the most important actors in the protection of our dark skies are local city or county governments. Ultimately, these are the decision makers responsible for approving and executing most of the outdoor illumination projects in a particular region. Given the administrative structure of Chile, 'municipalities' are the fundamental government unit that we must have on our side in the fight against light pollution. To ensure this, SOCHIAS and the OPCC have started a full scale training programme that we are carrying out in all municipalities of the three regions of the country currently under the protection of the new light emission regulation (the Decree N° 43 mentioned previously).

While municipalities have a lot of influence on the way illumination is organized and implemented in their jurisdictions, they very often lack the economic resources to update their illumination systems, and they depend a lot on the national and regional governments to provide the necessary funding for such projects. Also, municipalities are often not well informed about the requirements in terms of design and certification that lighting fixtures must fulfil, and this can translate into erroneous purchases and installations of non-compliant and pollutant illumination systems.

In order to alleviate these problems, during 2015 SOCHIAS and the OPCC secured a grant from the ESO-Chile Comité Mixto Fund, which is allowing us to allowing us to finance the above

mentioned training programme for municipal staff across the Antofagasta, Atacama and Coquimbo regions. The first of these training programmes took place in June of 2016 in the cities of Coquimbo and La Serena. This programme includes a general course on 'Sustainable Illumination Practices' given by an expert on illumination design, in addition to two other sessions. The first is aimed at understanding the negative impacts of light pollution and the second is aimed at understanding the technical requirements that Chilean law mandates in terms of characteristics and certifications for new luminaires.

A fundamental goal of these instances is to also include regional authorities and local representatives of the national government, as well as members of the local communities (for example, interested parties like astrotourism business owners). In this way, we can start creating a network of support for the municipalities that can help them push forward the necessary projects to improve their outdoor illumination systems.

Finally, at SOCHIAS we have the responsibility of involving our members in the fight against light pollution. Surprisingly, most professional astronomers in the world are not actively involved in the protection of dark skies. Since the ability to observe the universe from places like the Atacama Desert is a fundamental part of their job, one would expect a much higher level of involvement in dark skies protection than what is currently seen. The low involvement of professional astronomers is caused in part by the enormously competitive and absorbing nature of academic work and research, but we have come to realise that there is another important factor: lack of information and opportunities for involvement. Almost all astronomers are aware of the problem of light pollution but do not know what they can do about it on an individual level.

Therefore, as a society we are trying to actively involve the Chilean astronomical community in our dark sky protection initiatives. Since 2015, we have reserved a space in the SOCHIAS Annual Meeting (the most important and highly attended scientific conference on astronomy in Chile) to have talks and open discussion about light pollution. We educate our own astronomers on what tools and resources they have at their disposal to play a leading role in the fight



Figure 3: A stretch of the Panamerican Highway that crosses in front of the La Silla and Las Campanas observatories. The photo shows the highway before and after the installation of new illumination systems at intersections and toll plazas that are not compliant with the new regulatory standards for light pollution in the region. © Yuri Beletsky, Las Campanas Observatory.



against light pollution. This includes providing them with material that they can use in their classes and during outreach talks, showing them how to use the existing systems to denounce violations of the legislation that regulates light pollution in the country and offering them opportunities for involvement in the different initiatives we lead. It is fundamental for us to actively involve the members of our society in the initiatives and activities that we push forward.

Coordination

While education is a fundamental tool in ensuring the long-term support of all the different actors involved in light pollution, it is a slow process, and there are immediate threats to the quality of our night sky that must be addressed today by means of direct involvement. To this end, SOCHIAS and the OPCC are actively participating in an effort to coordinate several ongoing initiatives that can potentially have a strong impact on the preservation of Atacama's dark skies.

The first of these is a major national programme being pushed forward by the Ministry of Energy of Chile and the Chilean Agency for Energy Efficiency (AChEE in Spanish), which aims to replace 200,000 streetlights across the country for energy efficient LED lights during the next four years. The programme is expected to translate into a nationwide 20% decrease in power consumption associated with street lighting. Alarming, due to oversight and lack of coordination, the first incarnation of the programme did not consider the compliance with the recently published Decree N°43 of the Ministry of Environment, which updated the light pollution control norms by limiting the amount of blue emission that new LED based outdoor lighting can produce. A swift reaction by the part of the OPCC, SOCHIAS and the astronomical observatories, together with a positive response from the Ministry of Foreign Relations and the agencies pushing forward the programme, now ensures that all the new luminaires installed in protected regions as part of this initiative will be compliant with the new standards.

Another experience that shows the need for constant oversight and coordination is an illumination project undertaken by the Chilean Ministry of Public Works on a stretch of the Panamerican Highway that crosses right in front of the La Silla and Las Campanas observatories. As part of a major upgrade to the highway and in an effort to comply with current safety standards for road illumination, all new intersections and a newly installed toll plaza were fitted with extremely bright lighting. Sadly this project was approved and executed right when the updated light pollution regulations were coming out, so it did not have to comply with the 'full cut off' restrictions nor with the maximum illumination levels contemplated in the new legislation.

Figure 3 shows two photographs taken from Las Campanas Observatory, more than 1,000 m above the level of the highway, before and after this upgrade. It is impressive to see the large amounts of light being emitted towards the sky from the highway, which, as also seen in Figure 1, is a major source of light pollution in the area. Not only is this project polluting the dark skies of one of the finest astronomical sites in the world, it also implies a major waste of resources since the new regulation requires all these luminaires

to become compliant within a five year period, much shorter than the actual lifespan of these expensive systems.

A greater level of oversight and coordination could have prevented this problem. Thankfully, concerns raised by the OPCC after the project was executed have been positively received by the Ministry of Public Works. Today, there are plans for transforming this stretch of highway into a pilot project for testing Amber LED technology (one of the most astronomy-friendly types of LED illumination) on Chilean roads. If all goes well, such installations could become standard around major observatories in the country.

In summary, there is a lesson to be learned from these experiences. We cannot assume that private parties and government agencies will be aware of light pollution and will consider it as an important priority during their decision making processes. Therefore, constant vigilance by interested parties like observatories, scientific societies and environmental agencies is fundamental. In our experience, even minimal levels of communication, education and coordination can be successful at making people understand the problem of light pollution and see the overall benefits of avoiding it.

Protecting our Heritage and Final Conclusions

The final and perhaps most important initiative that we are currently involved in, concerning the protection of our night sky, is an effort to recognize the Outstanding Universal Value that these marvellous sites in the Atacama Desert have for all of humanity. These unique places, where the best astronomical observatories in the world reside, are our 'windows to the universe'. They are the places from which humanity learns about the cosmos, unveils its origins and comes to understand its place in the world. The Chilean government, in close collaboration with SOCHIAS and the OPCC, are seeking the protection and recognition of the cultural and natural value of these sites at both national and international levels.

For this purpose, as members of a specially appointed working group created by the Chilean Ministry of Foreign Relations, we are working on preparing an application to seek the recognition by the Chilean government of the main observatory sites in the Atacama

Desert as Protected Areas. The goal is for this protection at the national level to be followed up by an application for nomination to the UNESCO World Heritage List. Such recognitions would provide enormous leverage to institutions like SOHCIAS and the OPCC to push forward the protection of these sites against light pollution, but there is a more fundamental impact that we expect from such designations. The Protected Area and UNESCO World Heritage site status will help us find a place for the night sky in the minds of millions of Chileans. We hope that the citizens of our country will start considering the beautiful clear and dark sky of the Atacama Desert as a fundamental part of their heritage. Something they should be proud of and something that their country as a nation must preserve for all humanity to enjoy for centuries to come.

It is this concept of preserving a unique and beautiful natural laboratory, which provides us with a window to the universe and to ourselves that guides our efforts. Chile as a nation has the responsibility to protect what nature has endowed us with and it is exciting to see how governments, industries, scientists and the public are starting to share this realisation. There is still a lot of work to be done, but we are on the right path to ensure that future generations will have access to the same dark sky that we have inherited from our ancestors.

La protección de los cielos chilenos del norte, a través de reglamentos y del patrimonio

Pedro Sanhueza

Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile (OPCC), Chile

Resumen

Gracias a los cielos nocturnos limpios, estables y oscuros, y además a la calidad de la infraestructura, a la calificación de la mano de obra y al compromiso nacional hacia la protección de dichos cielos, ha podido desarrollarse en Chile una parte significativa de los proyectos astronómicos de vanguardia a nivel mundial. Dan cuenta de ello los observatorios de Cerro Tololo y Pachón, por parte de AURA; el observatorio de Las Campanas, de CARSO, y los observatorios de La Silla y Cerro Paranal, por parte de ESO, así como el inicio de la construcción de nuevos proyectos astronómicos de gran envergadura, como es el caso del proyecto del Gran Telescopio para Rastreo Sinóptico (LSST), el proyecto Gran Telescopio de Magallanes (GMT) y el Telescopio Europeo Extremadamente Grande (E-ELT, por sus siglas en inglés, los anteriores).

El compromiso del país con la protección del cielo nocturno de esta zona ha quedado reflejado en la promulgación de los decretos supremos de carácter ambiental: el D. S. N° 686/1998 MINECON, la llamada primera Norma Lumínica, que entró en vigencia el año 1999, y el D. S. N° 043/2012 MMA, que entró en vigencia el año 2013. Ambas normativas abarcan las regiones del norte del país: Antofagasta, Atacama y Coquimbo, y limitan la emisión de luz directa hacia el hemisferio superior en las fuentes de luz de exteriores. La segunda norma es más estricta, ya que pretende responder ante la amenaza de la irrupción de la tecnología de estado sólido (LED), reflejada principalmente en la masificación de los carteles publicitarios de alto brillo y gran formato (pantallas iluminadas) y en el uso masivo de fuentes de luz fría, con fuerte componente azul, que atentan contra el cielo nocturno de manera más agresiva que las fuentes llamadas cálidas. También limita de manera más estricta la emisión de luz al hemisferio superior, al pasar de 0.8, 1.8 e incluso 5% de Flujo Hemisférico Superior (dependiendo de la aplicación) a sólo 0.49 cd/1.000lm a 90°, lo que se corresponde con el criterio de cierre total (*full cut off*).

Complementariamente con esta puesta al día de la normativa de protección del cielo nocturno, el Gobierno de Chile, la comunidad científica y los observatorios astronómicos se encuentran abocados a ampliar las opciones de protección, explorando actualmente la de las llamadas Ventanas al Universo, un programa conjunto entre la UNESCO y la Unión Astronómica Internacional (UAI) que tiene como fin declarar Patrimonio de la Humanidad a los más relevantes sitios de observación astronómica del mundo, incluyendo los del norte de Chile.

Abstract

Thanks to its clear, stable and dark night skies, the quality of local infrastructure, a highly qualified workforce and a bold national commitment to protect the night sky, Chile has become one of the most significant centres for major astronomical observation projects in the world. The region is home to the following observatories: Cerro Tololo and Pachón (operated by AURA), Las Campanas (operated by CARSO) and La Silla and Cerro Paranal (operated by ESO). Moreover, there are several large-scale observatories under construction, including the Large Synoptic Survey Telescope (LSST), the Giant Magellan Telescope (GMT) and the European Extremely Large Telescope (E-ELT).

The country's commitment to protecting the quality of the night sky in this region can be seen by the enactment of environmental decrees; D. S. No. 686/1998 MINECON, which was originally called the Light Standard and took effect in 1999, and D. S. No. 043/2012 MMA, which took effect in 2013. These decrees serve to protect the skies of Antofagasta, Atacama and Coquimbo by limiting direct light emissions into the upper hemisphere from outdoor light sources. The second of the two decrees is stricter as it seeks to respond to the threat of the emergence of solid state technology (LED), used mostly in outdoor billboards, and the mass use of cold light sources with strong blue components, both of which impair the visibility of the night sky more aggressively than warmer light sources. This decree also strictly limits light emissions into the upper hemisphere from 0.8, 1.8 and even 5% of the upper hemispheric flux to only 0.49 cd/1.000l m at 90°, which meets the full cut off criterion.

In addition to these regulatory efforts to protect the night sky, the Government of Chile, the scientific community and astronomical observatories are currently examining protection options, including the Windows to the Universe initiative, a joint programme between UNESCO and the International Astronomical Union (IAU), whose aim is to increase representation of the most relevant sites of astronomical observation, including those in northern Chile, on the World Heritage List.

Resumen del D. S. N° 034/2012 MMA, Nueva Norma Lumínica

Reseña de la normativa anterior

El D. S. N° 034/2012 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de Chile reemplaza a la Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica, el D. S. N° 686/1998 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (MINECON). Este anterior decreto fijaba restricciones de emisión de luz hacia el hemisferio superior en iluminación pública de 0.8% de FHS (Flujo Hemisférico Superior) para lámparas de hasta 15.000 lúmenes por vatio, 1.8% de FHS para aquellas sobre 15.000 lúmenes por vatio. Ambas requerían una eficiencia mínima de 80 lúmenes por vatio. Para proyectores de área e iluminación ornamental bajo 9.000 lúmenes, el máximo FHS autorizado era de 5%. Sobre ese valor había que referirse a las mismas restricciones establecidas para iluminación pública. Para la publicidad había restricción horaria: 1:00 am, y para los recintos deportivos, las 2:00 am. Ambas podían continuar con su iluminación nocturna, en la medida que acreditaran cumplir con los FHS de 0.8 o 1.8% antes nombrados. Los cañones láser, de discotecas por ejemplo, no podían inclinarse sobre la horizontal.

Dificultades con la antigua norma

El D. S. N° 686/98 tenía el problema de no incluir las nuevas tecnologías en iluminación exterior: de estado sólido (LED), ni por ejemplo, las lámparas de inducción magnética. Tampoco limitaba convenientemente los flujos de luz en ángulos cercanos a la hori-

zontal, dado que en la época en que se promulgó no había todavía evidencia científica que demostrara el grave daño que provoca la dispersión atmosférica en esos ángulos. Dicha norma tampoco restringía de manera adecuada las emisiones espectrales más perjudiciales para la astronomía, el ambiente natural y la salud humana. El rango bajo 499 nm no estaba convenientemente restringido, el correspondiente al color azul.

Principales aspectos de la nueva norma

La nueva norma de emisión para la regulación de la contaminación lumínica fue promulgada el 17 de diciembre del 2012 y fija un periodo de un año para su plena entrada en vigencia.

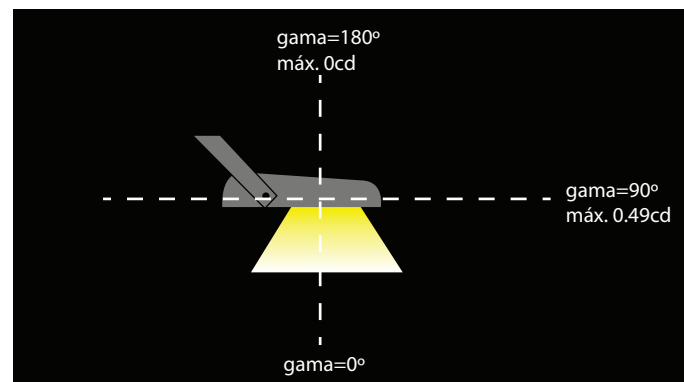


Figura 1. Forma correcta de emplazar una luminaria, en ángulo recto. © OPCC.

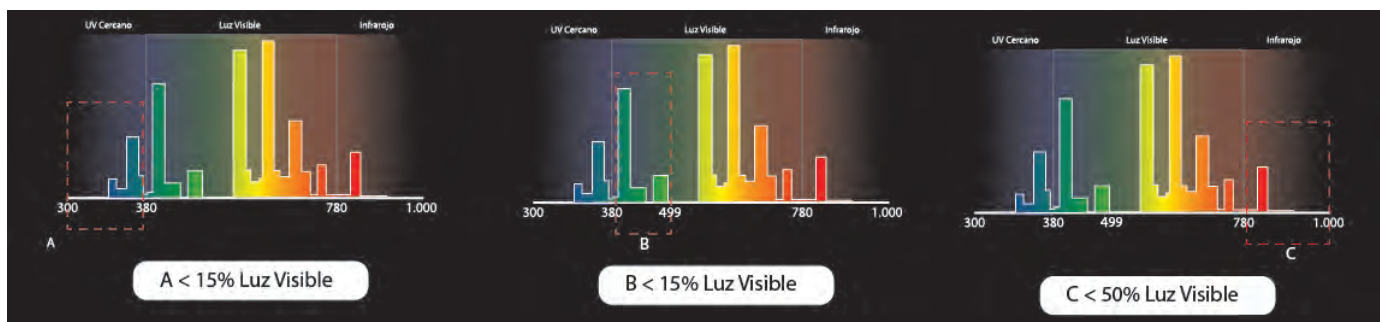


Figura 2. Límite espectral de las fuentes luminosas: restringiendo las emisiones de color azul, ultravioleta e infrarrojas. © OPCC.

Sus principales restricciones son las siguientes:

- La nueva norma establece el criterio de cierre total (*full cut off*) y lo estipula de la siguiente manera: se permite un máximo de 0,49 cd/Klumen a 90° por centro de luz. Esto, para casi todas las aplicaciones: alumbrado funcional, ambiental, industrial y ornamental.
- Fija un máximo de 20% sobre iluminación respecto a los valores establecidos en la normativa nacional (obtenidos de la CIE) en las aplicaciones asociadas a alumbrado funcional, ambiental, ornamental e industrial.
- Establece restricciones en tres sectores del espectro electromagnético en referencia al espectro de luz visible (entre 380 y 780 nm): no más de 15% de emisión entre 300 y 380 nm; no más de 15% para el rango comprendido entre 380 a 499 nm, y no más de 50% para el rango comprendido entre 781 y 1.000 nm. Todo esto referido respecto al rango visible. Con esto se busca limitar especialmente la emisión azul asociada a fuentes de luz blanca fría, por ser algunos LED, lámparas de inducción electromagnética y halógenos metálicos, dada su alta dispersión.
- Los carteles iluminados desde su interior (o retro iluminados), como pantallas de gran formato de plasma o LED, son autorizados con un máximo de 50 cd por m². Y deben ser emplazados en la vertical o en ángulos más cerrados. No se les aplica restricción espectral.
- La iluminación de recintos deportivos y recreacionales puede ser hecha con proyectores o luminarias con un máximo de 10 cd/Klumen a 90°, más la adición de una visera que corte el posible flujo lumínico superior. No se le aplica restricción de tipo espectral.
- Los láser y los llamados cañones de luz pueden ser usados, apuntando hasta un máximo de 70° gama.
- Los balizamientos a gran altura, como aquellos instalados en las torres de alta tensión, antenas o aerogeneradores, entre otros, deben ser iluminados con lámparas de color rojo, y para ello la norma fija las coordenadas cromáticas respectivas.
- La fiscalización está a cargo de la recientemente creada Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), institución que puede aplicar fuertes sanciones pecuniarias.
- La acreditación de laboratorios de fotometría y radiometría y la emisión de los respectivos informes técnicos que acreditan el cumplimiento normativo queda radicada en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), entidad que hasta ahora se encargaba también de la fiscalización.

Ya se encuentran aprobados los protocolos que permiten acreditar los laboratorios de fotometría y radiometría para la emisión de informes de cumplimiento normativo. Esto ha permitido la acreditación del Laboratorio de Fotometría de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y del Laboratorio Faraday S. A., primera empresa privada que realiza este tipo de ensayos en Chile.

El programa de Patrimonio Mundial y Astronomía

La propuesta consiste en la eventual nominación seriada de los observatorios astronómicos internacionales ubicados en el norte de Chile, junto con los de las Islas Canarias, España y de Hawái, Estados Unidos, a la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO.

La idea inicial de postular los sitios astronómicos surge de la 1ª Conferencia Starlight (Marin & Jafari, 2007) celebrada en la Isla de La Palma, Canarias, España, el año 2007, en cuya divulgación a nivel de Latinoamérica participa activamente la Oficina de Protección de la Calidad de Cielo del Norte de Chile (OPCC).

En octubre de 2008, la UNESCO firma el memorándum de entendimiento con la Unión Astronómica Internacional (UAI), como resultado de lo cual esta última se compromete a participar plenamente en el proceso de promoción de la iniciativa temática “Astronomía y Patrimonio Mundial” de la UNESCO, creada en el 2003.

Durante el año 2009, Año Internacional de la Astronomía, y en el contexto de la iniciativa “Astronomía y Patrimonio Mundial”,¹ el Grupo de Trabajo de la UAI genera el estudio temático “Astronomía y Patrimonio Mundial”. El documento presenta una visión global sobre el patrimonio astronómico y determina lo que constituye la “importancia universal excepcional para la humanidad” en relación con la astronomía y, también, identifica los problemas generales que pudieran surgir en la evaluación de los bienes culturales relacionados con la astronomía. El informe genera una serie de casos de estudio, entre los que destacan los denominados “Ventanas al Universo” (véase el capítulo 16), que integran observatorios de Chile, Canarias y Hawái. La selección de casos no implica que sean lugares candidatos a inscribirse en la lista, sino que se trata de ejemplos que eventualmente pueden ser propuestos por los Estados Parte al Comité del Patrimonio Mundial para su inclusión.

En el 2010, el Comité del Patrimonio Mundial en su 34ª reunión (Decisión 34 COM 5F.1, Brasilia, 2010) pidió al Centro del Patrimonio Mundial difundir entre los Estados Partes el estudio temático sobre el Patrimonio Astronómico mencionado, de conformidad con la Decisión 32 COM 10A (Quebec, 2008) y en el marco de la Estrategia de Implementación Integrada de la Iniciativa “Astronomía y Patrimonio Mundial”.

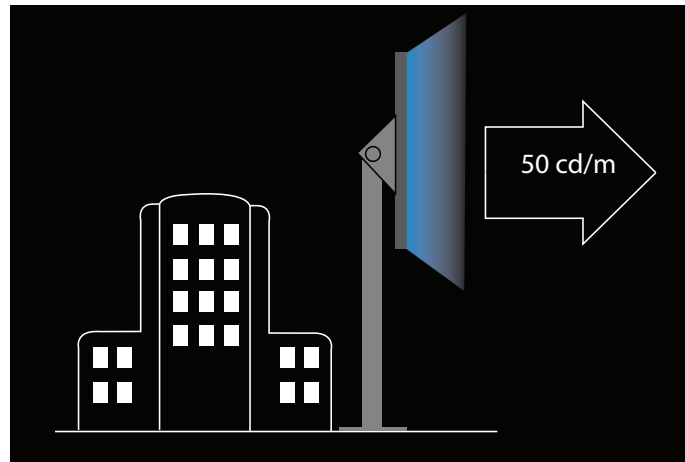


Figura 3. Un máximo de 50 cd/m² de emisión para los carteles luminosos. © OPCC.

El seminario realizado en Mt. Cook, Nueva Zelanda, el mes de junio del 2012, a continuación de la III Conferencia Starlight, se celebró precisamente para analizar a fondo estos casos particulares de estudio, denominados “Extended Case Studies” (Windows to the Universe), y para determinar con mayor precisión sus valores excepcionales y criterios de aplicación para su eventual nominación, siguiendo las directrices de las *Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial* (UNESCO / Centro del Patrimonio Mundial, 2008). Una vez analizados los casos con mayor detenimiento, el seminario finalizó con una resolución en la que se definió su presentación (y eventual aprobación) en la Asamblea General de la UAI, y su inclusión definitiva en el portal *Astronomía y Patrimonio Mundial*² (AWH, por sus siglas en inglés).

En agosto del año 2015, la UNESCO y la UAI organizaron la reunión “Progressing the UNESCO-IAU Initiative”, que tuvo lugar en Honolulu, Hawái, en donde se discutieron los avances de la iniciativa del Centro del Patrimonio Mundial, “Astronomía y Patrimonio”. También se realizó una sesión sobre la protección de los cielos oscuros, considerando el marco que brinda la Convención respectiva.

El hito más reciente en esta materia es la realización de la Reunión Internacional “Derecho a los Cielos Oscuros”, realizada en la Ciudad de México entre el 20 y el 22 de enero del 2016, organizada por

1. Fuente: http://www.starlight2007.net/index.php?option=com_content&view=article&id=202&Itemid=86&lang=es

2. Fuente: <http://www2.astronomicalheritage.net/index.php/thematic-study>

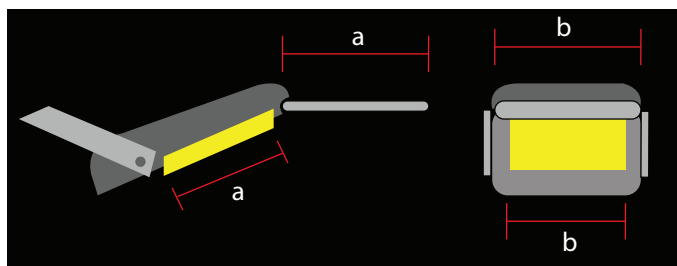


Figura 4 (Izquierda). Se autoriza un máximo de 10 candelas por kilo lúmen a 90° y la adición de una visera. © OPCC.

Figura 5 (Derecha). Uso de luz roja en balizamientos. © OPCC.

la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Oficina de la UNESCO en México. En esta ocasión se reunió un amplio grupo de expertos y se presentaron antecedentes para la posible postulación de sitios de México a la Lista de Patrimonio Mundial y para responder a los Objetivos para el Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, en especial a los objetivos 7, “Energía asequible y no contaminante”; 11 “Ciudades y comunidades sostenibles”, y 15, “Vidas de ecosistemas terrestres”.

Hoja de Ruta para la postulación a la Lista del Patrimonio Mundial

Existiendo la opción de que cada país pueda postular individualmente sus sitios, ha primado a nivel de expertos la idea de realizar una postulación conjunta o seriada. Para que los casos puedan incorporarse como una nominación seriada, hace falta que los Estados Partes los promuevan conjuntamente, siendo un requisito ineludible que los casos estén bien definidos y conceptualizados.

En términos generales, se deben realizar dos pasos importantes: a) cada Estado Parte debe incluir estos bienes o propiedades en su Lista Indicativa; b) hacer la propuesta de nominación seriada desde uno de los estados con la aceptación de los demás, que en este caso bien podría ser Chile, liderando el proceso.

Siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Comité del Patrimonio Mundial, la propuesta debe basarse en la elaboración y presentación de un *dossier* exhaustivo, más allá de la descripción de los casos de estudio referidos anteriormente. Dicho *dossier* será evaluado por los organismos asesores, como el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS, por sus siglas en inglés). Este *dossier* es mucho más amplio que el Estudio Temático mencionado y con

requerimientos muy específicos. Se recomienda recurrir a expertos que además tengan experiencia en propuestas de este tipo. Por experiencia, es posible afirmar que los puntos 5 y 6 llevarían como mínimo un tiempo de seis a siete meses para ser completados.

Una vez realizada esta evaluación, el/los Estados/s Parte/s someten la propuesta para su aprobación ante el Comité del Patrimonio Mundial que se celebra cada año.

Evidentemente las propuestas se deben hacer a nivel de los gobiernos y generalmente son coordinadas por los ministerios responsables y se gestionan ante las Delegaciones Permanentes de los gobiernos de la UNESCO en París. El gobierno de Chile ha estado ejerciendo un liderazgo en este proceso, en coordinación con otros países, desde la Dirección de Energía, Ciencia y Tecnología e Innovación (DECYTI).

Ahora bien, tanto la DECYTI, como el MMA y la OPCC se encuentran coordinados con otras entidades públicas relacionadas con esta materia. Por una parte, se encuentra el Honorable Consejo de Monumentos Nacionales (HCMN), entidad responsable en Chile de la Lista del Patrimonio Mundial, que ha incluido hasta el momento sólo sitios de valor cultural, paisajístico y ambiental. También tiene un rol relevante en este proceso la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos de Chile (DIBAM).

Referencias

Marin, C. & Jafari, J. (eds.) 2007. *Starlight: A Common Heritage*. Canarias, Starlight Initiative / Instituto de Astrofísica de Canarias.

UNESCO / Centro del Patrimonio Mundial. 2008. *Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial*. París, UNESCO. Disponible en: <http://whc.unesco.org/archive/opguide08-es.pdf>

Una política pública sobre astronomía y protección de los cielos oscuros: la experiencia de Chile

Gabriel Rodríguez García-Huidobro

Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile, Chile

Resumen

La presencia de la astronomía en Chile ha aumentado crecientemente en los últimos 50 años. Actualmente, 50% de la capacidad de observación óptica y radioastronómica del planeta se ubica en el norte de nuestro país. Considerando los grandes proyectos astronómicos recientemente inaugurados (ALMA), o los que se van a construir en los próximos 5 o 10 años (LSST, GMT, TAO, CCAT), Chile hospedará 75% de la capacidad de observación astronómica mundial a partir del 2022. En la última década, el país ha adquirido conciencia de esta situación excepcional y de sus consecuencias, en términos de oportunidades y responsabilidades.

Para los astrónomos resulta bastante obvio que la atmósfera seca y limpia, en combinación con sitios en altura, áreas de escasa población, cielos oscuros, y todo ello durante prácticamente todo el año, constituye un *mix* de condiciones ideales para observar el universo. Si agregamos a ello la ubicación en el hemisferio sur, donde la observación tanto de nuestra galaxia como del resto del universo es mejor y más fácil, las regiones en el norte de Chile son un lugar privilegiado para observaciones ópticas y radioastronómicas.

En ese sentido, Chile tiene un “recurso natural” —cielos limpios— no muy diferente de los recursos cupríferos, si lo miramos desde un punto de vista económico. Cielos limpios y oscuros son un recurso natural que podemos arrendar, obteniendo una retribución financiera, o “explotar”, extrayendo un valor agregado de ello. Durante la década de los sesenta, al comienzo de las actividades astronómicas en Chile, nuestro país facilitó la instalación de proyectos científicos en el Norte Chico y en el Desierto de Atacama. En ese sentido, y sin ser plenamente consciente de ello en un comienzo, el gobierno ha desarrollado una política para atraer proyectos de astronomía al país. Chile tiene la responsabilidad de preservar para la humanidad esos lugares excepcionales y estamos decididos a transformarnos en líderes en el desafío de proteger los “cielos oscuros”. Para ello, el gobierno ha definido una política basada en cuatro pilares, combinando los intereses nacionales con los del resto del mundo, para responder la pregunta: *¿cómo podemos crear relaciones virtuosas entre astronomía y desarrollo del país?*

El siguiente artículo explora esta cuestión con más detalle, usando ejemplos específicos de Chile.

Abstract

The presence of astronomy in Chile has grown over the last fifty years, so much so that currently nearly 50% of the world’s optical and radioastronomical observation capacity is located in the northern part of the country. By 2022, Chile will be host to 75% of the world’s astronomical observation capacity thanks to the recent inauguration of large-scale astronomy projects (ALMA) and those to be built in the next five to ten years (LSST, GMT, TAO, CCAT). In the last decade, the country has become aware of this exceptional situation and its implications in terms of opportunities and responsibilities.

Astronomers have long recognized that a dry and clear atmosphere, combined with high altitude sites, sparsely populated areas, dark skies and all of this practically year-round, constitute an ideal *mix* of conditions to observe the universe. When this is coupled with Chile's vantage point in the Southern Hemisphere, where observation of both our galaxy and the universe is better and easier, it becomes clear that the regions in northern Chile are privileged for optical and radioastronomical observation.

In this regard, Chile's clear skies are a natural resource with considerable economic potential, just like the copper wealth. Clear, dark skies are a natural resource that can be rented to interested parties for financial gain or can be 'exploited', thus extracting added value. In the 1960s, when astronomical activities in Chile began, the country facilitated the establishment of several scientific projects in the region of Norte Chico and the Atacama Desert. In this regard, and perhaps without initially fully understanding the implications, the government has developed a policy of attracting astronomy projects to the country. Chile is responsible for preserving these exceptional sites for humanity and is committed to being a leader in efforts to protect the dark skies. To this end, the government has established a policy based on four pillars, which combines national and international interests to respond to the question, *how can we create fruitful relationships between astronomy and national development?*

The following article will explore this question in more detail using specific examples from Chile.

Chile, plataforma astronómica mundial

En los últimos 50 años, de una forma poco perceptible para el ciudadano común, Chile ha pasado de ser un país donde la astronomía prácticamente no existía, a ser una plataforma astronómica de nivel mundial, albergando más del 40% de la capacidad de observación óptica y radioastronómica mundial.

Al día de hoy, Chile alberga en su territorio casi la totalidad de los mayores telescopios de los países europeos y probablemente el

50% de la capacidad de observación de países como Estados Unidos, Canadá y, crecientemente, Japón. Confirma esta tendencia la inauguración, el año 2013, del complejo radioastronómico Atacama Large Millimeter Array (ALMA), operado por un consorcio de universidades de América del Norte, Japón y gobiernos de Europa, en las cercanías de San Pedro de Atacama, a más de 5,000 m de altura.

A nivel de capital humano, Chile pasó de tener una comunidad de astrónomos que se podía contar con los dedos de la mano, a poco



Figura 1. Observatorio Radioastronómico Atacama Large Millimeter Array (ALMA), Consorcio europeo-norteamericano y japonés. Meseta de Chajnantor, San Pedro de Atacama, Chile. © Massimo Tarengi.

más de un centenar de doctores en astronomía y otro tanto estudiando para serlo. De una sola universidad que entregaba hace una década títulos de posgrado en astronomía, hoy tres universidades tienen programas de doctorado en esta disciplina.

Por lo anterior, Chile es hoy un polo científico en el cual se llevan a cabo, con importante participación de astrónomos chilenos, investigaciones, entre otros temas, sobre el origen y formación del universo, la identificación de “exoplanetas” donde podrían encontrarse vestigios de vida, las leyes de comportamiento del universo y su composición. En este último ámbito se ubican las investigaciones que llevaron a la confirmación de la hipótesis de la existencia de la materia y la energía oscuras, que dan cuenta de un altísimo porcentaje de lo que constituye el universo que habitamos. La investigación sobre la expansión acelerada del universo que ha permitido confirmar estas hipótesis fue distinguida con el Premio Nobel de Física 2011. En ésta tuvieron una decisiva participación investigadores chilenos trabajando desde instalaciones de observación astronómica en Chile, lo que confirma el creciente desarrollo de la investigación y su alto nivel.

Astronomía: un laboratorio natural de excelencia

La pregunta, sin embargo, que se esconde detrás de este explosivo desarrollo es ¿por qué en Chile?

La respuesta yace detrás de un concepto que ha sido acuñado recientemente y que es el de los *laboratorios naturales*. Entendemos por laboratorios naturales la conjunción de condiciones espaciales, climáticas, geográficas y de biodiversidad que generan oportunidades para el desarrollo de la ciencia en ciertos nichos. Afirmamos que Chile tiene laboratorios naturales privilegiados, lo cual, combinado con una comunidad científica pequeña, pero de alto nivel de excelencia, hace que nuestro país tenga una oportunidad a la mano para dar ese salto al desarrollo, en la medida que se inserte decididamente en las redes mundiales de I+D e identifique cuáles son los nichos claves.

Entre los laboratorios naturales más destacados en Chile, en torno a los cuales se ha desarrollado una comunidad científica nacional muy conectada a los centros mundiales, podemos mencionar los océanos (dadas las condiciones excepcionales que genera la corriente de Humboldt), las zonas áridas, la antártica, los volcanes y la geotermia, la actividad sísmica, las concentraciones de biodiversidad mediterránea y subantártica. Hay un laboratorio natural, sin embargo, que tiene características muy especiales: los cielos limpios y secos del norte de Chile entre los paralelos 21° y 32°. Estas condiciones permiten la realización de observaciones astronómicas únicas en el hemisferio sur. Es por esta razón que los grandes observatorios internacionales, sean estos nacionales o de





Figura 2. Efecto de la luminosidad urbana sobre el cielo del Desierto de Atacama, Chile. © Massimo Tarengi.

instituciones universitarias o de investigación, han resuelto construir sus centros de observación en nuestro país. En ese sentido, la calidad del capital humano avanzado en Chile, unido a estos laboratorios naturales aptos para la astronomía, son un polo de atracción para lo que hoy se da en llamar proyectos de *big science*.

Para los astrónomos es bastante obvio que una atmósfera limpia y seca, combinada con sitios de gran altitud, baja población y cielos oscuros durante prácticamente todas las noches del año, conforma un conjunto ideal de condiciones para observar el universo. A esto

podemos sumar que el hemisferio sur es donde el centro de nuestra galaxia y el resto del universo tienen mejores y más fáciles condiciones de observación. Todo esto hace que las regiones del norte de Chile sean un lugar privilegiado para la observación óptica y radioastronómica.

En ese sentido, si lo miramos desde un punto de vista económico, Chile tiene un “recurso natural” (los cielos oscuros) que no es diferente de otros recursos naturales, como podría ser el cobre. Los cielos limpios y oscuros son un recurso natural que podríamos rentar



Figura 3. Observatorio Paranal, Telescopio VLT y rayo láser para ajuste de observación, European Southern Observatory (ESO). Atacama, Chile. © Massimo Tarenghi.

y así conseguir una retribución financiera, o bien trabajar el desafío de extraer un valor añadido de ello.

Durante la década de los sesenta, se iniciaron en Chile las actividades astronómicas internacionales. Nuestro país ha facilitado la instalación de proyectos científicos en el “Norte Chico” (350 km al norte de Santiago) y en el Desierto de Atacama. En ese sentido, y a pesar de que inicialmente no se tenía plena conciencia de lo que ello implicaba, el gobierno fue desarrollando una “política” para atraer proyectos de astronomía a nuestro país y para proteger los cielos limpios y oscuros de este Laboratorio Natural Astronómico.

Los cielos oscuros y limpios, sin embargo, no estarán allí para siempre. Nuestro país, como conjunto, Gobierno, privados y ciudadanos tienen el deber de cuidar las condiciones que nos hacen ser un laboratorio natural casi único en este campo. Una de las mayores amenazas es la *contaminación lumínica*, entendida ésta como la luminosidad reflejada en la atmósfera, producto de las actividades humanas, sean estas ciudades y carreteras, o la explotación de yacimientos mineros e industriales (que además generan material particulado ambiental).

Una responsabilidad que tiene nuestro país, por tanto, es arbitrar las medidas para que las tecnologías de iluminación que se utilicen

cumplan sus objetivos, pero sin dañar este patrimonio natural que tenemos. El MMA, con el apoyo de la OPCC (www.opcc.cl), ha elaborado recientemente una normativa sobre tecnologías de iluminación y su certificación que justamente busca cumplir las condiciones descritas. El desafío a futuro es lograr que dicha normativa entre en operación y su aplicación sea supervisada adecuadamente. Pero junto a la coerción de la ley, debe generarse una educación del ciudadano y de las empresas para respetar estas normativas. Nuestras municipalidades y autoridades locales deben elegir adecuadamente los sistemas de iluminación que garanticen la seguridad y el esparcimiento ciudadano, pero que al mismo tiempo deben cumplir el objetivo de no derramar excesos de luminosidad sobre el espacio nocturno y menos aún en frecuencias que impiden la adecuada observación. Igual responsabilidad tienen las empresas productivas, en especial las mineras.

Al hacer esto, no sólo se está cuidando un patrimonio científico, sino también un patrimonio cultural que pertenece a todos los ciudadanos, como es el derecho a observar el firmamento con la menor interferencia posible. Al mismo tiempo, el cuidado de estas condiciones asegurará el desarrollo de nuestros cielos como un atractivo turístico internacional de primera calidad.

Los acuerdos internacionales

Toda esta actividad astronómica que podemos celebrar hoy es producto de diversos acuerdos realizados en el pasado que han permitido a nuestro país ser receptor de estas inversiones de alta tecnología y *big science*. El punto clave es que de acuerdo con la ley chilena toda instalación astronómica que se instala en el país debe entregar un 10% de su tiempo de observación a astrónomos chilenos o extranjeros residentes, vinculados a una institución académica chilena. Ésta es una oportunidad de enormes dimensiones para impulsar la ciencia astronómica en Chile. La disposición de ese 10% no es automática. Para utilizar tiempo, los astrónomos deben proponer proyectos que son evaluados por sus pares a nivel internacional, y si son de excelencia, se les asigna tiempo.

El mecanismo existente de acuerdos distingue entre instituciones académicas y países. En el primer caso, y de acuerdo con la ley 15.172 del 7 de marzo de 1963, se entregó a la Universidad de Chile



Figura 4. Observatorio El Tololo, operado por la Association for Universities for Research in Astronomy (AURA). La Serena, Chile. © Massimo Tarengi.

(en ese tiempo la única institución que poseía un Departamento de Astronomía) la potestad de ser la contraparte para negociar los acuerdos para instalarse en Chile. Éstos se refieren al tiempo de observación reservado, al acceso a las instalaciones y toda condición que permita apoyar el desarrollo de la astronomía local. El caso de los países de Europa es distinto. Las actividades de los centros astronómicos se coordinan a través de la European Southern Observatory (ESO) y, en ese caso, el Gobierno de Chile firmó un acuerdo con carácter de tratado con dichos países, aprobado por los respectivos parlamentos. Ése es el acuerdo para el establecimiento de un observatorio astronómico en Chile, publicado el 4 de abril de 1964.

Tanto en el caso de instituciones académicas instaladas en Chile como en el caso de la ESO, el Gobierno, a través de Cancillería, otorga a estas contrapartes el carácter de representantes diplomáticos con todos los privilegios y exenciones que ello implica.

De esta forma Chile, a través de Cancillería como contraparte oficial del Gobierno, entrega las facilidades para apoyar la labor de estas instituciones científicas y al mismo tiempo envía una clara señal para atraer nuevos proyectos internacionales a instalarse en Chile en el futuro. De allí que el Ministerio de Relaciones Exteriores ha ido tomando un rol no sólo de administrador de la relación, sino de



Figura 5. Observatorio Paranal, European Southern Observatory (ESO). Atacama, Chile. © Massimo Tarengi.

proactividad en la atracción de este tipo de laboratorios y observatorios para instalarse en nuestro país.

Los cuatro pilares de la política astronómica

Desde el año 2008, en que se asignó a la Dirección de Energía, Ciencia y Tecnología e Innovación de Cancillería la tarea de llevar el tema de la astronomía, se ha trabajado en el diseño e implementación de una “política astronómica”. Ésta tiene cuatro componentes o pilares.

La ciencia astronómica

Este componente es el más visible a la fecha, y se ha venido desarrollando en forma exponencialmente acelerada desde hace más de cincuenta años. Hoy día contamos en Chile con centros de dimensión mundial en astronomía entre los cuales destacan:

- El Observatorio Las Campanas de la Carnegie Astronomy, ubicado a 500 kms. al norte de Santiago.
- Los Observatorios La Silla (norte de La Serena) y Paranal (sur

de Antofagasta) de la European Southern Observatory (ESO)

- Los Telescopios ASTE y NANTEN 2 del Observatorio Nacional de Japón (NAOJ), ubicado en la planicie de Chajnantor, cerca de San Pedro de Atacama
- El complejo radioastronómico ALMA, también ubicado cerca de San Pedro y operado por un consorcio que incluye a USA / Canadá, ESO y Japón

Tal como se afirma más arriba, en cada uno de estos telescopios y Observatorios, los astrónomos nacionales tienen acceso al 10% del tiempo de observación. Además, algunos de estos proyectos, incluyeron en las negociaciones de su instalación, “fondos para el desarrollo” de la astronomía, la astroingeniería e instrumentación y la educación y extensión en Chile aportados por los consorcios internacionales. Es el caso de los fondos Gemini, ESO y ALMA, que suman una cifra cercana a los dos millones de dólares al año y que son administrados conjuntamente entre las contrapartes extranjeras y Chile, a través de RR.EE. y CONICYT.

Como es natural, en este componente científico, la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, CONICYT, cumple un rol fundamental como contraparte de estos proyectos. Parte del rol de CONICYT se desarrolla a través del Proyecto Parque Astronómico de Atacama, recientemente puesto en marcha y que busca recibir, en las cumbres del Cerro Chajnantor en San Pedro, a nuevos proyectos que busquen instalarse en nuestro país, ofreciendo facilidades de seguridad, logística y comunicaciones.

A lo anterior, se suma el apoyo permanente del Gobierno a estos grandes proyectos astronómicos, por la vía de asegurarles las mejores condiciones de operación vía la protección de la oscuridad de los cielos y la no interferencia con faenas mineras y geotérmicas, a través de la concesión de zonas de protección astronómicas, así como las facilidades para disponer de acceso a la energía y las comunicaciones viales y telemáticas, y la exención de impuestos para importar equipos y tecnologías para instalarse en Chile.

Este primer componente de la política astronómica ha permitido el desarrollo de una comunidad astronómica de excelencia y vínculos de cooperación entre los centros de investigación de Chile y centros de prestigio en todo el mundo. El resultado es la publicación de un creciente número de *papers* con participación de astrónomos nacionales en revistas científicas de primer nivel.

Así como hoy día en Chile está instalado más del 40% de los grandes telescopios del mundo, el panorama futuro en términos de instalación de megatelescopios en nuestro país muestra que hacia el año 2022, Chile podrá llegar a albergar el 70% de las capacidades de observación ópticas y radioastronómicas.

El desarrollo de la astroingeniería

Si hasta hace pocos años, el pilar científico era el principal, desde el año 2008, y a través de una política explícita se ha ido abriendo espacio al desarrollo de la astroingeniería y las tecnologías vinculadas a la astronomía.

Esta infraestructura científica disponible para los investigadores chilenos, constituye una tremenda oportunidad para el desarrollo

científico y tecnológico local. La Astronomía es una ciencia básica, y como tal sus proyectos de investigación son generalmente motivados por curiosidad científica. Cuando se empujan las fronteras del conocimiento y la tecnología suelen aparecer descubrimientos e invenciones de las formas más inesperadas.

Si pensamos que los observatorios que se instalan en Chile, no sólo están utilizando tecnologías avanzadas en óptica, mecánica, mecatrónica, robótica e informática, sino que están diseñando instrumentos que usan tecnologías que están aún en fase de prototipo, podemos imaginarnos que éste es un campo de enorme potencialidad para hacer avanzar la I+D en Chile, partiendo de la astronomía, pero expandiéndose a otros campos. Dado lo sofisticado de las observaciones y los equipamientos que se requieren para ella, en la historia se han producido notables avances a partir de su desarrollo y de la industria asociada (ej.: internet, óptica adaptativa, mecánica cuántica, los sensores CMOS de las cámaras digitales, etc.). Y no sólo la tecnología en sí, sino todo el capital humano asociado a ella, no sólo en su desarrollo, sino también en su operación. En ese sentido podemos hablar de que la presencia de estos Observatorios en Chile constituye una “escuela de ingeniería” de dimensiones colosales.

La creciente inversión en instalación de telescopios en el norte de nuestro país, puede convertirse en una oportunidad para la industria chilena, pues la Astronomía supone infraestructura y tecnología sofisticada. En los últimos cinco años, por ejemplo, el 25% de los contratos de construcción y mantención de la European Southern Observatory (ESO) han sido adjudicados a empresas chilenas. Es en la dimensión tecnológica que se requiere avanzar.

La política astronómica en este segundo campo es un área que cae en el ámbito de la Tecnología y la Innovación, que es responsabilidad del Ministerio de Economía y de la Corporación de Fomento (CORFO). En esa línea y desde hace un par de años, se creó en el Ministerio de Economía un agente coordinador (Industry Liaison Officer, siguiendo la terminología de ESO) que conecta las oportunidades que ofrecen la instalación y operación de nuevos telescopios con la industria nacional y los centros de investigación en ingeniería, electrónica y matemática de las Universidades.

Como parte de esta actividad, se han realizado tres talleres de Astroingeniería, promovidos desde Cancillería en 2012, y liderados por el Ministerio de Economía en 2013 y 2015. Igualmente, se encargó un primer estudio prospectivo de las oportunidades tecnológicas que puede traer la astronomía a Chile, estudio que ya cuenta con una segunda fase en desarrollo.

El objetivo final es no sólo dotar a las instalaciones astronómicas de profesiones y *expertise* chilena, sino especialmente utilizar este sector como un detonante de desarrollos innovadores en otros ámbitos del aparato productivo nacional.

Educación, ciencia y cultura

La actividad astronómica presente en Chile es también una oportunidad para desarrollar las vocaciones científicas entre los jóvenes, no sólo en el ámbito astronómico. Albergar este tipo de instalaciones en nuestro país es una oportunidad para impulsar la vocación por la investigación científica y así proponerse un crecimiento significativo de la comunidad científica nacional, condición *sine qua non* para que el país pueda dar un salto al desarrollo. Chile tiene investigadores de excelencia, pero su número no permite aún tener masa crítica para participar en muchos proyectos de *big science*.

En ese sentido se han promovido y apoyado a través de Municipalidades y Universidades la instalación de telescopios amateur y la realización de actividades de extensión. Éstas están permitiendo un acceso masivo a la experiencia astronómica, orientada no sólo a jóvenes, sino también a adultos, y con presencia en las regiones “no astronómicas”. Un importante resultado ya se ha alcanzado, por la existencia de centros de observación en regiones, apoyados por las Municipalidades, gobiernos regionales y también iniciativas privadas turísticas.

La astronomía es también un inspirador de cultura y un espacio para que la experiencia científica se expanda a una experiencia más amplia sobre el origen de nuestro universo, su futuro, su estructura y el lugar del ser humano en él. La riqueza filosófica, artística y cultural de este espacio tiene una potencialidad enorme, que estamos muy lejos aún de medir.



Figura 6. Fotografía de larga exposición de la Vía Láctea. Desierto de Atacama, Chile. © Massimo Tarenghi.

Imagen país y turismo

Éste es un ámbito nuevo en que se ha comenzado a trabajar con la Fundación Imagen de Chile y la Subsecretaría de Turismo. La Astronomía, en cada uno de sus tres pilares anteriores, debe incorporarse en forma decidida a la imagen de un Chile que busca dar el salto al desarrollo. Esta componente astronómica, unida a los otros laboratorios naturales mencionados que el país posee, potencia la dimensión de avance a una sociedad del conocimiento que es finalmente lo que caracteriza a un país desarrollado en el siglo XXI.

Al mismo tiempo, el enriquecimiento de esa imagen de Chile, está contribuyendo significativamente a que Chile sea un polo de atracción de turismo.

El astroturismo tiene la ventaja de poder mostrar un país que tiene raíces profundas en la historia de miles de años, y que al mismo tiempo se proyecta hacia el futuro. Su potencial está también en lo que son los nuevos nichos turísticos, como los intereses especiales, donde las instalaciones astronómicas científicas juegan un rol preponderante. Si junto a éstas hay un relato y un circuito que las conecte con las tradiciones originarias, se genera una oferta turística de gran profundidad y alcance. En esta dimensión países como México tienen mucho trabajo adelantado y mucho que aportar, por

la riqueza de sus tradiciones ancestrales y la profundidad de los estudios arqueológicos y de arqueoastronomía que han realizado. Actualmente se trabaja en un proyecto de cooperación Chile-México para potenciar esta colaboración.

Éste es un ámbito que se conecta muy directamente con la protección de los cielos mencionado más arriba y la preocupación por la contaminación lumínica.

El futuro: Chile plataforma astronómica mundial

La formulación y puesta en marcha de la política astronómica descrita más arriba ha sido central para facilitar e incentivar la instalación de nuevos grandes proyectos astronómicos en Chile que entrarán en operación entre 2015 y 2021. Entre éstos podemos destacar:

- El Telescopio Tokyo Atacama Observatory (TAO) de la Universidad de Tokyo, Japón, que se instalará en la cima del Cerro Chajnantor (www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp).
- El telescopio Large Synoptic Survey Telescope (LSST) de la National Science Foundation de Estados Unidos de América, cuya construcción se inició en Cerro Pachón en 2015 (www.lsst.org).
- El Giant Magellan Telescope (GMT), liderado por un consorcio de universidades de Estados Unidos e instituciones de Australia y Corea, que se instalará en el Observatorio Las Campanas (www.gmto.org).
- El Telescopio European Extremely Large Telescope (E-ELT) en Cerro Armazones, cerca de Paranal, en la zona de Antofagasta (www.eso.org).

Estos nuevos proyectos nos acercan a un horizonte en que Chile albergará cerca del 70% de las capacidades terrestres de observación ópticas y radioastronómicas del planeta hacia el año 2022.

A la lista anterior, podría sumarse la instalación en Chile del proyecto Thirty Meter Telescope (TMT), liderado por el California Institute of Technology (Caltech) y un conjunto de Universidades y Fundaciones de Estados Unidos, además de Japón, China e India. Si la instalación de tal proyecto se concreta en Chile, nuestro país llegaría a albergar cerca del 90% de las capacidades mundiales de observación.

En cada uno de estos proyectos el Gobierno, a través de sus diversas agencias (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile, Ministerio de Bienes Nacionales, Ministerio de Economía, Corporación de Fomento de la Producción, Intendencias regionales, etc.), bajo la coordinación de Cancillería, desde la Dirección de Energía, Ciencia y Tecnología e Innovación (DECYTI), ha participado en las negociaciones que han permitido asegurar su instalación en Chile.

Hoy se están explorando posibilidades de cooperación y eventualmente instalación de Centros de Observación astronómica en Chile con países como China, Rusia e India. Con China se está por iniciar a fines de 2016, un Centro Chile-China para la investigación Astronómica.

Las oportunidades que se abren son por lo tanto de enormes dimensiones y hacen de Chile una Plataforma Astronómica Mundial. Es por eso que el Gobierno ha dado su pleno respaldo a la comunidad astronómica chilena para que nuestro país sea sede de la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (UAI) a realizarse el año 2024.

Protegiendo los “cielos oscuros”: declaratoria de patrimonio de la humanidad

El gobierno está trabajando en diversas áreas para implementar la política astronómica descrita más arriba:

- El Ministerio de Relaciones Exteriores es el punto de contacto de los consorcios astronómicos internacionales que buscan un lugar en Chile.
- Los Observatorios Internacionales reciben “estatus diplomático”.
- Facilitación en el acceso a terrenos y concesiones a largo plazo para las instalaciones científicas.
- Declaración de “áreas científicas protegidas” y de las zonas de regulación para aislar los observatorios de las actividades industriales (especialmente minería geotérmica), incluyendo las interferencias electromagnéticas.
- Reglas claras y normas de iluminación pública y control en la aplicación de éstas.
- Regulaciones ambientales sobre la polución particulada.

Debido a que estamos convencidos de que los laboratorios naturales que tenemos no son realidades permanentes, la protección de cielos limpios y oscuros en el caso de la astronomía, es uno de los principales objetivos de esta política. Las medidas enumeradas más arriba son muy necesarias, pero no son suficientes.

Lo que se busca es que los observatorios astronómicos —que tienen un valor histórico como tal— puedan convertirse en Monumentos Nacionales en cada país y luego ser declarados Patrimonio Mundial. De este modo se podría contar con más y mejores alternativas para proteger los cielos y asegurar la continuidad de los proyectos de observación astronómica hacia el futuro. Lo que se busca es proteger estos lugares únicos para la observación, apoyados en los mecanismos de la UNESCO, basándose en el valor universal que estos tienen para la humanidad.

Este trabajo requiere de mucha colaboración entre los países que tienen condiciones de “laboratorios naturales” para la astronomía, como es el caso de Estados Unidos, México, Argentina, Chile, España y Sudáfrica. Lo que se requiere es intercambiar las experiencias que cada país obtendrá en este primer proceso de declaratoria de Monumento Nacional. Cada país avanzará en su declaratoria y obtendrá elementos que permitirían, en algún momento aunar criterios para postular con una o varias propuestas de declaratoria de Patrimonio Mundial (declaración serial).

Este proceso, para el caso de sitios astronómicos es un camino nuevo, por lo que la colaboración entre los países interesados y UNESCO es clave para definir en conjunto cuáles serían los criterios de dicha declaratoria. Demostrar que un sitio que se busca inscribir tiene un valor universal y de importancia para las próximas generaciones es una reflexión que requerirá de mucho estudio y creatividad.

Es un trabajo en que deberemos ser capaces de innovar con nuevas lecturas del concepto de Patrimonio Mundial.

Basados en la definición y objetivos de nuestra política astronómica y la oportunidad que UNESCO otorga, Chile ha tomado la decisión de avanzar en el proceso de declaratoria de Patrimonio Mundial para los sitios astronómicos que se encuentran en territorio nacional. Éste es un largo camino, pero al mismo tiempo, todo el proceso es una oportunidad para involucrar a la sociedad en esta búsqueda. La participación es un proceso bidireccional. Por un lado, es una responsabilidad del gobierno para desarrollar conciencia entre los ciudadanos sobre el valor que tenemos en nuestro país. Por otro lado, es una responsabilidad de los observatorios, de involucrarse en las realidades y las comunidades locales y para mostrar el valor social de lo que están haciendo. Educación y difusión son fundamentales para esto.

Conclusiones

La política astronómica de Chile, con sus cuatro pilares, es un ejemplo de cómo un gobierno puede apoyar la investigación astronómica internacional a través de la protección de los laboratorios naturales que tenemos, y al mismo tiempo identificar cómo la astronomía puede ser un factor clave en la consecución de los objetivos de desarrollo que tengan un claro y eficaz impacto social sobre los ciudadanos.

Más allá de todas las consideraciones y objetivos descritos, no debemos perder de vista que a fin de cuentas lo que se busca con una política de protección de los cielos oscuros es que los hombres y las mujeres del planeta podamos ejercer el derecho a observar el firmamento a simple vista. Éste es un derecho que con el tiempo y la modernización se ha ido perdiendo y que tenemos el deber de recuperar.

Controlling Light Pollution in the Area Close to the AURA Observatory – Communication, Development, Education and Outreach

Malcolm Smith

Cerro Tololo Inter-American Observatory, Chile

Abstract

A review is presented of the history of the efforts that have been made to control light pollution in Chile, in the area close to the AURA Observatory, which includes Cerro Tololo and Cerro Pachón. Steps have included (i) communication with government at national, regional and local level, (ii) development of environmental and astrotourism initiatives and (iii) education and outreach programmes in the surrounding communities.

The Milky Way could be seen easily from the central square of La Serena in 1969. By 1993, the view of most of the stars in the night sky had disappeared in the glow of artificial light. We attempted to speak to local authorities about this and the need for sodium lighting that is directed towards the ground, not the sky, but the initial reaction could be summarised by ‘listen gringo, if you want your fancy lights, go buy them yourself’. It was immediately clear that we had to educate and communicate. However, before being able to make progress in these areas, we needed first to understand what the local community wanted and why. In the mid 1990s, we set up the ‘RedLaSer’ schools network in the La Serena area, starting with a group of seven local schools. The teachers in non-science areas (for example, art, languages and dance) were initially apprehensive about getting involved but soon joined in and brought with them creative imagination. This network grew to well over a hundred schools within the first decade. Two portable planetariums were donated by the Gemini project (the Gemini South telescope is located on Cerro Pachón). Gemini also funded a ‘Star Teachers’ exchange programme with Hawaii (where Gemini North is located).

Communication with authorities started to turn around when it was discovered that a member of the Vicuña town council, Eduardo Valenzuela, was a member of the local amateur astronomy club. Vicuña is a fairly small town in the Elqui Valley; the valley extends from the Andes down to La Serena, passing close to the edge of the AURA property. To assist commercial development based on dark-sky-friendly lighting, an agreement was worked out where AURA donated an amateur telescope, equipped with a computer (unusual and definitely state-of-the-art at the time). For its part, the municipality widened and improved an access road to Cerro Mamalluca and erected a building financed by the Chilean Arts Council. AURA completed the package with a second-hand dome. With this public observatory and some improvements to municipal lighting, we were able to prove our assertion that people from light-polluted countries would pay thousands of dollars to spend time under the starlit skies of northern Chile. The tourist industry was quick to realise the opportunity and now the Coquimbo Region of Chile is officially marketed as ‘The Star Region’. Extension of our communication with local authorities was greatly helped by the sister-city programme that was set up between the city of La Serena and the island of Hawaii.

Resumen

Se ofrece un análisis de la crónica de los esfuerzos que se han realizado para controlar la contaminación lumínica en Chile, en el área próxima al Observatorio de AURA (siglas en inglés de la Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía), que comprende a

los cerros Tololo y Pachón. Las medidas han incluido: i) comunicación con el gobierno a nivel nacional, regional y local; ii) desarrollo de iniciativas medioambientales y de astroturismo, y iii) programas educativos y divulgativos en las comunidades circundantes.

La Vía Láctea podía verse fácilmente desde la plaza central de La Serena en 1969. Para 1993, la mayoría de las estrellas en el cielo nocturno habían desaparecido de la vista con el resplandor de la luz artificial. Intentamos hablar con las autoridades locales acerca de ello y de la necesidad de una iluminación con lámparas de sodio dirigida hacia el suelo, no al cielo, pero la reacción inicial puede resumirse con un “mira, gringo, si quieres tus sofisticadas luces, ve a comprarlas tú mismo”. Quedó inmediatamente claro que teníamos que instruir y comunicar. Sin embargo, antes de poder avanzar en estas áreas, primero teníamos que entender lo que la comunidad local quería y por qué lo quería. A mediados de los noventa, establecimos la red de escuelas RedLaSer en el área de La Serena. Comenzamos con un grupo de siete escuelas locales. Los maestros de áreas no científicas (por ejemplo, arte, lenguas y danza) vacilaron en un primer momento sobre su participación, pero pronto se unieron y aportaron su creatividad. Esta red creció hasta llegar a más de 100 escuelas en su primera década. Dos planetarios portátiles fueron donados por el proyecto Géminis (el telescopio Géminis Sur está ubicado en Cerro Pachón). Géminis financió también un programa de intercambio, Maestros de las Estrellas, con Hawái (donde se ubica Géminis Norte).

La comunicación con las autoridades comenzó a dar un vuelco cuando se descubrió que un miembro del gobierno municipal de Vicuña, Eduardo Valenzuela, era miembro del club local de aficionados a la astronomía. Vicuña es una ciudad relativamente pequeña del Valle de Elqui; el valle se extiende desde los Andes hasta La Serena, próximo al límite de la propiedad de AURA. Para ayudar a un desarrollo comercial basado en una iluminación respetuosa, se elaboró un acuerdo mediante el cual AURA donó un telescopio *amateur*, equipado con una computadora (algo inusual e indudablemente de vanguardia en aquel entonces). Por su parte, el municipio ensanchó y mejoró una carretera de acceso a Cerro Mamalluca y levantó un edificio financiado por el Consejo Nacional de la Cultura y las Artes de Chile. AURA completó el paquete con una cúpula de segunda mano. Con este observatorio público y algunas mejoras en iluminación municipal, fuimos capaces de demostrar nuestra afirmación de que personas procedentes de países con contaminación lumínica pagarían miles de dólares por pasar tiempo bajo los cielos estrellados del norte de Chile. La industria turística no tardó en darse cuenta de la oportunidad y ahora la Región de Coquimbo en Chile se vende oficialmente como “la Región de las Estrellas”. La ampliación de nuestra comunicación con las autoridades locales se vio enormemente facilitada por el programa de ciudades hermanas que fue establecido entre la ciudad de La Serena y la isla de Hawái.

Introduction

When invited to participate in the International Meeting: *The Right to Dark Skies*, organized by the UNESCO Office in Mexico from 20 to 22 January 2016, in Mexico City, Mexico, I was asked to concentrate on three areas that are now the chapter headings of this article. This article covers a personal view of the history of efforts in these three areas over the last couple of decades or so, directed at controlling light pollution of the skies over the AURA Observatory in northern Chile. AURA-O includes the sites of optical telescopes such as LSST, Gemini South, SOAR, the Blanco 4 m, as well as many more, smaller instruments.¹

Communication – Some Examples

This work in Chile was started by working with the International Dark-Sky Association (IDA). One of its two founding members was David Crawford, then an astronomer at the Kitt Peak National Observatory in Tucson, Arizona. David and the IDA were particularly helpful in these early years, and I served on its Board of Directors during the period 2000–2009. The IDA remains a major source of expert advice for us all.

Communication with Chilean Authorities – Local Level

As the new Director of the Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO) I contacted various local authorities in the

1. <http://www2.astronomicalheritage.net/index.php/show-entity?identity=59&idsubentity=005>

area around the AURA Observatory on my return to Chile in November 1993, immediately after having lived and worked in Hawaii as Director of the Joint Astronomy Centre for a period of nine years (Smith, 2001). The larger towns around CTIO showed very little interest in controlling their light pollution, partly because of the initial, large, capital cost of changing existing lighting and partly because of the emphasis on beach tourism, which was booming since substantially increased lighting had been installed along the local coastline. In La Serena, there was more interest in the sister-city proposal with the island of Hawaii² – which was set up a year later, in November 1994. This sister-city connection proved to be of particular value in maintaining communication with authorities in La Serena in the early years of the Gemini operation, given the location of the two Gemini telescopes, one on the Island of Hawaii, the other near La Serena.

As the first Director of the AURA Observatory in Chile (AURA-O – which includes Gemini South, SOAR and CTIO), I followed David Crawford's early advice from the IDA to 'make friends, not enemies' – and also sought to demonstrate the financial advantage to potential hosts of better lighting. Reaching out further inland from La Serena in the general direction of the AURA telescopes, the support received from the town of Vicuña was vital for making this possible, as was recently recognized (in my article in Spanish, Smith, 2014) in the latest volume of a series aimed at covering the cultural history of the town and the Elqui River Valley (edited by Hector Hernán Herrera, a former Mayor of Vicuña). Local people, particularly Eduardo Valenzuela and Sergio Pizarro, played key roles in obtaining municipal and community support in and around Vicuña for the construction of a community observatory on Cerro Mamalluca.³ As mentioned in my abstract, this enabled AURA-O to help the municipality demonstrate the social and economic advantages for the people of Vicuña. By the year 2003, over 14,000 foreign visitors were coming each year to the Mamalluca Observatory. The town's mayors soon began to appreciate the year-round employment and the increased variety of job opportunities generated by this new 'astrotourism'⁴ industry.

Moving out of Vicuña, we found particularly welcome local support from Cecilia Prats, the then Regional Director for SERNATUR,

Chile's National Tourism Agency. She was the first to show government support for marketing the region's dark sky as a year-round, (that is to say, non-seasonal) tourist attraction that would provide at least some more stable employment beyond the summer beach season. She was initially criticized for allowing herself to be distracted and for not focusing solely on maximizing beach tourism.

Another key player was the then Mayor of the mining town of Andacollo, Marcelina Cortés, whose crucial early support resulted in the Collowara Public Observatory, the second of the numerous public tourist observatories now present in the region.

Communication with Chilean Authorities – National Level

It was also clearly necessary to look for help at national level in Santiago. As the AURA representative in Chile receives some diplomatic recognition by the Chilean government, and thanks to the constant support of the Regional Intendente, Renán Fuentealba, I was able to secure an interview with Edgardo Boeninger, Minister, Secretary General of the government of President Aylwin (1990–1994). Mr Boeninger informed me that the Chilean Government was about to form a National Environmental Commission (CONAMA). He advised classifying Light Pollution as a *secondary* source of environmental pollution. He explained that, given the legislative and technical work involved in setting up CONAMA and its rules for controlling obvious, primary sources of pollution, only a few of these could be covered in the initial legislation.

Getting light pollution included at that primary level would, at best, take many years. However, the lawmakers were looking for a reasonably well-prepared example of secondary pollution that could be included immediately in the draft legislation for setting up CONAMA. Going down this path would greatly speed up the process for obtaining national-level legislative support.

AURA-O took Mr Boeninger's advice. Four years later, in 1998, the President of Chile, Eduardo Frei Ruiz Tagle, signed into law Supreme Decree No. 686/98, the first version of the 'norma lumínica' (lighting regulation), which came into effect in 1999. A year later, in 2000, an Office for the Protection of the Skies of Northern Chile (OPCC) was

2. <http://www.hawaiicounty.gov/my-la-serena/>

3. <http://www.astronomictourism.com/mamalluca-observatory.html>

4. <http://www.ctio.noao.edu/noao/content/light-pollution>



Figure 1. Quarter-hour exposures from the Cerro Tololo summit taken on 27 December 2008. a) View towards the celestial South Pole over the dome of the 4 m telescope. b) View towards the La Serena/Coquimbo conurbation, showing the light pollution. The same camera settings were used for each of these two images. © Malcolm Smith.

set up by a consortium of different organizations, i.e., CONAMA, AURA, CARSO (the Carnegie Southern Observatory) and ESO (the European Southern Observatory). AURA-O was particularly fortunate to have Adriana Hoffmann as the Executive Director of CONAMA from March 2000 to November 2001. As a schoolgirl, she had asked the Cerro Tololo Observatory if she could go into the grounds and make some observations and drawings of desert plants for a school project, and she was very well treated by the AURA people at that time. When I drove her up through the grounds of AURA-O towards Tololo, as if on cue we were escorted for about half a kilometre by a small flock of rare, colourful, burrowing parrots, birds that are in danger of extinction. I was able to explain to her in some detail how we were working with local naturalists in providing protection for the nests (the tunnels for which I was able to point out as we drove past, on our journey towards Cerro Tololo). We were delighted, of course, to hear her enthusiasm for having CONAMA be part of the new OPCC consortium.

Pedro Sanhueza, at that time the Regional Director of COREMA (a subunit of CONAMA), was hired soon afterwards to become the Director of the OPCC based in La Serena, the town that presented the greatest apparent threat to the long-term future of a major international observatory in Chile (Figure 1a, Figure 1b). Pedro's experience in handling wider environmental issues is

proving increasingly valuable as we gradually create more working relations with biologists in protecting Chile's natural, night-time environment. The astronomical message has begun to extend in Chile to the protection of the nocturnal, biological environment. Nocturnal outreach work is already underway in the Fray Jorge Biosphere Reserve, about 100 km south of La Serena, which was designated a UNESCO Man and the Biosphere Reserve in 1977 and was extended in 2012.⁵

Some lighting improvements have also been made at the nearest RAMSAR site (Wetlands of International Importance), at Laguna Conchalí (about 250 km south, by road from La Serena).

The OPCC maintains a webpage in Spanish.⁶ Pedro Sanhueza gave more details on this topic at the International Meeting: *The Right to Dark Skies*, particularly related to the sometimes difficult work leading up to the new lighting regulations, Supreme Decree No. 043 2012.

Most Chilean universities were slow to join the early stages of this effort, but now, particularly through the Chilean Astronomical Society, SOCHIAS, Chileans are themselves taking over much of the support effort with Chilean authorities at local and national level. Guillermo Blanc presented more detailed examples at the

5. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/latin-america-and-the-caribbean/chile/fray-jorge/>

6. <http://www.opcc.cl>

International Meeting: *The Right to Dark Skies*. With the arrival of larger and larger telescopes, Chile's presidents have visited the AURA Observatory. On each occasion, they have publicly shown their support for the Observatory and, most recently, for controlling light pollution. As far back as November 1967, Eduardo Frei Montalva participated in the inauguration of the 1.5 m telescope, at that time the largest on Cerro Tololo. This was just a few months after he and US President Johnson had announced the intention to build what then would become the largest optical telescope in the southern hemisphere (the Blanco 4 m telescope). President Lagos (2000–2006) and former President Patricio Aylwin (1990–1994) attended the opening ceremony of Gemini South on Cerro Pachón in January 2002. As one indicator of the progress of Chilean astronomy and the huge international investment in Chile by other countries, the primary mirror of the European Extremely Large Telescope (E-ELT) is now being manufactured for installation in the north of Chile, that is to say, about half a century after operation of the 1.5 m telescope began on Cerro Tololo. The E-ELT will eventually have 798 hexagonal segments of 1.45 m in diameter making it the largest optical telescope in the world. In April 2015, President Michelle Bachelet attended the ceremony for laying the foundation stone of the wide-field, LSST.⁷

Wider International Communication

The International Meeting: *The Right to Dark Skies* – and similar such events – provide the most obvious examples of international communication beyond Chile. Any list of key sources of such communication should also include the International Dark-Sky Association in Tucson, Arizona,⁸ and the Starlight Reserve initiative.⁹ For many years, these two organizations have provided key, internationally applicable guidelines and successful examples for us all.

The Astronomy and World Heritage workshop held in New Zealand in 2007 was particularly helpful in bringing astronomers who were learning how best to prepare Extended Case Studies, into more direct contact with the relevant experts, such as Michel Cotte from ICOMOS.¹⁰ Throughout this period, Clive Ruggles has led

the IAU side of what has resulted in the Portal to the Heritage of Astronomy.¹¹

In recent years, we have of course been able to work ever more closely with UNESCO, as different governments have started showing willingness to work with Chile on proposals for World Heritage sites related to astronomy. The IAU's recently formed Inter-Commission B7-C4 Working Group *Windows to the Universe: High-Mountain Observatories and other Astronomical Sites of the Late 20th and Early 21st Centuries*¹² is currently chaired by Chris Smith, the current AURA representative in Chile and AURA-O Director.

Development, Astrotourism, Further Environmental Initiatives and Medical Interest

In 2002, building on the success of the Mamalluca Observatory in Vicuña, the Municipality of Andacollo, led by its tenacious mayor, Marcelina Cortés and the National Tourism Service (SERNATUR), made a joint proposal for funding another public observatory.

In late June, 2004, President Lagos, himself a well-informed, amateur astronomer, opened the second tourist observatory, Collowara, just outside Andacollo. The Minister for Economic Affairs praised the advance in astrotourism as a development that was highly positive for the local economy. Mayor Marcelina Cortes, although very ill, lived just long enough to be able to attend the opening ceremony, as she had long wanted to do.

The founders of the Collowara Observatory had asked for advice regarding its potential location. Some colleagues and I from the AURA Observatory advised changing their early plans for an initial possible site, which was located by a main road into the town, out to a location further from town, on the peak of Cerro Churqui, (7 km from the town centre, still readily accessible to tourists, but where traffic and light pollution would both be significantly less). This overall planning approach (which requires balancing ease of accessibility for the tourists against reasonably dark skies) had earlier been suggested by me to (and followed by) the founders

7. <http://www.lsst.org/sites/default/files/first-stone/Bachelet.pdf>

8. <http://www.darksky.org>

9. <http://www.starlight2007.net/theinitiative.htm>

10. http://www.starlight2007.net/index.php?option=com_content&view=article&id=383%3AAstronomy-and-world-heritage-workshop&catid=61%3Aconferences-a-workshops&Itemid=79&lang=en

11. <http://www2.astronomicalheritage.net>

12. http://www.iau.org/science/scientific_bodies/working_groups/270/

of the Mamalluca Observatory. Nowadays, Hacienda los Andes, another of the public, tourist observatories close to AURA-O, has itself chosen a truly dark-sky location far from even the lighting of the Rio Hurtado village below Cerro Pachón. The Hacienda includes on-site overnight tourist accommodation as part of its dark-sky package. It is currently working with the Municipality of Río Hurtado to correct a few sources of non-compliant lighting in the village, which helps everyone.

Astronomers and biologists are gradually realizing the importance of working together (Smith, 2009). A key reference is the comprehensive book by Rich and Longcore (2006). In the next section, I have included a link¹³ to a video of a recent local outreach initiative (in Spanish) with biologists, with some support from AURA.

A further major ally, particularly relevant for guidance of future human development of lighting practice in cities, are medical researchers exploring the effects of lighting on human beings. For example, the New York Academy of Sciences held a well attended conference in June 2009 entitled *Circadian Disruption and Cancer – Making the Connection*. Blue light affects the production of melatonin in humans. The American Medical Association issued a 25-page report on the topic in 2012 (Blask et al., 2012).¹⁴

Quoting from part of the conclusion:

More direct health effects of nighttime lighting may be attributable to disruption of the sleepwake cycle and suppression of melatonin release. Even low intensity night-time light has the capacity of suppressing melatonin release. In various laboratory models of cancer, melatonin serves as a circulating anticancer signal and suppresses tumour growth. Limited epidemiological studies support the hypothesis that night-time lighting and/or repetitive disruption of circadian rhythms increases cancer risk

There remains significant work to be carried out before work in this important area becomes well-known in Chile.

Education and Outreach

In August 1999, CTIO effectively initiated the RedLaser schools network in La Serena, by inviting some local school children to view some sunspots through an (appropriately filtered) amateur telescope that was set up on the grounds of the Cerro Tololo Inter-American Observatory offices. Shortly afterwards, there were seven schools involved in the project, and whose teachers showed great ingenuity in astronomy outreach. An example was a dance teacher whose class started participating in RedLaser events. Within 3 years, the network had grown to over 100 schools and 6,500 pupils. Gemini provided a strong stimulus, including highly-motivating teacher exchanges with the Island of Hawaii, La Serena's sister-city.

By this time, March 2002, CTIO was ready to hold our first international conference on light pollution in Chile (Schwarz, 2003). Among the attendees was Pierantonio Cinzano, who made three presentations in the opening session, reaching out with images from the then recently-published First World Atlas of Artificial Night Sky Brightness (Cinzano et al., 2001), based on data taken from earth orbit. At that time, assuming average eye functionality, about one fifth of the world population, more than two thirds of the US population and more than one half of the EU population had already lost naked-eye visibility of the Milky Way. Modern estimates (Falchi et al., personal communication, December, 2015) show that large increases in these percentages have since occurred. An update on the International Astronomical Union's worldwide efforts towards controlling light pollution was also presented at that conference (Smith, 2003).

The International Dark Sky Places Programme was started by the IDA in 2001¹⁵ and has proved highly popular with places around the world who have made special efforts to control light pollution. Astrotourism is just one of the beneficiaries. Last year, at the Bishop Museum in Honolulu, just before the IAU General Assembly, the IDA announced the designation of AURA-O as the World's first Dark-Sky Sanctuary.¹⁶ It is encouraging to note the strong participation in recent years of the Chilean Astronomical Society (SOCHIAS) as reported at the International Meeting: *The Right to Dark Skies* by Guillermo Blanc. It is Chileans who will decide what to do to protect the skies over Chile and how to do it. At a local

13. <https://www.youtube.com/watch?v=o0ZZtr-RfEw>

14. <http://www.atmob.org/library/resources/AMA%20Health%20Effects%20Light%20at%20Night.pdf>

15. <http://darksky.org/idsp/>

16. <http://darksky.org/idsp/sanctuaries/>

level, AURA has begun sharing outreach work in our common area with CEAZA (the Centre for Advanced Studies in Arid Zones).

The recently published book on *Urban Lighting, Light Pollution and Society* (Meier et al., 2015) now gives important insight into how the desire for bright lights in cities has grown around the world since the late nineteenth century. For example, the chapter by Martin Morgan-Taylor includes a list of the effects of light pollution that may warrant regulation and then a discussion of each one. The list includes the effects on safety, human health, carbon emissions/ economic waste, ecology and the night sky.

References

- Blask, D., Brainard, G., Gibbons, R., Lockley, S., Stevens, R. and Motta, M. 2012. *Report 4 of the Council on Science and Public Health (A-12). Light Pollution: Adverse Health Effects of Nighttime Lighting*. Chicago, Ill., American Medical Association.
- Cinzano, P., Falchi, F. and Elvidge, C. D. 2001. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 328, pp. 689–707.
- Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K. and Pottharst, M. 2015. *Urban Lighting, Light Pollution and Society*. New York/London, Routledge.
- Rich, C. and Longcore, T. 2006. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington/Covelo, Spain/London, Island Press.
- Schwarz, H. E. 2003. *Light Pollution: The Global View. Astrophysics and Space Science Library*, Vol. 284. Dordrecht, Netherlands/Boston, Md./London, Kluwer Academic.
- Smith, M. G. 2001. Controlling Light Pollution in Chile: A Status Report. R. J. Cohen and W. T. Sullivan (eds), *Preserving the Astronomical Sky, Proceedings of IAU Symposium 196, held 12–16 July 1999, in Vienna, Austria*. San Francisco, Calif., Astronomical Society of the Pacific, p. 39.
- . 2003. *Light Pollution: The Global View. Astrophysics and Space Science Library*, Vol. 284. Dordrecht, Netherlands/Boston, Md./London, p. 123.
- . 2009. Time to turn off the lights. *Nature*, Vol. 457, No. 27, p. 27.
- . 2014. La mirada de un científico. Vicuña, Tololo, Mamalluca y Pachón. Una perspectiva personal. *Erque, Elqui, Vicuña - Anales de su Historia*, Vol. 2. Santiago, Centro de Estudios Bicentenario/ Santiago, pp. 614–618.

Carina (pink patch) and low clouds, facing south from the summit of Sierra Negra, México. © James Lowenthal.





Mexico

México

La Ley del Cielo

Fernando Avila Castro

Observatorio Astronómico Nacional, Instituto de Astronomía de la UNAM, Sede Ensenada, México

Resumen

El Observatorio Astronómico Nacional (OAN) se encuentra en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California. Este lugar ha sido considerado desde hace décadas como un sitio privilegiado para la investigación astronómica por sus condiciones geográficas y climáticas, además de una relativa lejanía de las grandes poblaciones de la región. Naturalmente, con el paso del tiempo, las poblaciones vecinas fueron creciendo, lo que puso en riesgo el recurso natural de cielo de San Pedro Mártir. Por ello, investigadores del Observatorio Astronómico Nacional buscaron un acercamiento con autoridades municipales y estatales de Baja California.

El primer resultado obtenido fue la aprobación, en el año 2006, del Reglamento Municipal para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el municipio de Ensenada, conocido popularmente como “La Ley del Cielo”. Tomando inspiración de legislaciones similares en otros observatorios, el reglamento regula el alumbrado público para que no emita luz por arriba del horizonte que pudiera afectar la calidad del cielo oscuro. En el año 2010, el tema de la contaminación lumínica fue incluido en la Ley Estatal de Protección al Ambiente, con la meta de que el resto de los municipios del Estado de Baja California tengan reglamentos similares al de Ensenada, siendo la ciudad de Mexicali la siguiente en aprobar un reglamento municipal.

Sin embargo, aun con los reglamentos en operación, el Observatorio enfrenta nuevas problemáticas debido a la proliferación del uso de LED en el alumbrado exterior y en pantallas publicitarias, y al potencial de minería a cielo abierto en la región. Es por ello que en los últimos años se ha trabajado para actualizar la reglamentación municipal y estatal, además de iniciar labores a nivel federal para declarar regiones cercanas a observatorios, sitios arqueológicos cuya historia está relacionada con la astronomía y reservas naturales como zonas de máxima protección de la contaminación lumínica.

Abstract

The National Astronomical Observatory (NAO) is located on the Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, Mexico. For decades now, this site has been considered a privileged space for astronomical research thanks to its geographic and climatic conditions, as well as its relative remoteness from the region's large town and cities. Naturally, over the course of time, the once small neighbouring communities have grown, posing a risk to the natural resource of the dark skies in San Pedro Mártir. Thus, researchers working at the NAO sought a rapprochement with the municipal and State authorities of Baja California.

This approach has resulted in the approval of the 2006 Ensenada Municipal Regulation to Control Light Pollution, popularly known as the ‘Law of the Sky.’ Taking inspiration from similar legislation in other observatories, this regulation serves to prevent public lighting emissions at an angle above the horizon where it can have a harmful effect on the quality of the night sky. In 2010, the question of light pollution was addressed in the State Environmental Protection Act, with the aim of encouraging other municipalities in the State of Baja California to adopt laws similar to the one in place in Ensenada. The city of Mexicali was the next to adopt such regulations.

Even with these rules in place, the NAO is now dealing with new problems due to the increased use of LED in outdoor lighting and billboards, as well as the development of open-pit mining in the region. This is why, in the last few years, stakeholders have worked to upgrade municipal and state regulations, in addition to starting work at a federal level to declare regions surrounding observatories, archaeological sites whose history is related to astronomy and nature reserves as areas of maximum protection from light pollution.



Figura 1. Telescopio de 2.1 m, con la Vía Láctea de verano al fondo. © Ilse Plauchu Frayn.



Figura 2. Telescopio de 1.5 metros, con la Vía Láctea de fondo. © Ilse Plauchu Frayn.

El Observatorio Astronómico Nacional

La historia del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) está ligada al crecimiento de la contaminación lumínica en México. El OAN nace en el Palacio Nacional de la Ciudad de México en 1867. Poco tiempo después, en la administración de Porfirio Díaz, se dio la orden de establecer un observatorio en el Castillo de Chapultepec, el cual fue terminado en el año de 1877 y puesto en marcha de manera oficial el 5 de mayo de 1878. Al ir creciendo la ciudad, la ubicación en Chapultepec dejó de ser óptima y se buscó un lugar en las orillas. Por ello, sólo 30 años después de haber llegado a Chapultepec, el OAN encontró un nuevo hogar en Tacubaya.

La Ciudad de México continuó su crecimiento, por lo que en 1951 la población de Tonantzintla, Puebla, recibió al OAN, aunque de manera temporal. Las ciudades de Puebla y Cholula, contiguas a Tonantzintla, se desarrollaron y con ellas la mancha luminosa que producían. Ante esta situación, investigadores del Instituto de Astronomía de la UNAM se dieron a la tarea de buscar el mejor lugar disponible en el país. En la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, encontraron un sitio con un cielo oscuro espectacular y condiciones climáticas estables. En 1971, inicia operaciones en este lugar el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir (OAN-SPM).

Las condiciones de la Sierra de San Pedro Mártir la colocan entre los cuatro mejores lugares del mundo para la observación astronómica óptica e infrarroja. Los otros tres lugares son la isla de Hawái, las Islas Canarias, frente a la costa de África, y las montañas de Chile.

A lo largo de la existencia del OAN-SPM, se han realizado diferentes estudios sobre el brillo del cielo del sitio. Uno de los más

FILTRO	VALOR (MAGNITUDES)
U	22.04 ± 0.07
B	22.56 ± 0.05
V	22.08 ± 0.04
R	21.17 ± 0.03
I	19.93 ± 0.03

Table 1. Los datos fueron obtenidos la noche del 18 de febrero de 2013.

recientes y completos es el realizado para el proyecto Cherenkov Telescope Array (Tovmassian, 2016). Los resultados se presentan en la página anterior.

Antecedentes de reglamentos y legislaciones

Las condiciones tan especiales que requieren los observatorios astronómicos, tales como un clima sin cambios bruscos y la gran altura de las montañas, pueden considerarse prácticamente estables. No así la existencia de un cielo oscuro libre de contaminación lumínica, el cual puede ser estropeado por la luz que escapa de las ciudades cercanas. Para contener lo más posible esta amenaza, los grandes observatorios han tenido acercamiento con sus gobiernos para implementar medidas legislativas que regulen el alumbrado público exterior. En Arizona, hogar del Kitt Peak National Observatory, podemos encontrar regulaciones en sus condados desde 1972 (Condado Pima, Tucson).

Las Islas Canarias hicieron lo propio en 1992 y Chile en 1999. Las medidas comunes consisten en no emitir luz por arriba del horizonte, usar luz ámbar en la medida de lo posible y restringir horarios en la iluminación ornamental.

La Ley del Cielo

Siguiendo el ejemplo de los observatorios ya mencionados, los investigadores del OAN en Baja California buscaron implementar también reglamentos que protegieran los magníficos cielos de San Pedro Mártir. Ello dio como resultado lo que popularmente se conoció como la “Ley del Cielo”.

Por su ubicación geográfica en la Península de Baja California, el OAN se encuentra entre los municipios de Ensenada y Mexicali, por lo que fueron los primeros con quienes se tuvo acercamiento.

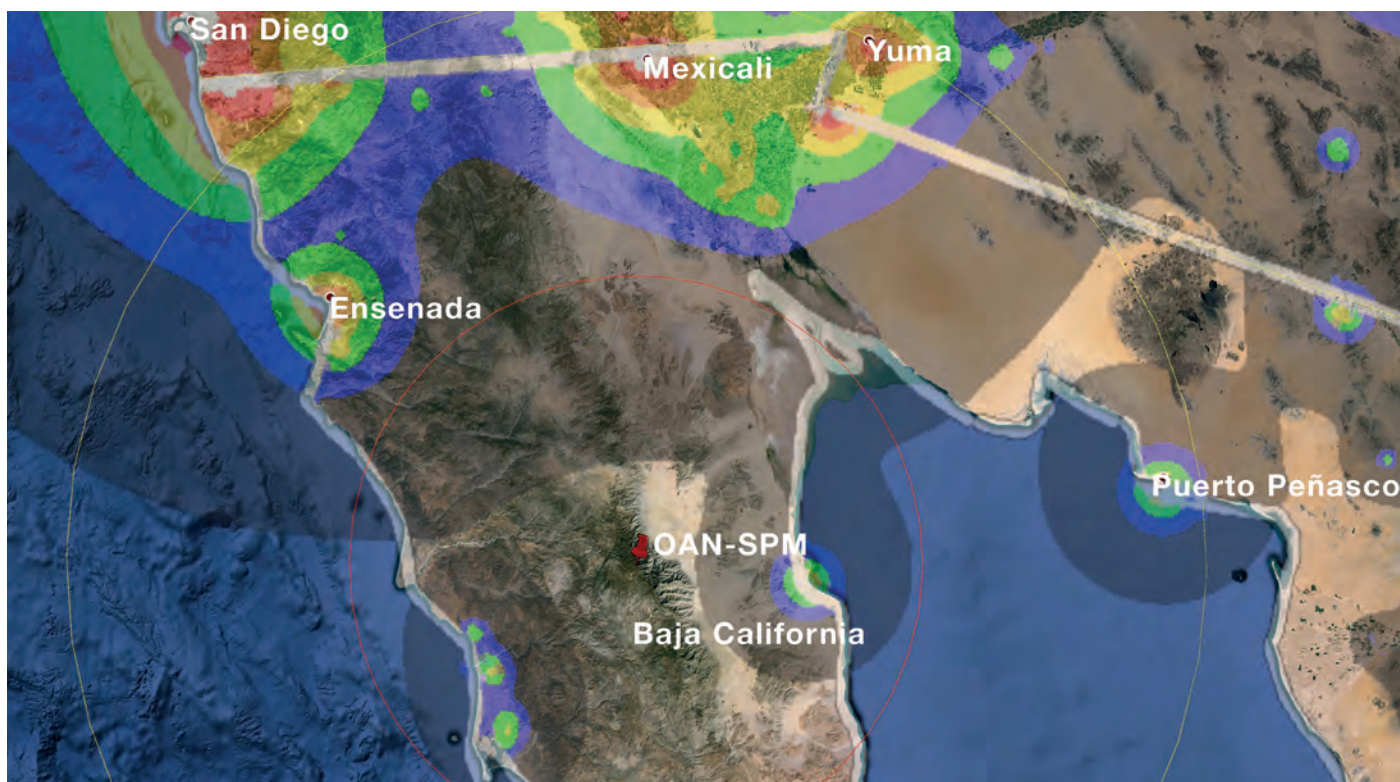


Figura 3. Ubicación del OAN-SPM. El círculo rojo tiene 100 km de radio y el amarillo 200. © Google Earth con datos del mapa de Google, INEGI, SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA y GEBCO, modificado por Fernando Avila Castro con datos de P. Cinzano *et al.*, 2000.

Ensenada

El Municipio de Ensenada tiene varias distinciones a nivel nacional, entre ellas ser el de mayor extensión territorial y tener a la mayor densidad de científicos per cápita, esto último por la presencia de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y una sede de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM; Nanociencias y Nanomateriales y Astronomía). La mayoría de la población en este municipio se encuentra en la zona urbana del puerto de Ensenada; le siguen las delegaciones de San Quintín, San Vicente y Colonet, en la zona sur del territorio.

Los investigadores Dr. David Hiriart, Dr. Manuel Alvarez, Dr. Mauricio Reyes y la Asistente Ejecutiva de jefatura del OAN, Lic. María Eugenia García, se reunieron en varias ocasiones con autoridades del XVIII Ayuntamiento de Ensenada (2003-2006), promoviendo medidas que protegieran las actividades del Observatorio. Sus visitas tuvieron éxito y el 10 de agosto de 2006, se aprobó en sesión de cabildo del XVIII Ayuntamiento de Ensenada el Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica del Municipio de Ensenada (XVIII Ayuntamiento de Ensenada, 2006). El reglamento tiene como finalidad proteger el recurso natural de cielo oscuro de San Pedro Mártir, pero al mismo tiempo auxiliar y apoyar al municipio en cumplir la necesidad de un alumbrado público de calidad y eficiente energéticamente.

Algo que distingue a este reglamento es la conformación de un Comité Técnico Asesor (CTA) que supervisará y mejorará lo estipulado en él. El CTA está integrado por el Secretario de Administración Urbana del Ayuntamiento, o quien él designe; el Regidor Coordinador de la Comisión de Desarrollo Urbano y Ecología del Ayuntamiento; el Director del Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP), y un representante nombrado por el Instituto de Astronomía de la UNAM. Además, se integra por un representante de la comunidad astronómica, de los centros de investigación y tecnología, de los organismos colegiados de ingeniería, de los organismos colegiados de arquitectura y de los medios de comunicación establecidos.

Los tres primeros integrantes del primer bloque son funcionarios de gobierno, que tienen facultades sobre la planeación y desarrollo del municipio. Es decir, son los responsables directos de los permisos de construcción, el crecimiento de la zona urbana y la administración y compra del equipo de alumbrado público.

El resto de los integrantes son miembros de la sociedad y tienen los conocimientos y experiencia para opinar y ofrecer recomendaciones específicas a los proyectos. Hay que resaltar la presencia de los medios de comunicación como una medida para transparentar las actividades del CTA y el gobierno en turno. El CTA debe de tener reuniones ordinarias al menos una vez cada trimestre, pero de ser necesario pueden realizarse reuniones extraordinarias tantas veces como sea necesario.

Aunque el reglamento fue aprobado en el año 2006, no fue sino hasta el 2008, en la siguiente administración (XIX Ayuntamiento), cuando se tomó la protesta de los primeros miembros del CTA. Estos miembros fueron: Arq. Cesar Cuevas Ceseña, Secretario de Administración Urbana; Arq. Catalina Talavera, Regidor Coordinador de la Comisión de Desarrollo Urbano y Ecología; Dr. Guillermo Arámburo, Director del IMIP; Dr. David Hiriart, representante el Instituto de Astronomía; Ing. José Luis Ochoa, representante de la comunidad astronómica; Dr. José Alberto Lopez, representante de los Centros de Investigación y Tecnología; Ing. Felipe David Ángeles, representante del Organismo Colegiado de Ingeniería; Arq. Víctor Hugo Sáenz, representante del Organismo Colegiado de Arquitectura, y Lic. Cesar Esparza, representante de los medios de comunicación.

Este histórico primer comité lamentablemente sólo pudo llevar a cabo dos reuniones, en las que los temas tratados tuvieron que ver con la evaluación de productos para alumbrado público de vialidades. Debido a una serie de circunstancias, principalmente el cambio en los puestos de gobierno cada tres años y la falta de continuidad que esto conlleva, no hubo más sesiones del Comité en los siguientes años.

Además, debido a que los astrónomos del OAN tenían sus propias actividades y proyectos de investigación, les resultaba complejo tener el tiempo y energía necesarios para reactivar con éxito el CTA. Por esta razón, en el año 2012 el Instituto de Astronomía de la UNAM decide crear una nueva plaza para ocupar la nueva Oficina de la Ley

del Cielo. Este nuevo puesto será el representante de la Jefatura del OAN en los temas relacionados con estas gestiones gubernamentales, además de dar asesoría sobre iluminación, realizar actividades de divulgación enfocadas en la prevención de la contaminación lumínica e implementar un programa de monitoreo del brillo del cielo.

En septiembre de 2012, inicia oficialmente actividades la Oficina de la Ley del Cielo, estando a cargo el M. C. Fernando Avila. Coincidentemente en estas fechas, el XX Ayuntamiento de Ensenada buscaba renovar el alumbrado público del municipio, el cual presentaba un gran rezago y no ofrecía una gran eficiencia energética. De un censo aproximado de 17 mil luminarias en la zona urbana, sólo funcionaba aproximadamente el 70% de ellas, siendo en su gran mayoría del tipo *semi cut off* (emisión ~5% por arriba del horizonte) y de vapor de sodio de alta presión. Una dificultad que enfrentaba el municipio era la falta de recursos económicos para llevar a cabo esta renovación, que además de tener como metas tener el 100% de cobertura, buscaba un ahorro económico por consumo de energía y dar una mejor respuesta de color para mejorar la percepción de seguridad pública.

Debido al potencial de impacto que tendría esta renovación, el OAN, a través de la Oficina de la Ley del Cielo, buscó acercamiento con la administración municipal. Lamentablemente la respuesta no fue favorable y el Ayuntamiento negó la información del proyecto al OAN bajo el argumento de que el CTA no estaba integrado. Pero no sólo el CTA fue excluido, también lo fueron la prensa y organismos comerciales de la entidad. Con el tiempo, los detalles de la renovación fueron saliendo al público a través de filtraciones del mismo gobierno y solicitudes formales de la información a través de organismos de transparencia. La renovación del alumbrado sería a través de un modelo de concesión del servicio a una empresa particular por 10 años, en un contrato poco ventajoso para el municipio. Sin embargo, para el OAN la peor noticia es que el equipo seleccionado era del tipo LED en color blanco frío, en configuración *semi cut off*. De realizarse la instalación de este equipo, las consecuencias serían catastróficas para el cielo oscuro de San Pedro Mártir. De última hora, literalmente, el contrato para otorgar la concesión no fue firmado por el Presidente Municipal, en gran medida debido a la presión de la sociedad, cámaras de comercio e industria y el Observatorio. Incluso, la Comisión Federal de Electricidad declaró

que de realizarse la concesión, suspendería los apoyos económicos al municipio (Morales, 2013).

Con la entrada del XXI Ayuntamiento, la situación cambió para bien. Una de las primeras acciones de la administración municipal fue acercarse con el OAN buscando información sobre las fallas del proyecto anterior de renovación de alumbrado público. Meses después, en junio de 2014 se tomó protesta a los nuevos integrantes del CTA. Desde el primer momento, el CTA inició labores para asesorar y hacer recomendaciones para la compra de mil luminarias, mientras inician los trabajos para un proyecto de instalación de 25 mil luminarias en todo el municipio. Esta renovación de alumbrado público inició en febrero de 2016 y el equipo seleccionado es del tipo LED *full cut off*. Por cuestiones económicas, se utilizarán inicialmente luminarias con luz blanca fría, ya que la diferencia de precio para 25 mil luminarias entre este tipo y el de luminarias con luz cálida era considerable.

En contraparte, se tuvieron grandes avances en la reglamentación. El CTA publicó una serie de lineamientos para regular de una manera más estricta los medios publicitarios luminosos como espectaculares, cajas de luz y pantallas electrónicas. El auge del LED no sólo se hizo notar en las luminarias, sino que hizo mucho más accesible la tecnología para publicidad, donde invariablemente se ha caído en un abuso. Los lineamientos, además de regular intensidad y horario de operación, buscan que estas pantallas sólo se instalen, de manera que no ofrezcan riesgos de seguridad en las vialidades (que no encandilen a los conductores de vehículos, por ejemplo).



Figura 4. Recorte de prensa. Diario *La Crónica*, 12 de octubre del 2013. © Diario *La Crónica*.

El mayor avance que se ha tenido con el reglamento se dio el 9 de diciembre del 2015, cuando el Cabildo aprobó de manera unánime la definición de una zona de máxima protección en el municipio para el Observatorio (Pringle, 2015). Esta zona está dentro de un radio de 100 km, teniendo como centro el OAN. Su finalidad consiste en que sólo se use luz cálida para alumbrado público en las poblaciones que queden dentro de esta área. Para compaginarlo con el proceso de renovación de alumbrado ya iniciado, se da un periodo transitorio de cinco años para que, ante el reemplazo natural por fallas del equipo, éste se haga hacia una luz cálida, disminuyendo los efectos de la dispersión de la luz azul en la atmósfera.

Mexicali

Debido a su ubicación geográfica, el siguiente municipio en adoptar la Ley del Cielo fue Mexicali, la capital del Estado. Un grupo de periodistas y entusiastas de la Sierra de San Pedro Mártir, quienes ya conocían al astrónomo Manuel Álvarez, sirvieron de enlace y apoyo para que en el año de 2011 se aprobara en el pleno de Cabildo del XX Ayuntamiento el Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica del Municipio de Mexicali (Mexicali, 2011). El contenido del Reglamento es muy similar al de Ensenada, siendo la mayor diferencia la ausencia de los medios de comunicación en el CTA.

Se estima que en todo el municipio de Mexicali existen aproximadamente 65 mil luminarias, casi todas de vapor de sodio de alta presión *semi cut off*. La mayoría de las luminarias están en la zona urbana, aunque un porcentaje considerable está en la zona del Valle, que tiene como actividad económica principal la agricultura. Mexicali presenta un reto particular en términos del control de la contaminación lumínica ya que se encuentra en los primeros lugares mundiales en contaminación por partículas suspendidas. Estas partículas suspendidas, en conjunto con la emisión de luz hacia arriba, crean un gran domo de luz que puede verse claramente desde el Observatorio aun cuando a 200 km de distancia en línea recta. Sin embargo, la delegación de San Felipe es la que más afecta al OAN por su cercanía, ya que está a sólo 60 km.

Lamentablemente, la administración del XXI Ayuntamiento no se ha mostrado sensible al problema de la contaminación lumínica. No

sólo no ha convocado al CTA como lo dicta el reglamento, sino que en un proyecto de cambio de 7,200 luminarias realizado en el año 2015, se presentaron varias irregularidades, las cuales fueron documentadas en la prensa local.

A pesar de estas dificultades, la presencia del OAN en Mexicali ha ido en aumento gracias al apoyo de la prensa y a diferentes actividades de divulgación como charlas y observaciones astronómicas públicas, las cuales han generado una respuesta favorable por la sociedad mexicalense. En especial, hay que resaltar la colaboración del Museo Sol del Niño, que no sólo ha servido como foro para charlas de astronomía y observaciones, sino que también en este lugar se encuentra instalado un sensor para medir el brillo del cielo (Sky Quality Meter, SQM).

Tijuana

Tijuana es la mayor zona urbana del estado y se considera como zona metropolitana junto con los municipios de Playas de Rosarito y Tecate. La situación de Tijuana es complicada, ya que en el XIX Ayuntamiento se buscó hacer una renovación del alumbrado público, la cual fue considerada un fracaso ya que el equipo que se instaló presentó fallas y la empresa responsable se deslindó, dejando al Ayuntamiento en una mala situación económica y sin dar la cobertura del servicio esperada.

Por ello, no hubo un acercamiento con este municipio sino hasta principios del año 2016. Para evitar que volviera a suceder y viendo los avances de Ensenada, funcionarios de esta administración se acercaron al CTA de ese otro municipio para solicitar apoyo en un proyecto de compra de luminarias, además de buscar aprobar un reglamento para el alumbrado público similar a los de Ensenada y Mexicali. Al momento de escribir este artículo, las reuniones para discutir el contenido del reglamento antes de su aprobación continúan.

Baja California

En la estructura política mexicana, los municipios cuentan con la autonomía para atender el funcionamiento de ciertos aspectos, como los servicios públicos. Sin embargo, para hacerlo deben de seguir ciertos lineamientos estatales y federales. A nivel estatal, en Baja California se encuentra la Ley de Protección al Ambiente para el Estado de Baja

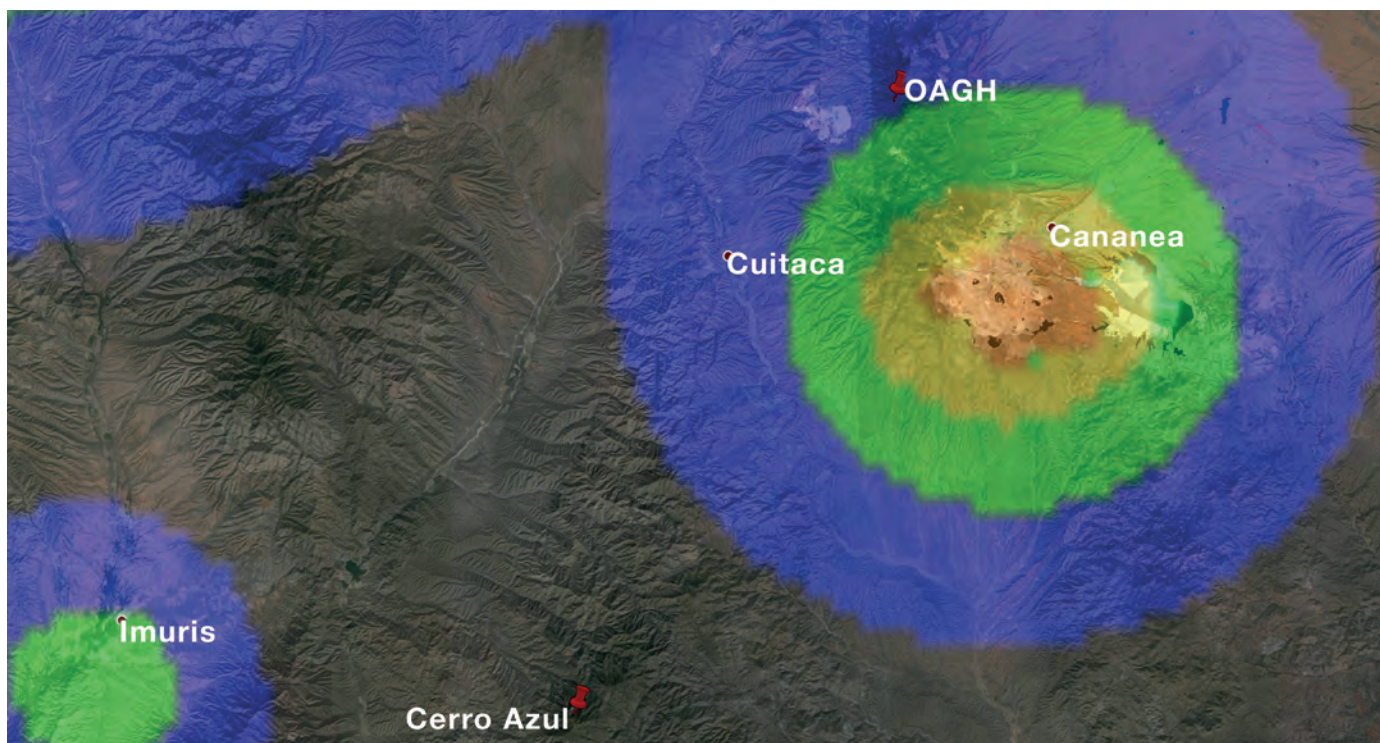


Figura 5. Ubicación del OAGH en Sonora. Es clara la mancha de luz que lo envuelve. © Google Earth con datos del mapa de Google, DigitalGlobe, Cnes/Spot Image y INEGI modificado por Fernando Avila Castro con datos de P. Cinzano *et al.*, 2000.

California, la cual fue modificada en enero de 2010 para incluir el tema de la contaminación lumínica (California, 2010).

Los puntos más importantes de esta modificación son para la promoción, ejecución y apoyos de programas para la prevención de la contaminación lumínica a los municipios.

Para complementar la ley de protección al ambiente, desde el 2015 iniciaron las reuniones de trabajo con el Congreso del Estado para actualizar la Ley Estatal de Desarrollo Urbano. Es en esta legislación que se tendrán más facultades para ordenar el ámbito de alumbrado público en los nuevos desarrollos habitacionales y comerciales. De esta manera se espera tener un control preventivo en el crecimiento de la contaminación lumínica del Estado.

En enero del 2015, el Congreso del Estado publicó un exhorto a los cinco municipios para regular las pantallas electrónicas publicitarias, las cuales han proliferado los últimos años. A la fecha, el único municipio que ha atendido este exhorto ha sido Ensenada. En Ensenada, el CTA publicó un dictamen que regula horarios de operación, intensidades máximas y áreas de instalación para estas pantallas, el cual fue aprobado por Cabildo ese mismo año.

Ámbito federal

A raíz de la Reunión Internacional “Derecho a los Cielos Oscuros” organizada del 20 al 22 de enero del 2016 por la Oficina en México de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la UNAM, la Academia Mexicana de Ciencias y el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, iniciaron los traba-



Figura 6. Taller de luminarias, Universidad Xochicalco Ensenada, enero de 2013. © Fernando Avila Castro.

jos con la Diputada Tania Arguijo para modificar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de modo que incluya el tema de la contaminación lumínica. Al momento de escribir este artículo, la iniciativa se encuentra terminada y lista para presentarse en el Congreso de la Unión.

De ser aprobada la iniciativa, servirá como referencia para actualizar normas y manuales técnicos relacionados con el alumbrado público, que permitan definir zonas de máxima protección para observatorios, parques nacionales y sitios arqueológicos relacionados con la astronomía.

Riesgos latentes

De manera similar a la situación de Chile, el mayor riesgo que se tiene en Baja California para el OAN es el desarrollo de la industria minera. El estado es rico en hierro, oro y cobre. Existen proyectos para explotarlos en zonas al sur del OAN, lo cual tendría serias consecuencias para él. En México ya existe un antecedente con el Observatorio Astrofísico Guillermo Haro (OAGH) en la ciudad de Cananea, Sonora.

Al pie de la montaña donde se encuentra este observatorio, hay una mina de cobre a cielo abierto. El polvo levantado por la extracción del mineral

queda suspendido en la atmósfera, reflejando la luz producida por la minera y la cercana zona urbana de Cananea. Esto tiene como consecuencia que la calidad de su cielo oscuro se encuentra reducida en comparación con la de otros observatorios de la región, como Kitt Peak y Mt. Graham, en el vecino Estado de Arizona.

Sirviendo esto como aprendizaje, esperamos que las reformas federales puedan detener el desarrollo minero en Baja California en un radio mínimo de 200 km del OAN.

Trabajo futuro

Sin duda alguna, la única acción que puede proteger los cielos oscuros a largo plazo es la educación. En este sentido, el OAN ha realizado una serie de actividades en el estado para difundir el tema de la contaminación lumínica. Además de los eventos tradicionales como la Noche de las Estrellas, se tienen programas constantes de divulgación y de apoyo a instituciones educativas, lo cual le ha dado una imagen favorable ante la sociedad. En específico, para el tema de la prevención de la contaminación lumínica, se han realizado colaboraciones con las escuelas de arquitectura y diseño del estado. La finalidad de estas actividades ha sido ir preparando y concientizando a los futuros profesionistas del Estado para que sus proyectos incorporen desde un inicio una iluminación exterior no contaminante. Un ejemplo fue el taller para los docentes de la Universidad Xochicalco de Ensenada, en el que usando materiales reciclables fabricaron cubiertas para los focos de exterior de las casas de interés social.

Con la Facultad de Arquitectura y Diseño (FAD) de la UABC, se realizó material de divulgación como carteles y calcomanías en la materia Diseño de Marca impartida por la M. A. V. Martha Alcaraz Flores.

Este material ha sido bien recibido por el público y se encuentra disponible en la página de la Ley del Cielo del Instituto de Astrofísica (leydelcielo.astrosen.unam.mx).

Como comentario final, la mayor enseñanza que hemos tenido en la protección del cielo oscuro tiene que ver con la respuesta de la gente que visita por primera vez San Pedro Mártir o ve por un

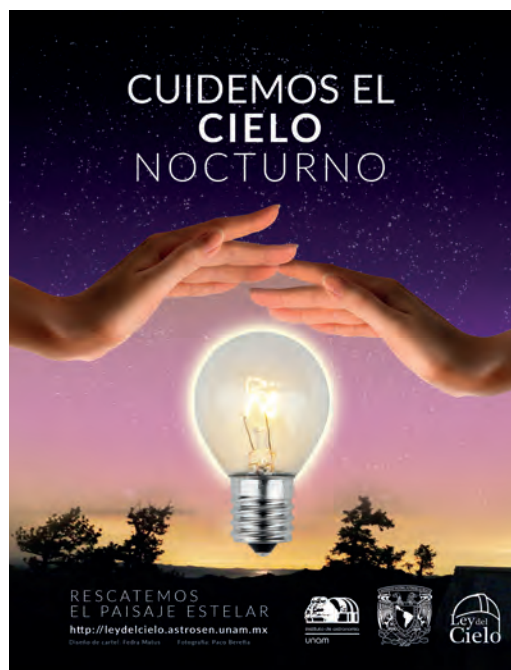


Figura 7. Carteles de divulgación.
© Fedra Matus, 2014.

telescopio en una plaza pública y observa la gran cantidad de estrellas que estaban veladas a sus ojos. A lo largo de estas visitas y observaciones hemos visto cómo una pregunta tímida de un niño era el prelude de una interminable serie de preguntas. La manera en que una pareja joven se tomaba de las manos mientras sus miradas se perdían en lo infinito de las estrellas. Hasta llegar a la persona mayor que toda su vida había trabajado en el campo y con plena convicción declaraba que él ya sabía el porqué del color de las estrellas, concluyendo que era lo mismo que pasaba al calentar el hierro para marcar al ganado.

Cada una de estas experiencias nos han enseñado que para proteger el cielo oscuro, el derecho de poder apreciarlo, debe de ser de todos. Será a través de la educación que la población tomará conciencia de su importancia. Así, cuando las personas se apropien de esta maravilla natural y lo atesoren, la Ley del Cielo dejará de ser un reglamento forzado y podrá convertirse en un Patrimonio de la Humanidad.

Referencias

- XVIII Ayuntamiento de Ensenada, 2006. *Periódico Oficial No. 40, Tomo CXIII*. Ensenada, s.n.
- California, C. d. E. d. B. 2010. *Periódico Oficial No.1, Tomo CXVII*. Mexicali, s.n.
- Mexicali, X. A. d. 2011. *Periódico Oficial No. 32, Tomo CXVIII*. Mexicali, s.n.
- Morales, A. 2013. Amaga Pelayo con no firmar contrato. *El Mexicano*, 5 de abril, p. 5A.
- P. Cinzano, *et al.* 2000, The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 318, pp. 641-657.
- Pringle, A. 2015. Observatorio, en vías de ser patrimonio de la humanidad. *El Mexicano*, 10 de diciembre, p. 7A.
- Tovmassian, G. E. 2016. Astroclimatic Characterization of Valle-citos: A Candidate Site for the Cherenkov Telescope Array at San Pedro Mártir. *Astronomical Society of the Pacific*, p. 16.

The night sky over Kitt Peak National Observatory, USA. © P. Marenfeld/NOAO/AURA/NSF.





United States of America

Estados Unidos de América

Protecting Arizona's Dark Skies

Lori E. Allen

National Optical Astronomy Observatory, USA

Abstract

The state of Arizona contains the highest concentration of research telescopes in the continental United States. Protecting the dark skies above these observatories is essential to the continued investment in major astronomical research initiatives by government agencies, academia and foundations. In this contribution, I describe how a coalition of Arizona observatories is working to protect our dark skies. Efforts date back to the creation of one of the first Outdoor Lighting Codes in the United States and continue today, including educational outreach, public policy engagement and sky brightness monitoring. I review some proven strategies, highlight some recent successes and look ahead to the imminent threat posed by widespread use of broad-spectrum LEDs.

Resumen

El Estado de Arizona alberga la mayor concentración de telescopios de investigación de los Estados Unidos. Proteger los cielos oscuros sobre estos observatorios resulta fundamental para la continua inversión en grandes iniciativas de investigación astronómica por parte de agencias gubernamentales, el mundo académico y fundaciones. En esta contribución, describo cómo una coalición de observatorios de Arizona está trabajando para proteger nuestros cielos oscuros. Estos esfuerzos se remontan a la creación de uno de los primeros códigos de iluminación al aire libre de los Estados Unidos y continúan al día de hoy, incluyendo divulgación educativa, implicación en políticas públicas y monitoreo del resplandor del cielo. Analizo algunas estrategias probadas, subrayo algunos éxitos recientes y miro adelante hacia la inminente amenaza planteada por el uso generalizado de LED de amplio espectro.

Introduction

Dark sky protection in Arizona began in 1958 when the city of Flagstaff adopted the world's first Outdoor Lighting Code (OLC) aimed at protecting dark skies. Specifically, it was developed to protect Lowell Observatory from advertising searchlights that swept the sky. In 1972, the city of Tucson adopted the second OLC in Arizona to protect Kitt Peak National Observatory, which lies 90 km to the west. The Tucson OLC required that lights be directed downwards. This requirement was soon implemented by Flagstaff to strengthen its own code. In subsequent years, both cities led the way in OLC updates, adopting low-pressure sodium lights and banning mercury vapour lights. Today, the codes in Flagstaff and Tucson serve as model codes for other cities and towns in Arizona. New threats (and opportunities for improved lighting) arise regularly, so dark sky advocates can never rest or become complacent and outdoor lighting codes must evolve.

Why Protect Arizona's Dark Skies?

Arizona's dark skies are a unique natural resource. They enable significant investment in the State's economy, a benefit that is quantifiable. Less measurable but more significant is the intangible value of dark skies to the experience and enjoyment of nature. It is often said that the sky belongs to everyone, and for good reason – when we look up at a dark night sky blanketed in stars, we contemplate and perhaps appreciate humanity's place in the vast cosmos.

Astronomy Assets in Arizona

Astronomy is a high-tech industry providing high-tech jobs. Astronomical research spawned the Arizona optics industry, a State-wide economic and innovation engine. Astronomical research attracts government, private and foundation funding to the State. Astronomy uses all of the sciences in the quest to better understand the universe and has great connective power with students and schools of all levels. It is a gateway to the STEM fields, which help build a technically advanced work force.

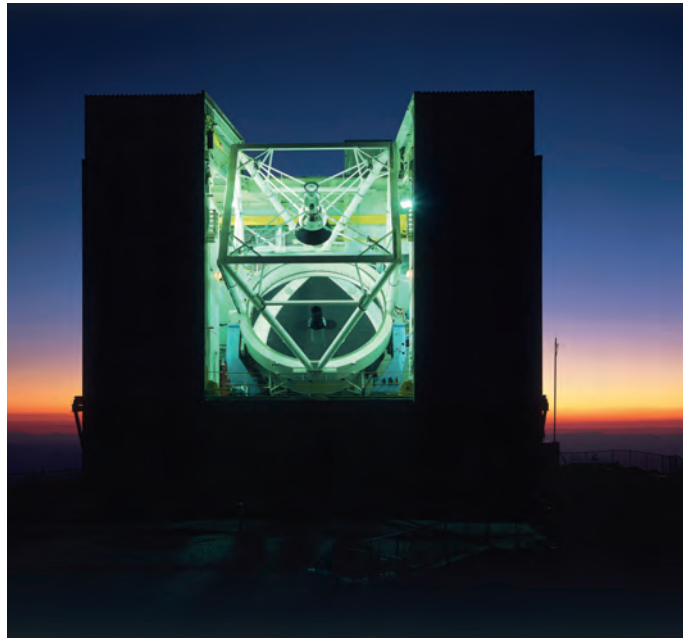
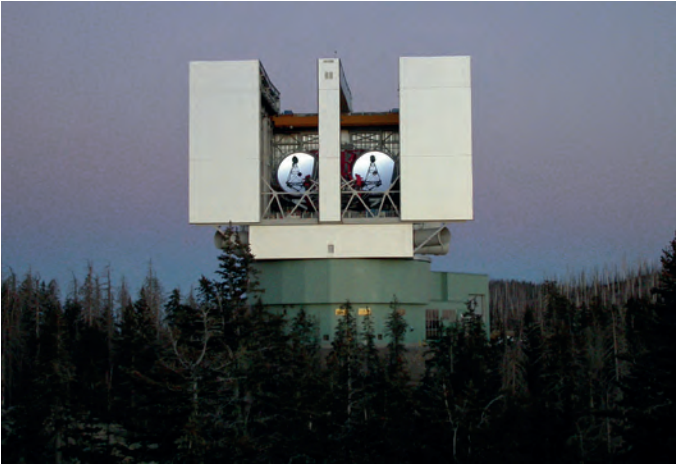


Figure 1. Some of the largest telescopes in Arizona. Clockwise from top left: the Large Binocular Telescope on Mount Graham, the Discovery Channel Telescope near Happy Jack, the MMT on Mount Hopkins and the Mayall Telescope on Kitt Peak. Image credits, clockwise from top left: © Courtesy NASA/JPL-Caltech, © Jeremy Perez, © MMT Observatory, © NOAO/AURA/NSF.

Astronomical research has a significant and ongoing economic impact on Arizona. A 2008 study by the University of Arizona's Eller College of Management found substantial capital investment in, and economic return from, astronomical research in Arizona (*Arizona Republic*, January 17, 2008):

- US\$250 million in annual economic activity
- US\$12 million in tax revenue
- US\$1.2 billion in capital investments
- Over 3,300 jobs

Arizona has the largest optical telescope in the world (the Large Binocular Telescope on Mount Graham), one of the largest collections of research telescopes (Kitt Peak National Observatory) and the first, third, fifth and sixth largest telescopes in the continental United States.

Recent investments in astronomical research in Arizona (since 2010) total about US\$500 million and include:

- US\$200 million Large Binocular Telescope on Mount Graham (completed in 2010).
- US\$53 million Discovery Channel Telescope near Happy Jack (completed in 2012, with anticipated lifetime economic impact of approximately US\$500 million).
- US\$100 million for new research projects funded by the National Science Foundation, the Department of Energy and NASA, based at Kitt Peak National Observatory.
- US\$125 million invested since 2012 in astronomical assets near Flagstaff in support of the mission of the Department of Defense.
- US\$43 million currently being invested by the US Navy for a telescope array near Flagstaff.

Large research telescopes have active and useful lifetimes of fifty to one hundred years, so the State's economy has much to lose if Arizona fails to protect its dark skies. To respond to this threat, astronomers have banded together to work collectively on dark sky protection. The Astronomy, Planetary and Space Sciences (APSS) collective consists of members from observatories, astronomy departments

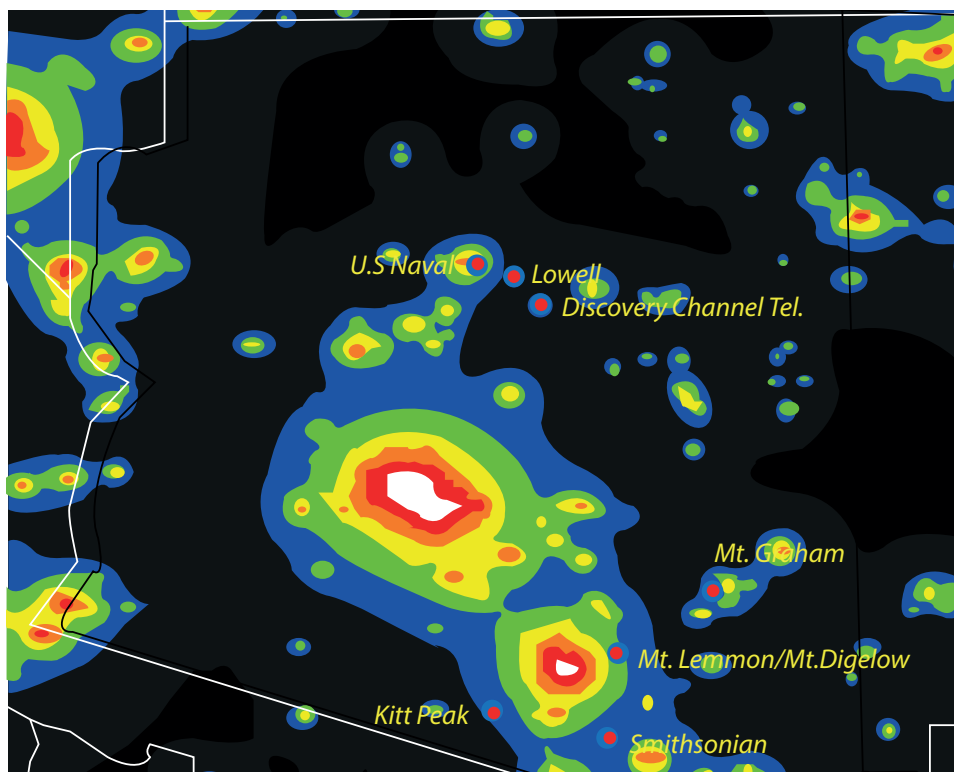
and space science institutes across the State. Our members pool resources and coordinate work with State, county and local officials to research, develop and update OLC, consult on various issues like variance applications to sign regulations and contest legislation that would compromise the skies over our observatories. Natural allies of the APSS include the International Dark-Sky Association (IDA), the Arizona Optics Industry Association (AOIA), the Arizona Tech Council, the National Park Service and environmental groups like the Sierra Club and Scenic Arizona.

The APSS Collaboration in Action

A major threat to dark skies in Arizona arose in 2012 when the State legislature passed a bill allowing electronic (LED) billboards on any state highway. Until that time, electronic billboards were illegal in Arizona, though a number of them existed in the Phoenix metropolitan area. The bill was opposed by astronomers and other dark sky advocates but was passed anyway.

The then Governor, Jan Brewer, recognizing the importance of dark skies to astronomy and of astronomy to Arizona, vetoed the bill, forcing the billboard industry to sit down with the astronomers and negotiate a compromise. The astronomers agreed to allow electronic billboards in the Phoenix metropolitan area, the most densely populated region of the State (and where advertising dollars could reach the most people). In return, the billboard industry agreed to a 75 mile protected radius around the existing observatories. Billboard industry representatives also agreed to a brightness limit of 300 nits (much higher than is needed) and an 11 p.m. curfew. Enforcement of both the brightness limit and the curfew is challenging, and it is not yet clear how to achieve this. In the political climate of the day, that was the best agreement that the astronomers could obtain. It is important to realize that before this legislation, electronic billboards were illegal throughout the whole of Arizona, so effectively all of the compromise was made by the dark sky advocates.

In 2016, a new bill was proposed in the Arizona State house that would extend the allowable region for electronic billboards to an approximately twenty thousand square mile sector in the north-west corner of the State. The bill passed in the house but was fortunately killed in committee in the Senate, due in part to APSS testimony. It



Light pollution as a percentage of natural sky brightness

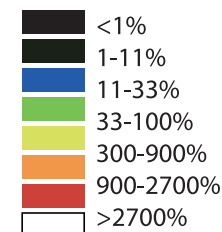


Figure 2. Contour plot of the night sky brightness due to artificial light, relative to the natural night-time sky brightness over Arizona. Locations of major observatories are labelled. Despite years-long efforts to enact effective lighting ordinances, all of the observatories are threatened by the ever-growing sky domes over major cities (Phoenix and Tucson are represented by the largest features). This threat could eventually lead to the loss of many millions of dollars in investments in astronomical research. © Lori Allen, adapted from World Atlas of the Artificial Night Sky Brightness (Cinzano et al., 2001).

seems likely that lawmakers' efforts to increase the allowable areas for LED billboards will continue in the future.

Imminent Threats

Not surprisingly, light-emitting diodes (LEDs) are showing up in all kinds of outdoor lighting applications. One of the biggest threats to Arizona's dark skies is the replacement of low-pressure sodium streetlights with 'white' light LEDs. These LEDs are strong emitters of blue light, peaking at a wavelength of around 450 to 460 nm. The spectral power distribution of these sources casts a light that is colder and harsher to most people, who usually prefer the warmer, redder lighting produced by incandescent bulbs and other light sources. But the real problem with these LEDs is their effect on dark skies. The blue light that dominates their spectrum is scattered more efficiently by the Earth's atmosphere than redder light, so if they are unshielded, they affect the sky brightness more adversely than other sources.

A common characterization of LEDs is their Correlated Colour Temperature (CCT), which is a measure of a light source's colour appearance and gives a general indication of the apparent 'warmth' or 'coolness' of the light emitted. Lamps with low CCT values (below 3000 K) provide 'warm' light, while lamps with high CCT values (more than 4000 K) provide light that appears 'cool'. In general, if LED lighting is required, the low CCT bulbs (2500 K or less) are far less harmful and should be preferred.

Developing Public Awareness: the Quality Lighting Teaching Kit

Poor quality lighting not only impedes astronomical research and our right to see a starry night sky, but also creates safety issues, affects human circadian sensitivities, disrupts ecosystems and wastes billions of dollars per year in energy consumption. It also leads to excess carbon emissions. How do you change the mindset of a society that is used to turning night into day? You educate the next

generation on quality lighting. The remainder of this contribution is devoted to a detailed description of the Quality Lighting Teaching Kit, developed by the Education and Public Outreach group at the National Optical Astronomy Observatory.

The United Nations' International Year of Light in 2015 (IYL2015) provided an opportunity to increase public awareness of dark skies preservation, quality lighting and energy conservation. The Education and Public Outreach (EPO) group at the US National Optical Astronomy Observatory (NOAO) received a grant through the International Astronomical Union (IAU) and the Optical Society of America (OSA) to produce official 'Quality Lighting Teaching Kits' (QLT Kits) for the IYL2015 cornerstone theme, 'Cosmic Light'. The QLT kit allows students to do creative problem solving using quality lighting.¹

The concepts and practices of quality lighting are explored through problem-based learning, hands-on/minds-on activities, as well as formative assessment probes. The six activities use quality lighting to solve realistic cases on how light pollution affects wildlife, the night sky, our eyes, energy consumption, safety and light trespass into buildings. The impact of the kits is amplified by providing professional development using a tutorial video created at the NOAO, and conducting question and answer sessions via Google Plus Hangouts for programme instructors. The Quality Lighting

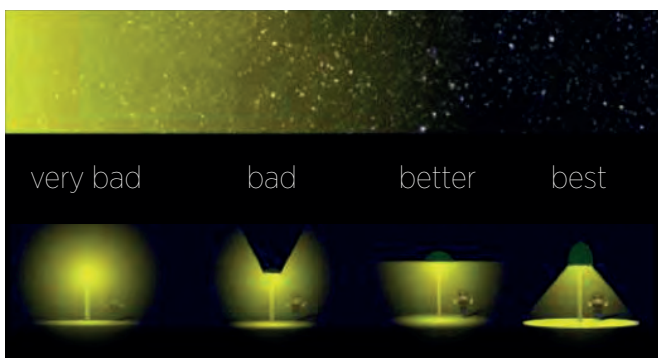


Figure 3. Outdoor Lighting Codes regulate not only the brightness, but also the directionality of light. Unshielded lights shine indiscriminately in all directions, polluting the sky and wasting energy. Shielded fixtures direct light where it is needed. © Canadian Space Agency.

Teaching Kit programme leverages the NOAO EPO group's work over the last ten years in lighting and optics education (for example, 'Hands on Optics', the International Year of Astronomy's 'Dark Skies Rangers', the IAU's 'Dark Skies Africa' and Arizona Public Services' 'Dark Skies Yuma' programmes).

The premise of the activities is that the instructor is the Mayor of a fictitious city in which the students live (inspired by the 'City of the Future' poster). The mayor has been receiving complaints from the city's citizens, which all have to do with the lights in the city (stated on the 'Issues' poster). The students have been assembled into six different task forces to determine the underlying problems expressed in each of the six complaint categories, as well as to come up with feasible solutions to solve those problems.

The students start by reading the information presented in their group's poster. The 'Now Try This!' section gives instructions for an experiment, game or activity to complete in order to gain a better understanding of the problems with which they are presented.

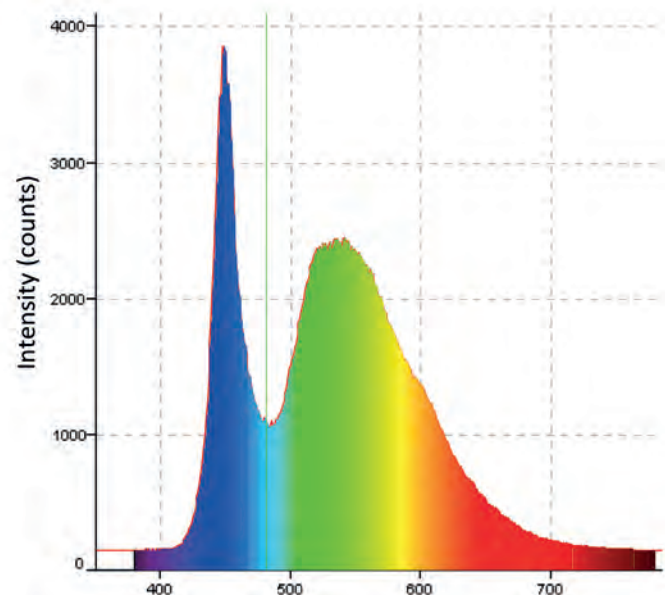


Figure 4. High Correlated Colour Temperature (CCT) white LEDs ('cool white') are extremely damaging to astronomy because of the large amount of blue light they emit. © Chris Monrad.

1. The QLT kit files can be found at www.noao.edu/education/qltkit.php

They use the materials in their box and/or envelope to complete the activity. Using what they know along with help from the 'Problem Solving' poster, the students brainstorm solutions to their problem. The students then carefully consider the implications (both positive and negative) of their solutions as well as any exceptions where their solutions may not work. They determine if there is any other information they need to better understand the problem or have better solutions. This may involve using the links provided or key ideas from the poster to research more about their problem. The six areas of investigation are: safety, light trespass, glare, sky glow, energy and wildlife. These are summarized below.

Safety

It is a common misconception that more light is safer; however, this is not always true. While light is needed to see and be safe at night, poorly designed or placed lights can actually be less safe! Poorly shielded or glaring lights provide areas for criminals to hide. Criminals also exploit the false sense of security people feel in overly lit areas. In this activity, students use a lux meter to measure light levels in different scenarios and compare their results to standardized lighting levels.

Glare

As one of the three main types of light pollution, glare is caused by an exposed light bulb. An overly bright bulb can severely impair vision, especially while driving at night. Glare is worse for older adults due to the presence of cataracts and loss of pupil control. In this activity, the students will explore glare from a 'headlight' (a cap-less Mini-Maglite) at night (in a darkened room). With an unshielded light source, students will see how glare affects their ability to read an eye chart 20 feet away. Layers of inkjet transparencies are used to simulate varying degrees of cataracts. The students then explore how cataracts (both with and without a glaring light) can impair their reading ability.

Light Trespass

The second type of light pollution is light trespass, where light goes where it is not needed, wanted or intended. The most common example of light trespass is a streetlight shining into a window at night. This can make sleeping (even with curtains or blinds) difficult. Light at night, in particular, can have negative health

effects on humans. Blue light (which is common in most LEDs) is especially bad because, at night, it inhibits the production of melatonin, which is a hormone that is only replenished when asleep in the dark. Other sources of blue light such as computer, tablet and cell phone screens before bed also inhibit melatonin production. In this activity, students have a 40:1 scale model of a street, complete with a house, a person, a streetlight with a slight drop-down Cobra lens and a globe light. The students try to recreate the problems voiced in the complaints poster and experiment with the position and angle of the light. Then they come up with solutions to keep the light task oriented and mitigate light trespass (for example, find ways to avoid shining light where it is not needed).

Sky Glow

As a third major type of light pollution, sky glow, is caused by unshielded lights from a city shining up into the sky. This light scatters off of dust, water, smog, clouds and other things in the atmosphere creating a light dome or glow over the city. Sky glow washes out the sky, obscuring the stars from view. As a result, most people in cities have never seen a dark night sky. In this activity, students use a star projector to determine how different kinds of lights, shields and distances affect the number of stars that can be seen.

Wildlife

The NOAA's EPO group's staff designed a game for students to explore how light pollution affects animals, specifically birds. In the game, they are Kirtland's Warblers that migrate from the Bahamas to the Great Lakes region of the United States and back again. Along the way, they fly through many major cities. Each year, up to 1 billion birds are killed by crashing into buildings in North America alone. Buildings lit at night cause many of these deaths and injuries. Birds and other animals use the Sun or stars to navigate and the lights can confuse the animals causing them to circle the building and collapse from exhaustion. A great 'Going Further' idea is to have students research and design a game centred on an animal that is threatened by light pollution where they live.

Energy

In this activity, students are given an aerial night-time view of Houston, Texas with a grid superimposed on top. There are three different colours of lights shown in the image: white (along the

highways), yellow (oil refineries) and brown (everywhere else). The students count the number of squares of each coloured light to determine how much energy, cost and carbon footprint this city uses and wastes each night. These values accurately reflect the actual energy usage of Houston as well as the type of lights currently used. Students may determine a more energy efficient scenario by changing the types and/or wattages of the lights or by implementing timers or motion sensors to limit the amount of time the lights are on.

Project Partners

The NOAO's partners are the International Commission on Illumination (CIE), the IDA, the International Society for Optics and Photonics (SPIE), the OSA and the International Astronomical Union Office of Astronomy for Development (OAD), with sponsorship from the IAU and the OSA. This is the first time that all six stakeholders have partnered in educating the public on the importance of quality lighting and its effects on society. The partners are now disseminating the kits to audiences worldwide.

Kit Distribution

By the end of February 2016, there have been 24 countries to which 75 kits have been sent on behalf of the OSA, the SPIE, the IDA and the IAU's OAD group. The CIE is deciding which of their national committees are getting 10 QLT Kits. Once those have been sent out, there will be a total of 85 kits distributed. The NOAO has the last 15 kits being considered for distribution.

The 24 countries are Argentina, Armenia, Belgium, Canada, Chile, China, Colombia, Denmark, Egypt, Ethiopia, India, Ireland, Italy, Jordan, Latvia, Nigeria, Portugal, Russia, Russian Federation of Tatarstan, Singapore, Tanzania, Thailand, USA and Zambia. The

countries were chosen on the basis of need, interest, dedication and commitment of the recipient or receiving organization.

Creating a Legacy

Our next steps for the programme include creating a video tutorial, having the kit recipients review it and holding Google Plus hangouts to answer questions about the activities and programme.

The funding from the IAU and the OSA made building the Quality Lighting Teaching Kit possible. It is the fourth kit developed by the NOAO's Education and Public Outreach group to address issues on and solutions to quality lighting and light pollution. We consider it the penultimate kit in this area. We hope the programme becomes a legacy of the IYL2015 and the IAU. To make that possible, our future steps would be to build another 100 kits, translate the kit's documents into Spanish (at least) and adjust aspects of the kit's activities to better suit the areas to which the kits will be sent. The key to accomplishing these goals is to secure the necessary funding. Based on the responses to the testing and use of the kit thus far, the kit will be wildly successful in its popularity and effectiveness and will be applicable to a wide variety of audiences and ages. It is our hope that we will be able to sustain the programme in the future.

In Conclusion

Dark sky protection is crucial to the future of astronomical research in Arizona and to the State's economy, due to the significant monetary contribution it represents. Dark skies enrich our lives by revealing the wonder and beauty of the universe, and stimulate our interest in the natural world. We can all take steps to help protect this precious resource, through education, activism and political and civic engagement.

Milky Way over the Dolomites, Italy. © Tommaso Meneghin.





Italy

Italia

The Defence of the Night in Italy

Fabio Falchi¹ & Luca Zaggia²

¹ *Cielobuio, Italy*

² *Venetostellato, Italy*

Abstract

Despite its centuries-old astronomical tradition and heritage, Italy is one of the most light polluted countries in the world. Thanks to the pressure of amateur and professional astronomers, since 1997 regional regulations have been progressively implemented across most of the territory. Yet, Italy still suffers from extreme light pollution, particularly in more densely populated areas. Sky brightness measurements over the last decade show that, at least, the very steep yearly increase of the past has recently been halted as a result of the reduction of upward light emissions, as prescribed by most of the regulations. However, this result is not good enough, and nor it is one that can last as the installed luminaries and total luminous flux are still increasing. Just like other forms of pollution, the aim is to significantly reduce emissions (direct upward and reflected light).

Further to imposing fully shielded luminaries, light pollution can be successfully controlled with additional measures, such as defining lower luminance and illuminance levels in standard norms, protecting scotopic and melatonin suppression bands, using light only where and when needed and limiting the per-capita light flux with progressive reduction. If these simple actions are not taken, light pollution can be expected to substantially increase in the near future, especially in the blue part of the spectrum, due to extensive use of white LED sources. If LED lights with a proper spectral signature are used, LED sources have an advantage over High Pressure Sodium (HPS): the flux can be easily adjusted. This potential is still poorly exploited as LEDs are considered per se as the ultimate energy-saving panacea. However, simply swapping light sources from HPS to LED without also implementing adaptive lighting is a waste of resources and will not reduce pollution. Adaptive lighting, controlled by sensors, allows lights to be switched off or left very dim for most of the night. The LED market is currently driven by an efficiency race that does not take into account the downsides of using blue-rich light at night. A one-to-one lumen change from HPS to 4000 K white LEDs will determine a several-fold increase in scotopic and melatonin-suppression bands. LED producers should therefore take into consideration that their products may soon have serious consequences for people's health, as has been the case for the tobacco and asbestos industries.

Even the best regulations are worthless if they are not respected so strict controls are needed. In Italy, the Veneto Region has pioneered the control of its territory involving its environmental protection agency (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Veneto – ARPAV [The Regional Agency for Environmental Protection of the Veneto]) and has obtained encouraging results. Controlling millions of luminaries may seem like an impossible task, but remote sensing may help. Photographs taken by astronauts from the International Space Station (ISS) can be conveniently used to identify and locate the 'brightest' violations. The astronauts' RGB colour imagery also permits to monitor the changes in the spectrum of the installed lights. Space agencies should therefore start a more systematic monitoring of night lights, allowing scientists and administrators to monitor light pollution on a global scale. Cameras in orbit can not only show how magnificent our cities appear from the sky, but can also help preserve the more exciting view of the heavens and the starry night for billions of the Earth's peoples.

Resumen

A pesar de su tradición y patrimonio astronómico secular, Italia es uno de los países con mayor contaminación lumínica del mundo. Gracias a la presión por parte de astrónomos aficionados y profesionales, desde 1997 se han implementado progresivamente regulaciones regionales en la mayor parte del territorio. Sin embargo, Italia sigue sufriendo una extrema contaminación lumínica, sobre todo en las áreas más densamente pobladas. Las mediciones del resplandor del cielo durante la última década muestran que, al menos, el muy pro-

nunciado aumento anual en el pasado se ha detenido recientemente como resultado de la reducción de emisiones de luz hacia arriba, tal como prescriben la mayoría de las regulaciones. Sin embargo, este resultado no es suficientemente bueno, y tampoco es uno que pueda durar conforme siguen aumentando las luminarias instaladas y el flujo luminoso total. Al igual que con otras formas de contaminación, el propósito es reducir significativamente las emisiones (luz directa hacia arriba y reflejada).

Además de imponer el uso de luminarias totalmente protegidas, la contaminación lumínica puede controlarse satisfactoriamente con medidas adicionales, como definir niveles inferiores de luminosidad e iluminancia en las normas estándar, protegiendo las bandas escotópicas y de supresión de melatonina, utilizando luces sólo donde y cuando sea necesario y limitando el flujo de luz per cápita, con una reducción progresiva. Si no se emprenden estas simples acciones, puede esperarse que la contaminación lumínica aumente considerablemente en un futuro cercano, sobre todo en la parte azul del espectro, debido al uso extendido de fuentes de luz LED blanca. Si se utilizan luces LED con una firma espectral apropiada, las fuentes LED tienen ventaja sobre el Sodio a Alta Presión (SAP): el flujo puede ajustarse fácilmente. Este potencial sigue estando mal aprovechado, puesto que los LED se consideran de por sí como la definitiva panacea en eficiencia energética. Sin embargo, cambiar simplemente fuentes de luz SAP por LED sin implementar también una iluminación adaptable supone un desperdicio de recursos y no reducirá la contaminación. La iluminación adaptable, controlada por sensores, permite que las luces se apaguen o se dejen muy tenues durante la mayor parte de la noche. El mercado de LED es actualmente una carrera por la eficiencia que no toma en cuenta los inconvenientes de utilizar luz rica en componente azul por la noche. Un cambio de lúmenes uno por uno de SAP a LED blancos de 4,000 K determinará un aumento en varios múltiplos de las bandas escotópicas y de supresión de melatonina. Los fabricantes de LED deberían por tanto tomar en consideración que sus productos pueden traer graves consecuencias para la salud de las personas, como ha sido el caso de las industrias del tabaco y el asbesto.

Incluso las mejores regulaciones resultan inútiles si no se respetan; por consiguiente, son necesarios controles estrictos. En Italia, la región del Véneto ha sido pionera en el control de su territorio, implicando a su agencia de protección medioambiental (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Veneto, ARPAV [Agencia Regional para la Protección Medioambiental del Véneto]) y ha obtenido resultados alentadores. Controlar millones de luminarias puede parecer una tarea imposible, pero la detección remota puede ayudar. Es posible utilizar convenientemente fotografías tomadas por astronautas de la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés) para identificar y ubicar las violaciones “más radiantes”. Las imágenes en color RGB de los astronautas permiten también monitorear los cambios en el espectro de las luces instaladas. Las agencias espaciales deberían por tanto iniciar un monitoreo más sistemático de las luces nocturnas, permitiendo a científicos y administradores monitorear la contaminación lumínica a escala global. Las cámaras en órbita no sólo pueden mostrar lo espléndidas que parecen nuestras ciudades desde el cielo, sino que pueden también ayudar a preservar la vista más fascinante de los cielos y la noche estrellada para billones de personas de la Tierra.

The night sky is certainly part of Italian tradition and cultural heritage. In the motherland of Galileo Galilei, the beauty of the cosmos has been celebrated since Medieval times in a large variety of monuments and artistic renditions within churches and non-religious buildings (Figure 1). Astronomical culture is also quite popular in the country and just in the Veneto Region there are 15 public and 2 professional observatories (almost 1 observatory every 100 km²) and 26 protected astronomical sites. However, in recent times, our window to the

universe is getting blinded by the increasing amount of artificial light that causes skyglow and prevents the vision of faint stars, not just from cities but also from the suburbs and remote rural areas.

Whilst researching a suitable site for the Italian National Telescope, which was eventually built outside Italy, in La Palma, Canary Islands, Bertiau et al. (1973) elaborated the first map of light pollution ever made (Figure 2a). After more than a decade, using, for the first time,



Figure 1. Left panel: tower clock at the entrance of the Arsenale di Venezia (the historic Venetian shipyard), © Luca Zaggia. Right panel: a fresco of the Cappella degli Scrovegni in Padua, decorated by Giotto in the first years of the fourteenth century, © Wikimedia commons, Public Domain. The comet in the scene of the Magi Adoration might be a portrait of the Halley comet, presumably seen by Giotto during its great apparition in 1301 (Olson and Pasachoff, 1987).

satellite radiance data as an input to study the propagation of light pollution over large areas, Falchi (1998) produced a similar, but more detailed map of light pollution for the Italian peninsula (Figure 2b). Based on a comparison between the two situations, an increase of artificial night sky brightness of about a factor 7 was estimated.

As shown by these studies and confirmed by recent images taken by astronauts on board the International Space Station (ISS), Italy is today one of the most light polluted countries in the world. The per-capita national yearly energy demand for public lighting in 2010 (www.terna.it) was more than 100 kWh and the power usage for private outdoor lighting was estimated to be of the same order of magnitude. A considerable fraction of this energy and associated

light flux is wasted by direct and indirect emissions and creates a progressive decay in the quality of our night sky. The Milky Way is now only fully visible from the continental territories in just a few sites in mountainous areas in the Alps or the Apennines. Still, even in these relatively dark places the sky quality at low angles above the horizon is heavily affected by light pollution from larger cities in the plains or coastal areas.

A projection of night sky brightness by the year 2015 made by Cinzano et al. (2001) based on the same growth rate, resulted in the prediction map of Figure 2c. If we consider data on energy usage for public lighting and average luminous efficacy, this prediction seems actually quite realistic as we can estimate a two-fold increase in the

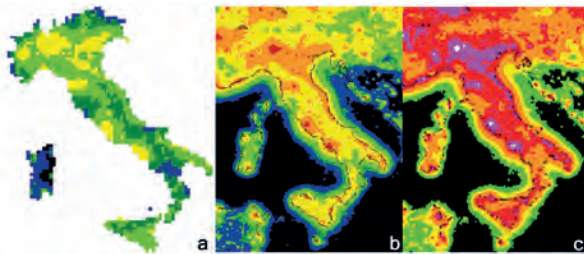
total flux emitted in the night environment from 1998, when we first measured sky brightness (Falchi 1998) until the first decade of 2000.

On the contrary, our measurements (Figure 3) show that the zenith sky brightness in the sites we monitored is almost unchanged (Falchi, 2011 and Bertolo et al., 2015). This is primarily a consequence of the significant change in lighting habits, which was driven by the enactment of several light pollution regulations in different Italian regions.

Chronologically, the Veneto Region was the first to approve a light pollution regulation in 1997 and further improved it in 2009. In 2000, the Lombardy Region followed, adopting what was considered, at that time, a ‘revolutionary’ regulation: fully-shielded fixtures were prescribed for most of the new installations including all roads, car parks, bikeways and working areas. This law, effective on both private and public lighting, banned direct emissions above the horizontal plane through light fixtures and also put a cap on the lighting levels of streets and public areas.

In the wake of this encouraging success, other regions adopted similar regulations, the majority of which are based on the same criteria. Since 2012, eighteen of the twenty regions, including special administrative provinces, have light pollution regulations (Figure 4).

After more than fifteen years after the introduction of the first regulation, several cities in Italy are now only lit by fully shielded fixtures as new installations or retrofits of former polluting systems. The resulting reduction in the upward direct emissions can therefore

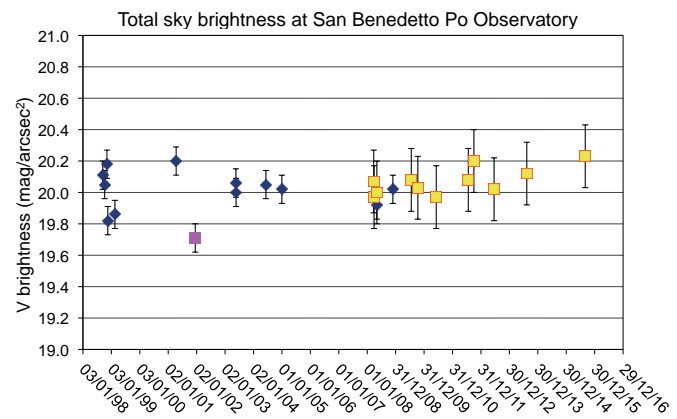


Figures 2. Artificial sky brightness maps for the years 1971 (a), 1998 (b) and projection to 2025 (c). The sky brightness increases from blue to white and colour scale correspond in the three maps. © Fabio Falchi, panel (a) adapted from data in Bertiau et al. (1973).

explain the observed constant trend of artificial sky brightness in the last decades. However, if the total flux produced by our lighting systems keeps increasing, we can envisage a further jump in sky brightness in the future, once the conversion to fully shielded fixtures is completed.

This is in no way an acceptable option and, by way of comparison with other forms of pollution, we need to pursue a progressive reduction of emissions. Our societies, especially in advanced economies, make significant efforts to control pollutants. For instance, the emissions of hazardous compounds, like CO, in the atmosphere in the US have significantly decreased over the last decades thanks to regulations like the Clean Air Act (www.epa.gov). The same happened to the emissions of other pollutants in the environment like greenhouse gases, CFC's and other ozone-killers, organic (PCBs, pesticides) and inorganic contaminants (Zonta et al., 2005). Similarly, we can obtain large improvements with light emissions without massive investments, as technology is readily available at no extra cost, permitting an almost immediate payback in the form of energy savings.

What has happened in the last decade in the Region of Veneto is a great example of the potential of good practices in outdoor lighting.



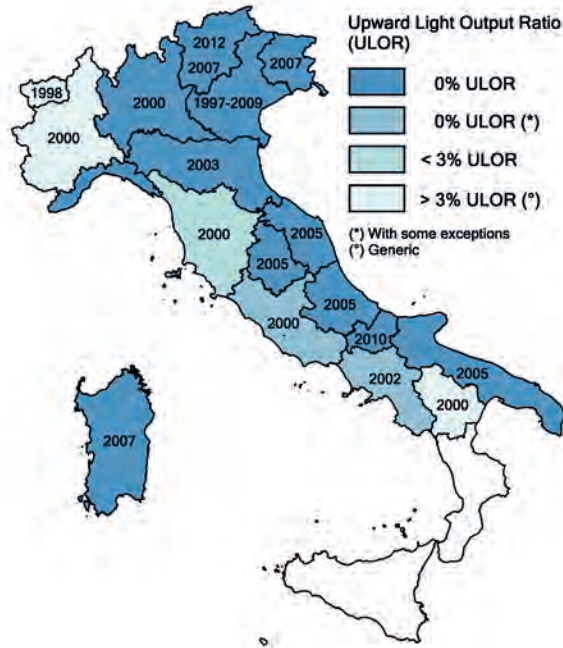


Figure 4. Regional dark sky regulations in Italy. © Luca Zaggia.

In this region, despite the regulations being far from fully applied, a reduction of about 16% of the energy use was recorded from 2009 to 2014 (Figure 5). This accounted for an estimated overall savings of more than EUR 13 million.

This reduction in energy usage for outdoor lighting might partially be due to the cut in national funding of municipalities after the start of the economic crisis in 2008 and may be due to the increasing cost of kWh for public lighting. However, a study made on a sample of more than 300 cities in Veneto Region (Bertolo et al., 2015) showed that, despite a 4% reduction in energy usage from 2010 to 2013, the number of luminaries per inhabitant has increased by 7%, with a corresponding 10% reduction in the power per fixture. Therefore, even if partially driven by the shortage of public funding, we can reasonably observe that something is changing in the lighting practices of local administrations, confirming that it is possible to invert the impact of outdoor lights on the environment and energy bills.

Besides economic implications (Gallaway et al., 2010) and the impact on sky quality, which affect astronomical observations and

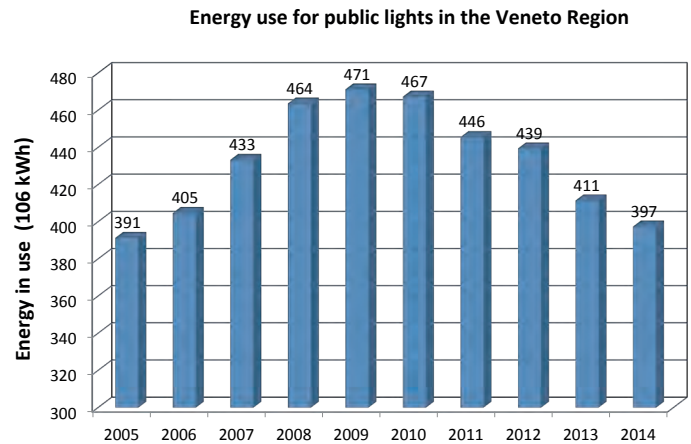


Figure 5. Energy usage for public lights in the Veneto Region from 2005 to 2014. © Luca Zaggia with data from TERNA (<http://www.terna.it>).

eventually raise cultural issues (Marin and Jafari, 2007), artificial light also has negative consequences on human health (for instance, Haim and Portnov 2013) and on the environment (for example, Rich and Longcore, 2005). These problems have become more severe with the start of the progressive migration from yellow-rich High Pressure Sodium lamps (HPS) to blue-rich white LEDs. All being equal, a 4000 K white LED light is two or three times more polluting than HPS light sources in the blue region of the spectrum (Falchi et al., 2011; Aubé et al., 2013; Luginbuhl et al., 2014). An uncontrolled transition towards LED lighting will therefore substantially increase the flux in the more polluting part of the light spectrum, more than doubling blue light emissions in the night environment. To limit the adverse health effects of circadian rhythms disruption and decreased melatonin production by the exposure to light at night, given the dependence on wavelength of melatonin production, we recommend the adoption of strict limits to the blue component of artificial lights.

The low emissions of HPS lamps in the blue region could be chosen as a standard for the upper limit of what can be initially accepted for outdoor light. Thus, as suggested by Falchi et al., 2011, the following specification should be incorporated in lighting regulations and enforced:

The wavelength range of the visible light spectrum under 540 nm, corresponding to high sensitivity of the melatonin suppression action spectrum, should be established as a protected range. Lamps that emit

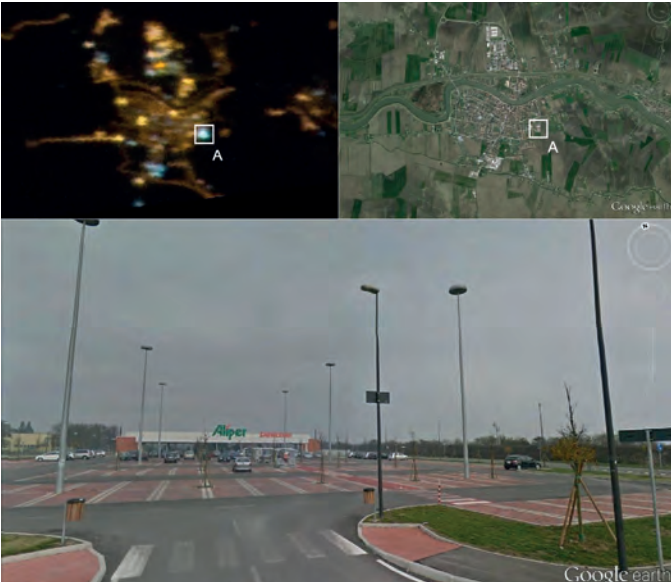


Figure 6. Excessive illumination in a shopping mall car park in a town in south-eastern Veneto. The area is lit by fully shielded luminaries, but with levels several times higher than required, making it appear as the brightest spot on the photograph taken by astronauts on board the International Space Station georeferenced to match geographic databases. Top left, © Image courtesy of the Earth Science and Remote Sensing Unit, ISS026-E-10976. Top right and Bottom, © Google Earth, Map Data: Google.

an energy flux in the protected range larger than those emitted by the standard High Pressure Sodium lamp on a basis of equal photopic output should not be installed for night-time uses.

Similar rules are already enforced in Chile (the new 2012 Norma Luminica – lighting regulation – dictates that the spectral radiance between 380 nm and 499 nm should not be more than 15% of the spectral radiance over the entire visible spectrum) and in La Palma in Canary Islands (the *Ley del Cielo* enforces Low Pressure Sodium or PC Amber LED type lights after midnight).

In Italy, the law in the Emilia-Romagna Region was recently revised imposing an upper limit of 3000 K on the Correlated Colour Temperature of the lights installed in natural protected areas, and similar recommendations would be of great help if included in other regional laws.

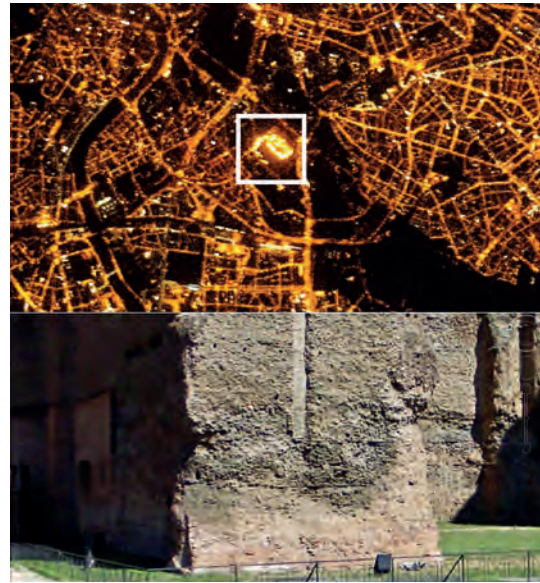


Figure 7. Terme di Caracalla, Rome. The archaeological site is illuminated with asymmetric floodlights with the direction of the main beam aimed almost vertically determining a strong skyward emission, with negative consequences on the quality of the night above the capital and its surroundings all night long. © Top, Image courtesy of the Earth Science and Remote Sensing Unit, ISS043-E-121738. Bottom, © Google Earth, Map Data: Google.

The ‘blue protection rule’ should be part of a comprehensive set of measures to be globally enforced in order to limit the consequences of light pollution, as we summarize here:

- a) do not allow luminaries or lighting systems with direct emissions over the horizontal plane (that is to say, upward light flux);
- b) do not waste the downward light flux outside the area to be lit;
- c) avoid over lighting;
- d) dim at minimum levels or switch off lights when the area is not in use;
- e) zero growth and then progressively decrease the total installed flux;
- f) strongly limit the use of short-wavelength ‘blue’ light.

Point c is quite a critical subject in Italy as in many other countries. In this context, we need to distinguish between private and road

lighting systems. In the private sector, a further distinction is made between commercial and industrial lighting. For commercial lighting in Italy, as in other countries, it is common practice to try to outshine competitors (Figure 6), while in the industrial sector much of the attention is on the amount of light rather than on its quality, based on an erroneous equivalence between light intensity and safety. This gives individuals the perception of darkness when moving from one of these over-illuminated areas to the urban road network, resulting in a continuous pressure by citizens on administrators for more light on public areas. This mechanism must be broken if we really aim for a sustainable use of light and energy.

With regards to roads, we consider it fundamental to revise the standard norms for road lighting at the national and EU level, limiting the required levels to a minimum without compromising safety, also aided by innovative technologies.

Point d is nowadays only limited by cultural issues. LEDs have in fact a great advantage over high discharge lamps: they can be easily dimmed to a fraction of their nominal output and can be switched-on instantly, making it possible to design systems based on adaptive light or light on-demand. This great potential of LEDs technology, though already available, is not yet exploited, resulting in an enormous waste of resources. Adaptive lighting, will instead allow extremely dim light levels to be maintained (compared to the usual all-night brightness of our roads) or lights to be switched-off in low traffic periods and to be instantly switched-on or increased as soon as the traffic flux demands it, making possible to reduce light pollution to a minimum for most of the night.

Point e, for example, setting caps on light flux, does not necessarily mean that our cities cannot install any new light fixture. More simply, before new installations can be made, our municipalities must reduce the flux where it is already too high, triggering positive feedback that will lead to an inversion of the current trend in the long term.

By integrating all these criteria on regulations at the regional or national levels and enforcing them in the regions currently not covered by protection measures will permit further progress in the defence of the night sky, mitigating the negative consequences so

far induced by light pollution in Italy. But on top of all these criteria, a ‘rule zero’ should be introduced: do we really need to illuminate everything? This issue should be analysed carefully before we keep investing public funds to light roads with the aim of increasing security and safety. Concerning crime, for example, the question is still pending an evidence-based and un-biased answer (Marchant, 2006). On the traffic side, especially outside urban perimeters, there is also contrasting evidence on the role of light on safety. One main key issue in historic centres is also monument and architectural lighting. Do we really need our historic and architectural heritage to be illuminated as if it were daytime for the whole night? Italian regional regulations have criteria for monumental lighting, which are quite effective in principle and could be used as a reference in other situations across the world. We just need to be rigorous in their enforcement, convincing authorities to limit levels or switch-off lights when the number of potential beneficiaries reduces to a minimum. One extreme, although not unique, example of deregulation in monument lighting is the archaeological site of *Terme di Caracalla* in Rome. As shown by the International Space Station images (Figure 7), this is one of the brightest spots in the Italian capital when viewed from the sky.

The archaeological site is illuminated with a large number of asymmetric floodlights placed on the ground and with the main beam aimed at the sky with a detrimental effect on the quality of the night environment and an enormous waste of energy and public money. Most of the monument lighting systems in Italy and elsewhere are quite similar to this example. This is due to an intrinsic limit of past technologies: the difficulty of illuminating historical monuments with downward-looking devices without compromising aesthetics with poles, arms and fixtures. In most cases, these limits are today overcome by the use of modern LED technology, which can in the future determine a revolution in the basic concepts of monument lighting. It still comes with one main recommendation, to only use it where and when it is really needed, ensuring the minimization of emissions outside the perimeter of targeted spots and with moderate total flux. If we think about the origins of these constructions, night-time illumination was not an option and most of them were designed and built to be illuminated from a downward looking natural light source, the Sun.

Even the best regulations on public and private outdoor lighting are worthless if they are not strictly controlled and if the effects of its enforcement are not monitored. Until recently in Italy, this task was left to the volunteers of dark sky associations, like Cielobuio. As representatives of amateur groups of astronomers and public observatories, Italian dark sky associations report to authorities on irregularities and interact with stakeholders and the general public in order to promote dark sky awareness. They participate in technical round tables and training courses for light designers and technicians and cooperate with municipalities in urban light planning. In some regulations, dark sky associations (and then the public observatories and amateur astronomers they represent) are clearly identified by law as qualified subjects in the surveillance of sky quality and reporting irregularities to local authorities. The Veneto Region regulation also defines the role of the environmental protection agency (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Veneto – ARPAV) as a technical subject to refer to for light pollution issues. ARPAV is in charge of verifying violations and irregularities in private and public installations. This institution also chairs a Permanent Observatory on Light Pollution that has the role of monitoring the effects of the enforcement of the dark sky regulations and reporting to the regional government on a periodical basis. Besides ARPAV, the observatory also groups representatives of professional astronomers and engineers from the academic community, representatives of parks and dark sky associations. In addition to the main institutional tasks, the observatory also promotes initiatives (for example, dark nights, round tables) and studies light pollution. One recent piece of research has been published in the Observatory's first report. In this work, the results of a survey on a sample of more than 300 municipalities show that the small communities have the largest per capita power usage (Bertolo et al., 2015). This is an expected outcome, given the peculiarity of rural areas. However, it was also found that small rural towns have the highest power per unit luminaire (Figure 8), which is undoubtedly a sign of bad light policies. Much of the attention in the future, therefore, has to be dedicated to ensuring the professional qualifications of technical staff in small municipalities through initiatives promoted by the regional governments.

This participative management of light pollution regulations has led to the successful results described above. Dark sky associations reported

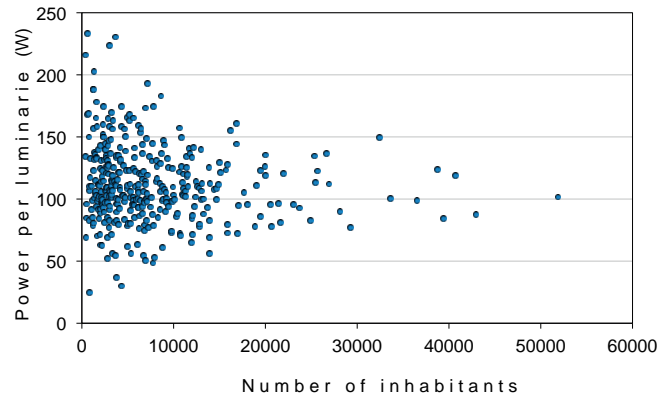


Figure 8. Distribution of the parameter power per luminaire versus number of inhabitants in the cities of the Region of Veneto. © Luca Zaggia with data from Bertolo et al. 2015.

on more than 2,500 irregularities, while ARPAV so far verified more than 3,500 installations that in most cases were amended in a short time without the need for further measures. Despite this capillary interaction between associations and institutions, the private and public installations to be controlled largely outnumber the amount of systems that can be verified in a reasonable time so other tools must be considered to support field controls. Remote sensing could significantly advance the monitoring of administrative territory. As shown in Figures 6 and 7, images taken by astronauts on board the ISS, once georeferenced have a great potential to identify the brightest violations and, in some cases, their resolution permits the identification of groups of fixtures or even single luminaires (<http://www.citiesatnight.org>). Night-time space images of our cities are also a useful tool in monitoring the transition from HPS to LEDs and its effects on the environment, as recently shown for the city of Milan by Tafreshi (2015). However, astronaut images are not taken on a systematic basis; they mainly cover larger cities or interesting subjects with different fields of view and only a minor percentage of the shots are taken from the zenith. In addition, only a few images are of the excellent quality such as those reported here. Spacecraft orbit motion, which is only partially compensated by the camera tracking system, largely affects resolution and just a minor percentage of all available data can be used for high detail studies. A more comprehensive coverage including rural areas made with a standard technique would permit a step forward in the protection of the night sky. For the management of light pollution, we would need images taken with the same technique (angle, viewfield,

exposure, spectral coverage and so on) in order to reduce the efforts for calibration (Sanchez de Miguel et al., 2012) and georeferencing. This is obviously beyond the scope of ISS missions, and a night-time earth observing programme at an adequate resolution should be funded at a regional or national level with specialized instruments. This would cover the gap between the large-scale mapping by satellites (Cinzano et al., 2001, 2007) and the extremely high-resolution, but limited spatial coverage, of airborne surveys (Kuechly et al., 2012) and would help astronomers and environmental agencies to protect astronomical sites and the night environment on a local to global scale, giving future generations a further chance to enjoy the view of the universe, at least from remote areas.

References

- Aubé, M., Roby, J. and Kocifaj, M. 2013. Evaluating potential spectral impacts of various artificial lights on Melatonin suppression, photosynthesis, and star visibility. *PLoS ONE*, Vol. 8, No. 7.
- Bertiau, F. C. S. J., de Graeve, E. S. J. and Treanor, P. J. S. J. 1973. The Artificial Night-sky Illumination in Italy. *Vatican Observatory Publications*, Vol. 1, No. 4, pp. 159-179.
- Bertolo, A., Gambato, E., Fiorentin, P., Ortolani, S. and Zaggia, L. 2015. Relazione al Consiglio Regionale sul fenomeno dell'inquinamento luminoso nella Regione Veneto. Regione del Veneto, p. 36.
- Cinzano, P., Falchi, F. and Elvidge, C. D. 2001a. *Rapporto ISTIL 2001*. Thiene, Italy, ISTIL.
- . 2001b. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 328, pp. 689-707.
- . 2007. Recent progresses on a second world atlas of the night-sky brightness. C. Marin and J. Jafari (eds), *Starlight: A Common Heritage*. Starlight Initiative/Instituto de Astrofísica de Canarias, pp. 385-400.
- Falchi, F. 1998. Luminanza artificiale del cielo notturno in Italia. Master's thesis, Università di Milano, Italy.
- . 2011. Campaign of sky brightness and extinction measurements using a portable CCD camera. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 412, pp. 33-48.
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C. D., Keith, D. M. and Haim, A. 2011. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*. Vol. 92, pp. 2714-2722.
- Gallaway, T., Olsen, R. N. and Mitchell D. M. 2010. The economics of global light pollution. *Ecological Economics*. Vol. 69, pp. 658-665.
- Haim, A. and Portnov, B. A. 2013. *Light Pollution as a New Risk Factor for Human Breast and Prostate Cancers*. Springer, Netherlands.
- Kuechly, H. U., Kyba, C. C. M., Ruhtz, T., Lindemann, C., Wolter, C., Fischer, J. and Hölker, F. 2012. Aerial survey and spatial analysis of sources of light pollution in Berlin, Germany. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 126, pp. 39-50.
- Luginbuhl, C. B., Boley, P. A. and Davis, D. R. 2014. The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. Vol. 139, pp. 21-26.
- Marchant, P. R. 2006. Shining a light on evidence based policy: street lighting and crime. *Criminal Justice Matters*. Vol. 62, No. 1, pp. 18-45.
- C. Marin and J. Jafari (eds). 2007. *Starlight - A Common Heritage*. Starlight Initiative/ Instituto de Astrofísica de Canarias.
- C. Rich, and T. Longcore (eds). 2005. *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington DC, Island Press.
- Tafreshi, B. 2015. ISS photos yield "cities at night" world map. *Sky and Telescope*. <http://www.skyandtelescope.com/astronomy-news/iss-photos-yield-cities-at-night-map-09052015/>
- Zonta, R., Cochran, J. K., Collavini, F., Costa, F., Scattolin, M. and Zaggia, L. 2005. Sediment and heavy-metal accumulation in a small canal, Venice, Italy. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, Vol. 8, No. 1, pp. 63-71.

The Milky Way over the Great Canary Telescope, Spain. © Daniel López/IAC.





Spain

España

La protección del cielo en los observatorios de Canarias: valores científicos, culturales y ambientales

José Miguel Rodríguez Espinosa

Instituto de Astrofísica de Canarias, España

Resumen

Hace no más de unos 70 años, la gente podía mirar a las estrellas desde el patio trasero de casa. De hecho, los principales observatorios reales que se construyeron en el siglo XVIII se hicieron en el centro de las ciudades, a veces grandes, como Londres, París o Madrid. Incluso en la Ciudad de México se construyó el Observatorio Nacional, ya avanzado el siglo XIX, en una pequeña colina del Bosque de Chapultepec. Hoy, sin embargo, no es posible ver la Vía Láctea desde casi ninguna de nuestras ciudades, lo que priva a gran parte de la humanidad del espectáculo de un cielo oscuro.

Y es que el cielo oscuro debe ser patrimonio cultural de la humanidad. Nadie debería sentirse privado de contemplar el cielo a causa de la contaminación lumínica. Dicha contaminación es tan pernicioso como el ruido ambiente o el CO₂ y, como en estos casos, no somos sólo los humanos quienes sufrimos los efectos perniciosos del exceso de iluminación, sino que afecta también a las plantas nocturnas y a muchos animales.

Afortunadamente estamos a tiempo de corregir esta tendencia al exceso de iluminación, a la iluminación mal diseñada. A nuestro favor está que al mismo tiempo que se consigue una iluminación mejor pensada y más eficiente, se ahorra dinero, argumento que suena a música para los responsables de las ciudades, que gastan en energía un alto porcentaje del presupuesto municipal. Quizás promovido por los astrónomos profesionales, se está consiguiendo implementar legislaciones que tratan de promover el uso eficiente de la iluminación municipal.

Por su parte, la sociedad está aprendiendo que más luz no es necesariamente más seguridad. Más seguridad es una iluminación adecuada y bien diseñada. En las Islas Canarias, por ejemplo, se ha conseguido reformar la iluminación de todos los pueblos y ciudades que están en un radio de aproximadamente 100 km de los observatorios. En estos pueblos y ciudades se ha eliminado cualquier luminaria que esparciese luz hacia el cielo y han sido sustituidas por otras que dirigen la luz directamente hacia el suelo. Además, se ha cambiado a luces de bajo vapor de sodio, con lo que la contaminación que llega a los observatorios es mínima y no afecta a la espectroscopía.

La Fundación Starlight surge en este ambiente de preocupación por el correcto uso de la iluminación, pero trasciende y une tal preocupación al interés por una iluminación medida, así como a la conservación del medio biológico y natural. La Fundación Starlight se ocupa de formar expertos que a su vez llevarán el interés por los cielos oscuros, no sólo por y para la astronomía, sino también por la biología y por la mera contemplación, al mayor número de población posible. Como decía, el cielo oscuro es un bien cultural que hay que proteger.

Abstract

No more than seventy years ago, people could gaze at the stars from their back yards. In fact, during the eighteenth century the first real observatories were built in city centres, even in large cities such as London, Paris or Madrid. Even Mexico's National Observatory,

constructed in the nineteenth century, was built in Mexico City on a small hill in Bosque de Chapultepec (Chapultepec Park). Today, however, the Milky Way cannot be seen from almost any of our cities, depriving a large part of humanity of a dark sky.

Dark skies should be considered as cultural heritage of humanity and nobody should feel deprived of the opportunity to gaze at the stars because of light pollution. This type of pollution is as harmful as ambient noise and CO₂ emissions. It is not only humans who suffer from the damaging effects of excess lighting, but also nocturnal plants and many animals.

Fortunately, it is not too late to correct the problem of excessive and poorly designed lighting. Luckily for us, at the same time that well-designed and efficient lighting solutions are implemented, money can be saved, and this comes as music to the ears of city authorities who spend a high percentage of municipal budgets on energy bills. Perhaps due to efforts made by professional astronomers, laws are being passed to promote the efficient use of municipal lighting.

Society itself is learning that more light is not necessarily safer and that safety is ensured with adequate and well-designed lightning. In the Canary Islands, for example, lighting has been reformed in all towns and cities within a 100 kilometre radius of an observatory, by eliminating all lighting that emits light into the sky and substituting them for designs that emit light towards the ground. Furthermore, they have opted to use sodium vapour lamps, which cause very low levels of light pollution and do not affect spectroscopy.

The Starlight Foundation was born of this environment of concern for the correct use of lighting and transforms its concern into action for the promotion of measured lighting, as well as the conservation of the biological and natural environment. The Starlight Foundation trains experts to spread interest in dark skies to as many people as possible, not only for astronomy and for its benefits, but also for biology and mere contemplation. Dark skies are a cultural resource that must be protected.

Introducción

Imaginemos a Galileo terminando su telescopio... Con ilusión, con la idea de mirar al cielo. Sin embargo Galileo no se preocupó de pensar dónde ponía el telescopio. Sencillamente se subió a la azotea de su casa y apuntó al Sol que ya se ponía, a la Luna que estaba en otra zona del cielo, y en días sucesivos a Júpiter, a Venus, etc... Sus descubrimientos fueron fundamentales para el avance de la ciencia moderna. Galileo observó las manchas del Sol, observó fases en Venus, cráteres en la Luna y los satélites, que hoy llamamos galileanos, de Júpiter. La ciencia moderna estaba apuntando. El cielo no tenía atributos divinos como se creía, un gran cambio que causó numerosos problemas a Galileo. Pero el principal problema con que se hubiera encontrado hoy día, Galileo no lo tuvo. Me refiero al tener que irse a un lugar alejado de la ciudad para poder ver lo que vio con su primer telescopio. Yo me pregunto si Galileo hubiera construido su telescopio si, previamente, no hubiera quedado fascinado por la visión del cielo, en sus tardes/noches florentinas.

Asimov, en su relato “Anochecer”, menciona una civilización alumbrada por seis soles. Una civilización que no conocía la noche porque siempre había varios soles en el cielo desparramando luz. Esta civilización no conocía la noche, y con la noche desconocía también la existencia de un vasto universo, lleno de estrellas y galaxias. En el relato de Asimov, un extraño acontecimiento cósmico oculta subrepticamente los seis soles y la noche cae sobre esta civilización. Sólo entonces se dan cuenta de la grandeza del universo, del espectáculo de la noche plagada de estrellas.

Imaginemos el caso contrario al relato de Asimov. Imaginemos que nuestro querido planeta pierde la noche. No por cualquier acontecimiento cósmico, sino porque nosotros mismos la matamos, iluminando el cielo. De repente perderemos el universo, nuestro mundo se hará más pequeño porque no podemos ver qué hay más allá, no podremos especular con la grandeza del universo, no podríamos elucubrar sobre otros planetas, otra vida, otros mundos...

Los cielos oscuros son una necesidad para todos nosotros. También para nuestro entorno, tanto animal como vegetal. No se concibe la humanidad sin noches oscuras que inviten al sobrecogimiento de admirar el universo.

El cielo oscuro necesario para la astronomía

La astronomía ha sido la ciencia que ayudó a los marinos a viajar por todo lo largo y ancho de este mundo. Desde el siglo XVII, se han venido perfeccionando las *cartas del cielo*, que eran efemérides elaboradas para su uso en la navegación. Estas cartas del cielo se hicieron a lo largo de los siglos XVII a XIX, en observatorios que estaban, en general, en los centros de las mayores ciudades europeas. Recuérdese el caso de los Observatorios de Greenwich, en Londres; del Observatoire de Paris; del Observatorio Nacional español, en el madrileño Parque del Retiro, o del Observatorio Nacional de México, instalado primeramente en pleno Bosque de Chapultepec. Gran parte del estudio de las estrellas y nebulosas realizado entre los siglos XVIII y XIX se lleva a cabo en estos observatorios. La iluminación de las ciudades era entonces a base de quemar combustibles tipo aceites (de ballena u otros aceites) o más adelante gas. En todo caso hasta casi finales del siglo XIX, el uso de iluminación era muy escaso, con lámparas que equivalían en el mejor de los casos a una bombilla moderna de 2.5 vatios. Esto explica que la observación astronómica pudiese hacerse sin grandes problemas desde el mismo centro de las ciudades.

A partir de la invención de la electricidad comercial, en el siglo XX se inició un proceso imparable de iluminar cada vez más las ciudades. Iluminar era signo de modernidad, y seguridad. A mitad del siglo XX la implantación de lámparas en las ciudades es una prioridad. A finales de siglo la iluminación es ya omnipresente, inutilizando los antiguos observatorios para la observación.

Así, la observación astronómica profesional, que antes se podía hacer desde las ciudades, hoy se hace normalmente desde sitios remotos, altas montañas o enclaves singulares. Además, estos enclaves se ven en muchas ocasiones amenazados por el exceso de iluminación de ciudades más o menos cercanas. Hasta el punto de que algunos observatorios profesionales pueden verse amenazados en corto tiempo si no se toman medidas.



Figura 1. Casa de Galileo en la colina de Arcetri, cerca de Florencia. © Cyberuly, CC BY-SA 3.0.

En La Palma, en el archipiélago de Canarias, España, este aspecto se tomó en serio desde el principio. Siempre se contó con el apoyo de las autoridades y gran parte de la población, como demuestra la colaboración de las autoridades de los municipios de La Palma, que con ocasión del Aniversario del Observatorio, apagaron todas las luces de los pueblos y ciudades durante una hora. Esto ocurrió el 25 de junio de 1995. Y durante esa hora se hicieron espectros del cielo antes, durante y después del apagón. En esa época todavía había luces de mercurio y de sodio de alta presión. Se pudo observar como la contaminación debida a líneas de mercurio desaparecía durante el apagón (Benn & Ellison, 1996), y la debida al sodio decrecía, quedando un resto debido al resplandor natural por la excitación de átomos de sodio por partículas de alta energía en las altas capas de la atmósfera.

Este apoyo popular, así como de la autoridades, permitió elaborar una Ley del Cielo que fue aprobada y entró en vigor en 1988. Su reglamento se creó en 1992, el mismo año que la Oficina Técnica en el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Esta ley obliga a utilizar un cierto tipo de luminarias en toda la Isla de La Palma, y en la parte de la Isla de Tenerife que puede verse desde La Palma. Aunque inicialmente hubo alguna oposición al tipo de iluminación que se propuso, ahora, después de muchos años de aplicación de la Ley del Cielo, existe consenso acerca de la bondad de dicha

ley. Muchos municipios están ahorrando dinero con la nueva iluminación.

En dicho reglamento se especifican los tipos de luminarias que pueden ser utilizadas. Con ellas se ha conseguido reducir la polución lumínica en los observatorios, y al mismo tiempo se ha conseguido una iluminación más racional y segura de las ciudades de La Palma.

Cielos oscuros por el medioambiente

La oscuridad de la noche es necesaria para el desarrollo del mundo animal y vegetal. Son muchas las especies, sobre el 50% según algunas estimaciones, tanto animales como vegetales, que desarrollan gran parte de su actividad en la noche. Hay plantas que florecen de noche, que son polinizadas por insectos que viven de noche. Grandes poblaciones de pájaros viajan de noche en su



Figura 2. Londres y el Observatorio de Greenwich en primer plano. © Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0.



Figura 3. Observatoire de Paris-Meudon en Boulevard Arago. © Victor R. Ruiz, Flickr, CC BY-SA 2.0.

migración estacional. Algunas tortugas marinas salen a la arena a desovar en la noche. Todos estos ejemplos ven perturbadas sus actividades nocturnas cuando esa noche se ilumina. La iluminación indiscriminada de la noche altera las relaciones entre predador-presa. Incluso el zooplancton se ve afectado en su migración vertical. El zooplancton baja a los fondos durante el día y sube durante la noche a la superficie donde hay más alimentos. Si se iluminan las costas o los lagos, este zooplancton deja de subir a alimentarse, por lo que desciende su población. Esto redundará en la cadena alimenticia que se ve perjudicada por la escasez de este componente primario de la cadena.

Cielos oscuros por su mero disfrute

El disfrute de la noche ha sido un espectáculo para generaciones y generaciones de humanos. La mera contemplación del cielo es un valor puesto de manifiesto por poetas, músicos, artistas, filósofos, así como por la población general. ¿Hubiera, por ejemplo, Van Gogh imaginado sus cuadros repletos de espectaculares estrellas si apenas hubiese contemplado noches estrelladas en sus paseos nocturnos? Pintar esas estrellas requiere haberlas visto muchas veces, haberse emocionado con ellas y tenerlas en el subconsciente. ¿Hubiera cantado Debussy a la Luna, como lo hizo en su “Claro de Luna”, con semejante delicadeza, si no hubiera paseado a la luz del astro infinidad de veces? Ejemplos hay montones. La noche está presente en el arte, esa noche oscura, a veces embrujada, a veces misteriosa, a veces transfigurada como en Arnold Schönberg. ¿Perderán nuestros artistas la capacidad de inspirarse en las noches oscuras? ¿Perderemos todos la capacidad de admirar ese cielo oscuro llenos de luceros?

La Fundación Starlight

La Fundación Starlight fue promovida por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el IAC. Su misión es proteger los cielos oscuros para el disfrute de la humanidad y el bienestar de los animales y las plantas. La Fundación trata de llevar la cultura de la astronomía a la población. Al mismo tiempo se ocupa de que se usen luminarias adecuadas, y de que se promueva una iluminación inteligente, que a su vez resulta en un ahorro energético.

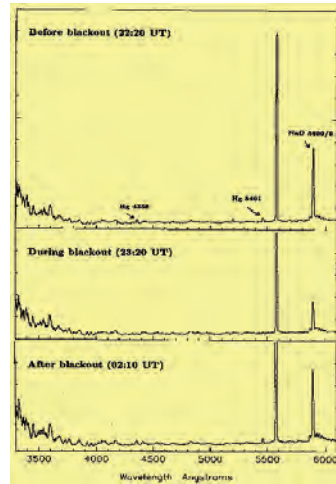


Figura 4. Espectros del cielo antes, durante y después del apagón tenido en La Palma, el 25 de junio de 1995. Nótese la desaparición de las líneas de mercurio, y parcialmente la de sodio NaD 5890/6. Gráfico de Benn & Ellison (1996). © Chris R. Benn.



Figura 5. Logotipo de la Fundación Starlight. © Fundación Starlight.

La Fundación tiene asimismo un carácter formativo, de embajadores de la Fundación. Estos embajadores son formados en la promoción de la astronomía, y en la necesidad de mantener los cielos oscuros. La Fundación fue un actor importante en promover la Declaración de los Cielos Oscuros.

La misión de la Fundación Starlight puede resumirse como sigue: valorizar, proteger y promover el patrimonio cultural, tangible e intangible, asociado a la visión del cielo nocturno. Un patrimonio en peligro y a menudo poco conocido o valorado.

Conclusiones

Los cielos oscuros pertenecen a la Humanidad. El avance tecnológico ha permitido entre otras cosas iluminar las ciudades y pueblos. Pero no sólo las ciudades y pueblos. ¡Últimamente se está iluminando la noche! Esta excesiva iluminación tiene graves efectos para la vida animal y vegetal. Así mismo sus efectos para la población son quizás poco conocidos, pero no por ello menos graves. Quizás en este escrito sólo hemos mencionado los efectos perjudiciales para el mundo cultural y artístico. Sus efectos para la salud de las personas no se han descrito, pero son igualmente perniciosos.

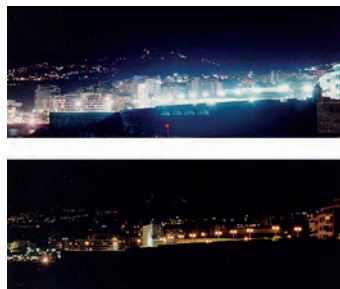


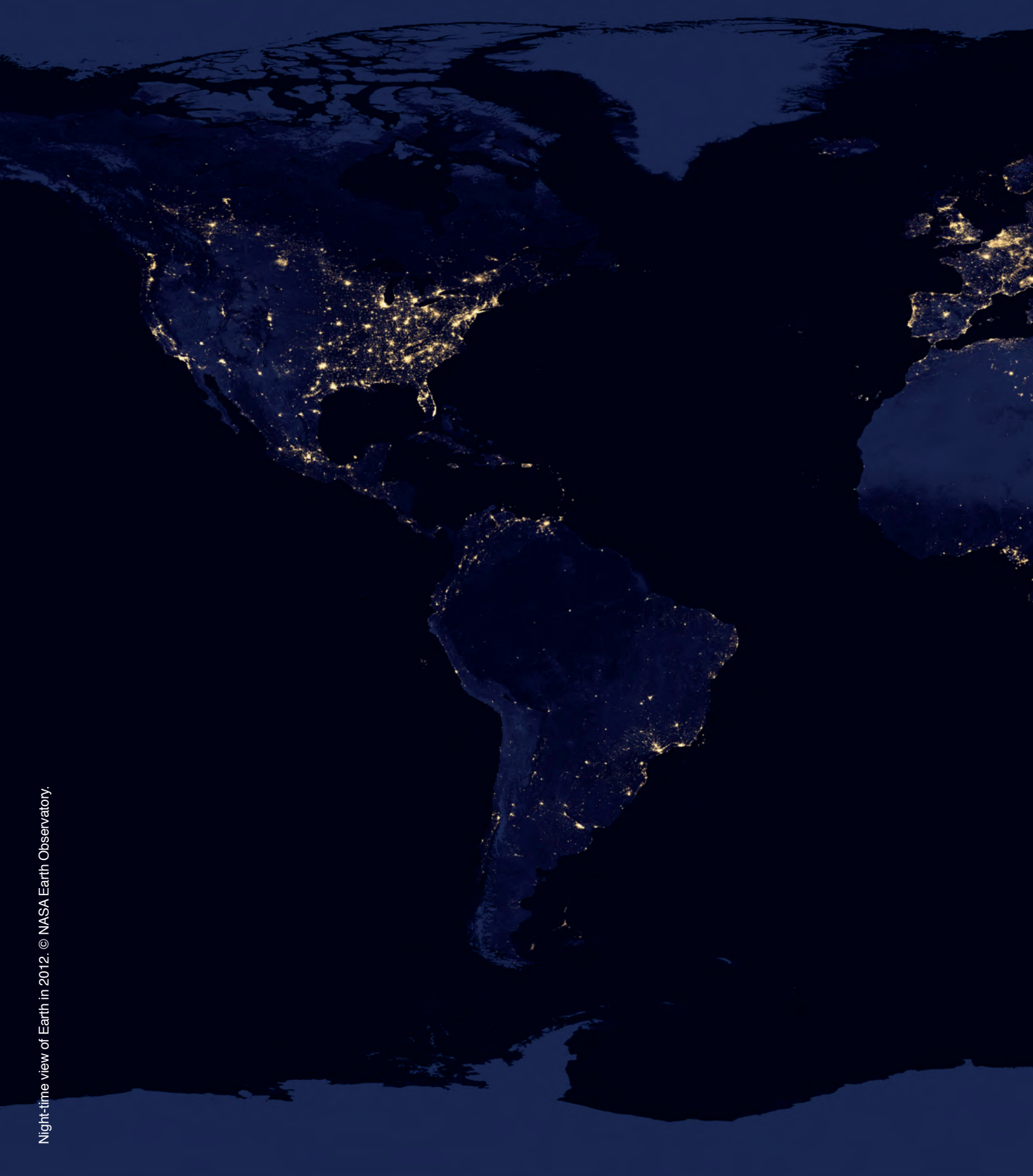
Figura 6. Imágenes del Puerto de la Cruz, en Tenerife, donde se ha aplicado el reglamento para iluminación de las zonas visibles desde el Observatorio. La imagen de arriba es de antes del cambio de luminarias. La de abajo muestra la reducción conseguida. © OTPC/IAC.

Afortunadamente, todavía estamos a tiempo de mejorar la situación de al menos zonas especialmente delicadas. Éstas deben ser especialmente protegidas por su importancia para la preservación de la riqueza natural de la flora y fauna. Asimismo, merecen protección las zonas dedicadas a la observación astronómica. Y todas aquellas zonas que por su especial significado, y por haber quedado hasta ahora libres de ese afán de iluminación, deben protegerse porque son refugios para la vida animal, vegetal, y para la contemplación humana de la belleza del Universo.

Referencias

Benn, C. R. & S. L. Ellison. 1996. *La Palma night-sky brightness*. ING, nota técnica 115.

Night-time view of Earth in 2012. © NASA Earth Observatory.





Chapter 5

The Protection of Dark Skies: Global Approaches and the Role of Interinstitutional Collaboration

Capítulo 5

La protección de los cielos OSCUROS:

aproximaciones globales y el papel
de la colaboración interinstitucional

Identifying, Safeguarding and Promoting Cultural Properties Related to Astronomy. The UNESCO & UAI Thematic Initiative 'Astronomy and World Heritage'

Michel Cotte

University of Nantes and ICOMOS, France

Abstract

For over ten years now, the IAU, UNESCO and its related Advisory Bodies (ICOMOS or IUCN) have worked together in cooperation in the area of the heritage of astronomy and related fields. During this period, there have been a number of ongoing and important initiatives, memoranda, workshops and publications. This paper aims to provide a quick overview of the topic and aims to highlight the most important milestones of the numerous activities and programmes, especially with regards to the World Heritage Convention. Astronomical heritage could be considered a new matter directly related to the Global Strategy launched by the World Heritage Committee in 1994 for a 'representative, balanced and credible World Heritage List'. One of the main objectives of this strategy is 'to ensure that the List reflects the world's cultural and natural diversity of Outstanding Universal Value' and to promote new forms of heritage that have not properly been recognized to date, such as science heritage.

The many activities that this initiative produces, especially those between the IAU and ICOMOS, intend to identify possibilities and to define an appropriate methodology for credible and significant nominations to the World Heritage List in this area of study. This paper also aims to lay out the main origins of these joint works and to view the present situation, in particular reference to the World Heritage Convention and the listing of realistic nominations. It therefore aims to identify the most promising subjects in this regard, to give technical advice and to also pinpoint epistemological difficulties in the heritage of astronomy in order to avoid possible disappointments in the context of World Heritage evaluations. To give an example, the strategy specifically focuses on the very popular concepts within the astronomical community, such as 'dark skies' and 'windows to the universe'.

Resumen

Durante ya más de 10 años, la Universidad Abierta Interamericana (UAI), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y sus Órganos Asesores (Consejo Internacional de Monumentos y Sitios, ICOMOS, o la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, UICN) han trabajado conjuntamente, colaborando en el área del patrimonio de la astronomía y ámbitos relacionados. Durante este periodo, ha habido varias iniciativas, memorandos, talleres y publicaciones regulares e importantes. Este artículo pretende proporcionar una rápida visión general del tema y pretende subrayar los hitos más importantes de las numerosas actividades y programas, sobre todo con respecto a la Convención del Patrimonio Mundial. El patrimonio astronómico podría considerarse una nueva materia directamente relacionada con la Estrategia Global, emprendida por el Comité del Patrimonio Mundial en 1994 para una "Lista del Patrimonio Mundial representativa, equilibrada y creíble". Uno de los principales objetivos de esta estrategia es "garantizar que la

Lista refleje la diversidad cultural y natural de Valor Universal Excepcional del mundo” y promover nuevas formas de patrimonio que no hayan sido debidamente reconocidas hasta la fecha, como el patrimonio científico.

Las muchas actividades que esta iniciativa genera, sobre todo aquellas entre la UAI y el ICOMOS, están destinadas a identificar las posibilidades y definir una metodología adecuada para nominaciones creíbles y significativas a la Lista del Patrimonio Mundial en esta área de estudio. Este artículo pretende también exponer los principales puntos de partida de estas labores conjuntas y considerar la situación actual, haciendo particular referencia a la Convención del Patrimonio Mundial y a la inclusión de nominaciones realistas. Pretende, por tanto, identificar los más prometedores temas en este sentido, brindar asesoría técnica y señalar también las dificultades epistemológicas en el patrimonio de la astronomía con el fin de evitar posibles decepciones en el contexto de las evaluaciones sobre el Patrimonio Mundial. Para dar un ejemplo, la estrategia se centra específicamente en conceptos muy populares dentro de la comunidad astronómica, como “cielos oscuros” y “ventanas al universo.”

More than Ten Years of Astronomical Heritage Activities

The first significant event for the promotion of astronomical heritage on an international level occurred in March 2004 in Venice, Italy, with the first international experts meeting on scientific and astronomical heritage organized by the World Heritage Centre in collaboration with the UNESCO Venice Office and with the support of the Government of the United Kingdom (17 to 19 March 2004). It drew an initial picture of the very poor recognition of scientific heritage by UNESCO, even if Science is one of the International Organization’s five programme sectors. The meeting brought to light the fact that countries didn’t know how to identify and to evaluate the importance of such places of heritage.

In 2005, the World Heritage Committee at its 29th session (Decision 29 COM 5B, Durban, South Africa) requested the Director of the World Heritage Centre to further explore the Thematic Initiative ‘Astronomy and World Heritage’ as a means to promote, in particular, nominations which recognize and celebrate achievements in science.¹

Its essential aim was ‘to establish a link between Science and Culture towards recognition of the monuments and sites connected with astronomical observations dispersed throughout all the geographical regions, not only scientific but also the testimonies of traditional community knowledge’. This very important objective opened the way to an approach that was broader than that of Modern Astronomy, making it more inclusive and allowing the involvement

of indigenous cultures and popular beliefs related to sky and archaeoastronomy. Archaeoastronomical sites therefore appeared as a specialized branch of archaeology, analysed from a scientific point of view, based on both astronomical and archaeological evidence. As mentioned above, the Initiative and the first results of the Venice meeting were taken into account by the World Heritage Committee in 2005. The Committee approved the development of the Initiative as a pilot project and a Memorandum of Understanding formalized the cooperation between UNESCO and the IAU in 2008.

At the same time, volunteers, supported by astronomers, developed an important North American NGO initiative² to ‘protect locations of exceptional night-time visages for future generations’ and to promote the ‘Dark Sky Places Programme’. The main aim was to preserve and protect the genuine night sky quality from light pollution coming from modern urbanism, industry, transportation networks and so on. The initiative focused on the global trend of more respectful relationships between humankind and its natural environment, and being able to preserve good conditions for professional astronomical observations that were under pressure by aggressive modern lightning. In 2007, the Mont Mégantic Observatory in Quebec, Canada, was the first site to be recognized as an International Dark Sky Reserve, followed rapidly by others in the USA, Canada and more slowly in other parts of the world. Today, there are around 60 Dark Sky Reserves or parks recognized by the organization that have the precise criteria to control light pollution in more or less large regulated buffer zones. The harmonization and the promotion of common rules are at the core of the meeting *The Right to Dark Skies*.

1. <http://whc.unesco.org/en/astronomy/>

2. The IDA International Dark-Sky Association, <http://darksky.org/>

These two main branches of initiatives converged for a first apogee with the International Year of Astronomy in 2009, promoted jointly by UNESCO and the IAU, with numerous important events around the world to celebrate it, both for the outreach of the scientific knowledge of astronomy and for the recognition of its heritage and cultural value. A consequence was the beginning of cooperation between the IAU and ICOMOS in order to prepare a Thematic Study on the Heritage of Astronomy from the perspective of the World Heritage Convention. The official ICOMOS Thematic Study could be considered as a World Heritage Convention document to help the States Parties prepare nominations. There were also some regional initiatives, such as the important meeting on Modern Astronomical Observatories organized in Hamburg by the Observatory (Gudrun Wolfschmidt) and ICOMOS-Germany (Michael Petzel) (Wolfschmidt, 2009). It was the world's first attempt to put forward a kind of inventory for observatories from the seventeenth to the twentieth centuries, or promoted by Western Science.

In parallel, the IAU Commission for the History and the Heritage of Astronomy (whose current President is Clive Ruggles) and ICOMOS, as an Advisory Body to the UNESCO World Heritage Committee (under Michel Cotte) launched an extensive programme to gather a representative set of authors from all around the world. As stated by the introduction to the Thematic Study:

The central aim of this study is to extend these efforts by presenting a global survey of astronomical heritage from the standpoint of the identification and evaluation of heritage sites relating to astronomy and archaeoastronomy that might have the potential to demonstrate Outstanding Universal Value (OUV)—the term of recognition for the value properties need to manifest in order to be inscribed on the World Heritage List. (Ruggles and Cotte, 2010)

Framed by two notable introduction and conclusion chapters, the Thematic Study contains a global, regional and/or thematic overview and some representative case studies designed in line with the World Heritage methodology. The chronological and geographical part of the overview must be highlighted, as well as the balance between great epochs and world regions. The topics covered by the authors are:

- Earlier Prehistory
- Pre-Columbian and Indigenous America
- Later Prehistoric Europe
- Later Prehistoric and Indigenous Africa, Asia (not covered elsewhere), Australasia and Oceania
- Ancient and the Medieval Far East
- India
- Mesopotamia and the Middle East
- Ancient Egypt
- The Classical World (Ancient Greece; the Hellenistic Period; Rome)
- Arab and Islamic Astronomy
- Medieval Astronomy in Europe
- Astronomy from the Renaissance to the Mid-Twentieth Century
- Contemporary Astronomy and Astrophysics (since the mid-twentieth century)
- Space Astronomy (including launch sites)
- 'Windows to the Universe' (Dark Sky sites)

The global framework for more in-depth local studies and methodological recommendations was addressed by the baseline study. The Thematic Study was presented to the 34th Session of the World Heritage Committee, held in Brasília, Brazil, from 25 July to 3 August 2010. Important examples gave a good idea about what could potentially be future World Heritage nominations. The editors of the Thematic Study claim that this was not at all the objective of the collective work, but the goal was more of a first systematic survey of the Heritage of Astronomy and Archaeoastronomy, and an attempt to define the identification and description of this kind of heritage.

Following the joint Thematic Study, in 2012 the IAU Commission in charge of Astronomical Heritage launched the Heritage of Astronomy web portal.³ The initial idea was to call for Extended Case Studies, following a process inspired by the World Heritage Convention, especially that of the Tentative Lists. They also envisaged that a selection of the Extended Case Studies could support a second volume of the Thematic Study, to complete the first one and to be closer to making definitive nominations. During the same year, the World Heritage Committee at its 37th Session (held in Phnom Penh, Cambodia, from 17 to 27 June 2013)

3. <http://www2.astronomicalheritage.net/>

asked for a Global Thematic Study on the Heritage of Science and Technology, including Space Technologies.

Over the last few years, the already existing activities and initiatives have developed and have grown. In 2013, a new Memorandum of Understanding was signed by the IAU and UNESCO, which updated the initial one. The main goals concerned ‘launching projects and actions in line with the Global Strategy for a representative and balanced World Heritage List’ and to ‘contribute to the enhancement of a link between Science and Culture’.⁴

In August 2014, for the first time, the 40th Scientific Assembly of the Committee on Space Research (COSPAR) held in Moscow echoed the World Heritage Committee by paying specific attention to technological space heritage. During the 39th Session of the World Heritage Committee (held in Bonn, Germany, from 28 June to 8 July 2015), a joint side event on the Heritage of Astronomy and archaeoastronomy was organized by the World Heritage Centre (run by Anna Sidorenko), with the involvement of the IAU Commission and ICOMOS. Finally, the IAU XXIX General Assembly held in Honolulu, Hawaii, from 3 to 14 August 2015 set forth the organization of an independent IAU Commission for the Heritage of Astronomy with a set of Working Groups.

Today’s Results Related to World Heritage List

The Scientific Community’s Intense Activities

Recent years of cooperation and joint work carried out in multidisciplinary teams have resulted in noteworthy activity in terms of international conferences, workshops and the organization of meetings. We can point out some of the most important of these, with the aim of bringing together different types of heritage and the World Heritage Convention. The below activities stem from different initiatives and organizers:

- Hamburg (Germany), for the Heritage of Modern Western Astronomy and its Inventory;
- Kazan (Russian Federation), for a Broader View of Modern Heritage and an Introduction of Technological Space Heritage;
- Tekapo Lake (New Zealand), Concerning Dark Sky Reserves

Related to Culture and Nature, and the Concept of the ‘Window to the Universe’;

- Cairo (Egypt), for General Issues Related to the Heritage of Astronomy and for the Importance of Archaeoastronomical Heritage;
- The COSPAR General Assembly (Russian Federation), for the In-Depth Study of Heritage of Space Conquest;
- Cozumel (Mexico), for exploring the matter of archaeoastronomy in context, especially in the Maya World;
- The IAU General Assembly Focus Meeting, (Hawaii, USA, 2015), for general questions on astronomical and archaeoastronomical heritage and their relationship with the World Heritage Convention;
- and so forth.

But What Really Happened on the World Heritage List During this Period?

As already stated, astronomical heritage is welcomed by the *Global Strategy for a Representative, Balanced and Credible World Heritage List* initiated by the World Heritage Committee.

The first question concerns sites inscribed onto the World Heritage List that express Outstanding Universal Value (OUV) mainly related to astronomy and/or closely related fields. Indeed we can see two or three sites related to astronomy on the World Heritage List, and not more! The second question is about the degree of correlation with the Initiative and the ICOMOS/IAU joint Thematic Study.

Struve Geodetic Arc is a serial nomination made by ten European countries: Belarus, Estonia, Finland, Latvia, Lithuania, Norway, the Republic of Moldova, the Russian Federation, Sweden and the Ukraine. It was inscribed onto the World Heritage List in 2005, under criteria (ii), (iii) and (vi). The elaboration of the nomination dossier took place at the end of 1990s and at the beginning of 2000s, which means before the general movement in favour of the Heritage of Astronomy Initiative. It could be seen as a pioneering proposal with an international serial approach that consequently went on to form one of the roots of the Initiative. On the other hand, it was a nomination that was clearly related to the end of the Cold War (the collapse of the Berlin Wall in 1989), with diplomatic aims

4. UNESCO & IAU Memorandum of Understanding, 2013

to promote joint cooperation between the Central, Northern and Eastern European countries that were divided by the two sides of the Iron Curtain. In other words, it was a very political nomination and decision by the World Heritage Committee, and not really a rational starting point for the promotion of Astronomical Heritage.

Furthermore, some scientific observations could be made about the Struve Geodetic Arc nomination. Firstly, it was not directly a Heritage of Astronomy nomination. If we wish to be strict about the term, it

is in fact a measurement of the Earth's dimension and size and not an observation of the sky. However, we can point out that astronomers have exclusively done this type of measurement throughout all epochs, in relation to the definition of the meridian and the passage of time. Friedrich Georg Wilhelm Struve himself was a famous astronomer and Director of the Pulkovo Observatory. Secondly, the Struve Arc measurement occurred at the end of a scientific movement lasting around two centuries for the exact measurement of the Earth. The movement started in France and England during the seventeenth century. The triangulation method was first implemented by Jean Picard and used for measuring and establishing the *Méridien de Paris* as early as the 1670s. The Picard method was used throughout the eighteenth and nineteenth centuries to determine different meridian lines all over the world, and to establish the exact shape and size of the Earth. Indeed, Struve Arc was the last great Earth measurement made by the Picard method of triangulation, in the middle of the nineteenth century (Cotte, 2010).

The Jantar Mantar of Jaipur from India was inscribed in 2010, under criteria (iii) and (iv). Its short description states:

The Jantar Mantar, in Jaipur, is an astronomical observation site built in the early 18th century. It includes a set of some 20 main fixed instruments. They are monumental examples in masonry of known instruments but which in many cases have specific characteristics of their own. Designed for the observation of astronomical positions with the naked eye, they embody several architectural and instrumental innovations. This is the most significant, most comprehensive, and the best preserved of India's historic observatories. It is an expression of the astronomical skills and cosmological concepts of the court of a scholarly prince at the end of the Mughal period.⁵

It is certainly an exceptional place for the late achievement of the naked eye observation of the sky, resulting from the very old Ptolemaic tradition throughout the lengthy Islamic astronomical period as shown by the heritage of Maragheh Observatory (Iran, thirteenth century) or by the Ulugh Beg's Observatory (Uzbekistan, fifteenth century) (Heidarzadeh, 2010). That Ulugh Beg's nomination likely resulted from news and events that came from the Initiative in different forms, but it was not directly related



Figure 1. Struve Geodetic Arc. © UNESCO, licensed under CC BY-SA 3.0 IGO.

5. <http://whc.unesco.org/en/list/1338/>

to it. Its presentation in the aforementioned Thematic Study resulted from the nomination dossier submitted by the State Party for evaluation, and not in the reverse sense.

Another nomination that was probably more directly influenced by the Initiative was the proposal by Macedonia for a possible archaeoastronomical site at Kokino. The nomination was evaluated in preparation for the 36th Session of the Committee, held in Saint Petersburg, Russian Federation, from 25 June to 5 July 2012. However, the ICOMOS evaluation advised to not inscribe the site as archaeoastronomical, and as a result, the State Party withdrew the nomination before any decision was made by the World Heritage Committee.

These are, in fact, very few examples, but we have to also take into account other World Heritage sites that have diversified attributes and broader OUV that encompass more than astronomy or have it as a central pillar of the nomination.

Archaeoastronomical Heritage among Sites with Broader Cultural Meanings

There are numerous examples of archaeoastronomical heritage among sites with broader cultural meanings. We have to mention the three main areas where a site's archaeoastronomical value is important within the site's larger.

The first and the oldest of these areas is clearly the Ancient Egypt of the Pharaoh Dynasties with *Nubian Monuments from Abu Simbel to Philae*, inscribed on the World Heritage List in 1979, under criteria (i), (iii) and (vi), *Ancient Thebes with its Necropolis*, inscribed onto the World Heritage List in 1979, under (i), (iii) and (vi) and *Memphis and its Necropolis – the Pyramid Fields from Giza to Dahshur*, inscribed onto the World Heritage List in 1979, under criteria (i), (iii) and (vi). However, apart the first site, the sites' statements of OUV don't mention their important astronomical significance by means of tangible proof from urbanism and architecture and nor do they mention their intangible meaning of social and spiritual values (Cotte, 2016)!

We must also note the very important role of astronomical observation within pre-Columbian heritage in Mesoamerica, with numerous

sites bearing tangible attributes related to archaeoastronomy: *Tikal National Park*, Guatemala, inscribed in 1979, under criteria (i), (iii), (iv), (ix) and (x); the *Maya Site of Copan*, Honduras, inscribed in 1980, under criteria (iv) and (vi); the *Archaeological Park and Ruins of Quirigua*, Guatemala, inscribed in 1981, under criteria (i), (ii) and (iv); the *Historic Centre of Oaxaca and Archaeological Site of Monte Albán*, Mexico, inscribed in 1987, under (i), (ii), (iii) and (iv), the *Pre-Hispanic City and National Park of Palenque*, Mexico, inscribed in 1987, under criteria (i), (ii), (iii) and (iv); the *Pre-Hispanic City of Teotihuacan*, Mexico, inscribed in 1987, under criteria (i), (ii), (iii), (iv) and (vi), *Pre-Hispanic City of Chichen-Itza*, Mexico, inscribed in 1988, under criteria (i), (ii) and (iii); *El Tajín, Pre-Hispanic City*, Mexico, inscribed in 1992, under criteria (iii) and (iv); and the *Pre-Hispanic Town of Uxmal*, Mexico, inscribed in 1996, under criteria (i), (ii) and (iii). A number of these sites were inscribed during the first period of the Convention, but their descriptions generally refer to the astronomical attributes along with others such as architectural, historical and social attributes (Cotte, 2016).

The last main case is the example of megaliths in Western Europe, with the emblematic Stonehenge, Avebury and Associated Sites, England, UK, inscribed in 1986, under criteria (i), (ii) and (iii). It very clearly illustrates the problem for the recognition of archaeoastronomical value in the short front-page description of the site: 'The two sanctuaries consist of circles of menhirs arranged in a pattern whose astronomical significance is still being explored'. Indeed important progress was made in this way, and the OUV could be improved for a future statement. Other megalith sites could also bear astronomical significance such as the Heart of Neolithic Orkney, Scotland, UK, inscribed in 1999, under criteria (i), (ii), (iii) and (iv) or the Brú na Bóinne - Archaeological Ensemble of the Bend of the Boyne, Ireland, inscribed in 1993, under criteria (i), (iii) and (iv). Some others sites are on the national Tentative Lists of Portugal, Spain and France.

Historical Periods and the Heritage of Astronomy as Associated Value

We have some symbolic examples for more recent times, such as the Ulugh-Beg's Observatory in central Asia. It is an attribute of the *Samarkand – Crossroad of Cultures* World Heritage site, in

Uzbekistan, inscribed in 2001, under criteria (i), (ii) and (iv). The short description of the site on the World Heritage webpage clearly shows the strong interweaving of astronomical meaning with other architectural and cultural values:

The historic town of Samarkand is a crossroad and melting pot of the world's cultures. Founded in the 7th century B.C. as ancient Afrasiab, Samarkand had its most significant development in the Timurid period from the 14th to the 15th centuries. The major monuments include the Registan Mosque and madrasas, Bibi-Khanum Mosque,

the Shakhi-Zinda compound and the Gur-Emir ensemble, as well as Ulugh-Beg's Observatory.⁶

Nevertheless, the Ulugh-Beg's Observatory is not at all mentioned within the three criteria it is inscribed under, that express Samarkand's OUV.

The *Historic Monuments of Dengfeng* in "The Centre of Heaven and Earth", China, was inscribed onto the World Heritage List 2010, under criteria (iii) and (vi). Its OUV very clearly expresses



Figure 2. Stonehenge. © UNESCO licensed under CC BY-SA 3.0 IGO.

6. <http://whc.unesco.org/en/list/603/>

astronomical value as a framework for broader meaning. The link of astronomical features with human beliefs and socio-political organization is pivotal. It is probably the first nomination to be inscribed in the spirit of the Initiative and Thematic Study (Xu, 2010). Criterion (iii) for which it is inscribed is very significant:

The astronomical idea of the centre of heaven and earth is strongly linked with the idea of imperial power, with the propitiousness of establishing capitals at the centre of heaven and earth, and with its natural attribute, Mount Songshan and the ceremonies and ritual associated with it. The serial property reflects the significance of the area in terms of prestige and patronage.⁷

Finally, concerning Modern astronomy in Europe, we can mention some observatories among heritage sites that have broader cultural meaning. An example of this is Maritime Greenwich, England, UK, inscribed in 1997 under criteria (i), (ii), (iv) and (vi). This ensemble of buildings at Greenwich was devoted to sciences linked with the seas, with a peculiar urbanism related to its functions, and among the buildings lies the Old Royal Observatory, one of the first classical European observatories. Another example is the Pulkovo Observatory listed among a very impressive set of constructions and architectural value of the very large inscription, the Historic Centre of Saint Petersburg and Related Groups of Monuments, Russian Federation,



Figure 3. Maritime Greenwich. © Steve F-E-Cameron, licenced under CC BY-SA 3.0.

inscribed in 1990 under criteria (i), (ii), (iv) and (vi). In this World Heritage site, the observatory is recognized more for its architectural value and global historical significance in context of the Russian capital in the nineteenth century than for its scientific meaning.

Here we reach a point where epistemological difficulties arise and make it difficult to apply the World Heritage Convention to the heritage of astronomy and archaeoastronomy. The very limited number of credible nominations provided as a result of this Initiative is perhaps a sign of these issues.

Epistemological Difficulties Related to Astronomical Heritage

A Very Specific Field of Heritage or Not?

What were the main theoretical issues resulting from the numerous aforementioned meetings and workshops and from the cooperation between the IAU and ICOMOS?

Firstly, we can point out the main conceptual questions raised over the last few years. For instance, what does the term ‘astronomy’ mean in a broader sense for humankind in general, and not only for the present time and for the ‘modern scientific astronomy’? Frequently, astronomers see past times of astronomy almost as a ‘prehistoric period’, with generally limited knowledge and an invasion of ‘false science’ or ‘false use’, as in the case of astrology, or having more pleasant facets such as ‘cosmological legends and myths’. As the promoters of multidisciplinary work, where the exact sciences and human sciences meet, we clearly must not accept such a reductive vision of the past and we should nullify poor and subjective evaluations of the past uses made only based on the results of astronomy. This could be seen as reducing the scope of heritage.

What are the main characteristics of the Heritage of Astronomy? We need to define it in a broader sense to involve any type of observations of the sky and any type of technical use or social use of its results. The Thematic Study clearly underlines that every civilization has a specific relationship with the sky and consequently these particular relationships have shaped cosmological representations and beliefs, and have also influenced in certain sites devoted to observations and celebrations. Furthermore, astronomy is more than just rational

7. Ibid.

knowledge, forming a well-identified corpus of data and methods. It is part of a more global cultural system that involves technical, social and philosophical issues that have complex relationships and mutual influence. Astronomy alone is not a recommended way to study heritage; it must be studied in context or it could lead to considerable misunderstandings.

Cooperation between the IAU and ICOMOS has brought about a joint methodology, well balanced between scientific issues and heritage issues for defining and studying astronomical heritage correctly. But is it in-depth enough? Probably not.

Nevertheless, the methodology based on the *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention* (World Heritage Committee, 2015) shows both important similarities with 'classical' architectural or urban heritage and some strong specific features. What is similar with classical heritage, for instance, is the strong relationship with tangible heritage, as an initial step of recognition by the World Heritage Convention, and with intangible heritage giving context and meaning to the tangible one. For instance, what is more specific to astronomical heritage is the crucial role of instruments such as telescopes and more largely, of moveable artefacts for technicians and sciences. The moveable artefacts indeed meet a specific difficulty in applying the World Heritage Convention, because if they are essential for the astronomer or for the engineer they are not very relevant in the scope of the Convention. They are more secondary attributes that give context to the site rather than major attributes that support its OUV!

What is also extremely important, especially for modern astronomy, is the role of innovation with the permanent need to update machines/instruments to get more accurate observations and more in-depth data of the sky. Indeed, such specific features are not peculiar to the heritage of astronomy in the context of the World Heritage Convention; we already had found similar difficulties with the heritage of industry and science in general. Innovation and change are a common value to these connected fields of human activities and knowledge, but they could hamper heritage conservation.⁸ It is a contradiction between heritage requirements and science development.

Such heritage sites generally remain as living places and are always used at the front edge of the development of technology and science. In terms of heritage, such places have specific conservation problems, which have not really been studied until now as precise case studies, nor with credible proposals by the observatories' managers and heritage advisers.

Certainly, one of the main weaknesses of the Extended Case Study process is the inability of those promoting sites' nominations to clearly place the conservation problem in line with the reference terms of the World Heritage Convention, and beyond that, to really integrate what the concept of heritage means as 'authenticity' and 'integrity'. Such terms are generally associated to scientific results and demonstrations themselves by astronomers (original and complete data and theoretical demonstrations), but are not related to the tangible set of constructions that make up the materiality of the heritage site. The limit of inconsistency is probably reached by the complete contradiction of the wish to have some important contemporary observatories recognized as World Heritage sites and to keep free the total capacity to demolish everything on the site to replace obsolete instruments/edifices with new ones, without consideration for the heritage. Even with many meetings on and information about the World Heritage Convention, we remain close to zero on this matter. Recognizing living places of astronomy and science is undeniably a very delicate and complex matter, and we must work together so that we can propose credible solutions to the World Heritage Committee in order to be able to take real care of the heritage and also the scientific developments in the future.

Could the Dark Sky Itself Be Listed?

The sky is obviously the astronomer's object of study, and all devices and artefacts found in an observatory are there to help the astronomer in his/her task. But the sky cannot be defined as a given site, nor does it belong to a State Party! A World Heritage Listing clearly requires a mapping of the site, the names of the site owners, the managerial body, the State Party responsible for the site and so on. The sky itself is not a property in a juridical sense or even part of a property, but it remains the object of knowledge and is at the very core of the functioning of a site. The difficulty in recognizing the sky alone is clearly this: it is impossible to define it within the terms of the

8. <http://www.icomos.org/fr/notre-action/participation-aux-conventions-internationales/convention-du-patrimoine-mondial/etudes-thematiques>

World Heritage Convention. It could, nevertheless, be stated as an environmental quality of a site by its exceptional visibility. But, it cannot be considered as a fully delimited site that has OUV by itself.

The sky must of course be considered as a major natural feature of the Earth's environment, but it seems strange that humans can attribute an OUV to the universe; in other words, to associate a human label of universality to the universe! It is clearly a paradox. In philosophical terms, it opens questions that deal directly with an anthropocentric approach of the universe. In such a case, that means that humankind bestows upon the sky a human recognition and value to its global astrophysical environment. By that, it joins antique cosmologies and medieval descriptions of the Earth as the centre of the universe, and humankind by its gods as rulers of the universe. Clearly, contemporary astrophysics shows us humans' tiny place within the universe and the idea of giving a human value to the sky, even if it is called OUV, seems to not make any sense at all.

In terms of the World Heritage Convention, this leads us to come back to the site itself and to define it as a 'windows to the universe', as astronomers sometimes call it. We therefore need to define what is a window to the universe and to study its attributes and qualities as a cluster of local attributes for a possible nomination. Clearly the 'dark sky' alone doesn't meet World Heritage Convention requirements. It could, however, be an essential attribute among others supporting the exceptionality of a given place.

In this way, dark sky quality can be considered as a local environmental attribute. Clearly, intrinsic dark sky quality is a natural attribute of a site among other natural and/or cultural attributes. Assessing its importance will involve an analysis of its objective properties (purity as minimum of physical constraint) and of its aesthetic qualities in the context of a local skyline. Dark sky quality is one local environmental attribute among a cluster of natural attributes. It contributes to form its natural environmental component. One of the best ways to use the value of the dark sky is among a set of other remarkable attributes that characterize a generally outstanding landscape both at night and during the day. Potential OUV results from the combination of a set of extraordinary attributes that contribute to the significance and beauty of the whole.

Furthermore, a very important associated issue is the preservation and management of dark sky qualities in the site's surrounding area, both for scientific efficiency and for heritage preservation. The noteworthy international movement nowadays supports the promotion and the recognition of the dark sky reserves, and it faces a very important challenge to control human light pollution on a large scale. The maintenance of dark sky quality could certainly, in itself, be a major management goal for an astronomical site and its surroundings. This has implications relating to the concept of the buffer zone of the World Heritage methodology (World Heritage Committee, 2015).

Conclusion

Whether we wish to be frank, results from the Initiative for World Heritage listing are not very convincing at the time being and for the immediate future, apart perhaps from some well identified individual archaeoastronomical sites, such as Chankillo in Peru and Risco Caído in Gran Canaria, Spain. These sites are waiting to finish their nomination dossiers and to receive the final decision from the State Party in order to apply for World Heritage listing. For Modern astronomy, the situation seems slightly confused, firstly by the inertia for the few sites that have possible individual OUV and secondly, by the difficulty to put together really convincing international serial nominations. This is due to their complexity, resulting simultaneously from the inherent difficulties for promoting international nominations, to the theoretical difficulties of living sites that are not really well studied such as heritage sites, to difficulties inherent to specific local contexts, to a lack of real understanding of the Convention's goals in recognizing a heritage site.

Finally, astronomical heritage looks like as a very paradigmatic example of the heritage of sciences and technology, both for its promising possibilities to renew the subject of heritage in a World Heritage context and for its specific difficulties. It faces remarkable problems in being recognized due to its composite nature with its large set of different attributes going from intangible fixed ones to moveable instruments, and from the importance of data conservation to pure and applied knowledge. Frequently, the site by itself and by its architectural components are more of a physical

support and an envelope than the core of its scientific value. The site's monumental appearance is very minor for science itself. The sky itself is the object of observation but it is reduced to an environmental quality in pure heritage terms! It is clear that the World Heritage Convention (1972) doesn't recognize by itself all the facets of scientific heritage. The UNESCO Convention for the Safeguarding of Intangible Cultural Heritage (2003) and some programmes for archives or human artefacts must also be taken in consideration. But is the joint use of these tools possible? To date, we have no examples or precedence of this. Could scientific recognition by UNESCO be the first? It is not impossible to imagine.

Efforts must be pursued with tenacity and with multidisciplinary respect, both by scientists and by heritage authorities. Efforts also may take local communities into consideration when they wish to promote local sites within real and notable meanings with possible and valuable integration in serial nominations. The need of these three kind of stakeholders and a good balance between them must be maintained to open up real perspectives.

References

Cotte, M. 2010. Applied astronomy in modern times. C. Ruggles and M. Cotte (eds), *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention*. Paris, ICOMOS, pp. 224-228.

—. 2016. Archaeoastronomy and heritage conservation: some principles to guide international collaboration. N. Sanz (ed.), *El Papel de la Arqueoastronomía en el Mundo Maya: el Caso de la Isla de Cozumel*. Mexico City, UNESCO, pp. 167-182.

Heidarzadeh, T. 2010. Islamic astronomy. C. Ruggles and M. Cotte (eds), *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention*. Paris, ICOMOS, pp. 155-168.

Ruggles, C. and Cotte, M. (eds). 2010. *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention*. Paris, ICOMOS.

UNESCO World Heritage Committee. 2015. *The Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*. Paris, UNESCO World Heritage Centre.

Wolfschmidt, G. (ed.). 2009. *Astronomical Observatories: from Classical Astronomy to Modern Astrophysics*. Berlin, ICOMOS (Monuments and Sites XVIII).

Xu, F. 2010. Denfend observatory, China. C. Ruggles and M. Cotte (eds), *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention*. Paris, ICOMOS, pp. 90-93.

How to Protect Astronomical Sites and other Environmentally Sensitive Locations from Light Pollution

Richard J. Wainscoat

Institute for Astronomy, University of Hawaii, USA

Abstract

Astronomical observatories are extremely vulnerable to increases in sky brightness coming from artificial lighting. Sky brightness increases have led to the closure of some major observatories and have limited the productivity of many others. The remaining major observatory sites are located at remote mountaintops, but these sites are becoming progressively more threatened by light pollution.

Until recently, the most energy efficient forms of lighting were sodium based, emitting most of their light at redder wavelengths. Astronomers and other environmentally sensitive areas benefited from the amber colour of the sodium lighting, which is deficient in blue light. Blue light is efficiently scattered by air molecules (Rayleigh scattering) and is well known to be harmful to a wide range of endangered species, such as turtles and birds. The natural night sky is extremely dark at blue wavelengths (when the Moon is down) and is extremely precious to astronomical research.

The energy efficiency of light emitting diodes (LEDs) has improved dramatically in the last decade. Since LEDs are a solid-state lighting device, their lifetime is much longer than high-intensity discharge lamps such as sodium and metal halide (for which the bulbs have a lifetime of approximately five years). This results in lower maintenance costs, which makes them attractive to many users, including governments. As the light from LEDs is easier to direct, most lighting tasks can now be lit more efficiently with LEDs than by other forms of lighting. White LEDs, which typically form white light from blue LED emission and a phosphor, have a spectral energy distribution that is very damaging to astronomy, since much of the light they emit is bluer than sodium lights and is much more readily scattered by the atmosphere. For casual stargazers with scotopic adaptation, the blue light from LEDs causes a major increase in perceived sky brightness and consequent inability to see faint objects.

A worldwide switch to LED lighting is inevitable. Practical steps are described here that must be taken to minimise the impact of this switch on astronomical observatory sites, on animals (such as birds and turtles) that are affected by light and on other environmentally sensitive locations. The proposed steps include very careful shielding of the lights, limitations on the amount of light, dimming of the lights later at night when there are less pedestrians, strict spectral management, including reduction or elimination of blue light from the LEDs and rigorous enforcement of lighting regulations.

Resumen

Los observatorios astronómicos son extremadamente vulnerables a aumentos en el resplandor del cielo procedentes de iluminación artificial. Los aumentos en el resplandor del cielo han conducido al cierre de algunos importantes observatorios y han limitado la productividad de muchos otros. Los observatorios restantes están ubicados en remotas cimas de montañas, pero se están viendo cada vez más amenazados por la contaminación lumínica.

Hasta hace poco, las formas de iluminación de mayor eficiencia energética eran las basadas en sodio, que emiten la mayor parte de su luz a longitudes de onda más rojas. Los astrónomos y otras áreas medioambientalmente sensibles se beneficiaron del color ámbar de la iluminación con lámparas de sodio, la cual es deficiente en luz azul. La luz azul es eficientemente dispersada por las moléculas del aire (dispersión de Rayleigh) y se sabe a ciencia cierta que es perjudicial para una amplia variedad de especies en peligro de extinción, como tortugas y aves. El cielo nocturno natural es extremadamente oscuro a longitudes de onda azules (cuando la Luna está en la parte baja del cielo) y es algo sumamente valioso para la investigación astronómica.

La eficiencia energética de los diodos emisores de luz (LED) ha mejorado radicalmente en la última década. Puesto que los LED son un dispositivo de iluminación de estado sólido, su vida útil es mucho más larga que la de las lámparas de descarga de alta intensidad, como las de sodio y haluro metálico (cuyos focos tienen una vida útil de aproximadamente cinco años). Esta característica de los LED da lugar a gastos de mantenimiento inferiores, lo que los hace atractivos para muchos usuarios, incluyendo gobiernos. Como la luz de los LED es más fácil de dirigir, la mayoría de las tareas de iluminación pueden ahora alumbrarse con mayor eficiencia. Los LED blancos, que normalmente forman luz blanca a partir de la emisión de LED azules y un fósforo, tienen una distribución de energía espectral que resulta muy perjudicial para la astronomía, puesto que gran parte de la luz que emiten es más azul que las luces de sodio y es dispersada mucho más fácilmente por la atmósfera. Para los observadores casuales de estrellas con adaptación escotópica, la luz azul de los LED provoca un gran aumento en el resplandor del cielo percibido y la consiguiente incapacidad para ver objetos apenas visibles.

Es inevitable un cambio a nivel mundial hacia la iluminación con LED. En este escrito se describen medidas prácticas que deben adoptarse para minimizar el impacto de este cambio sobre los sitios de observatorios astronómicos, sobre los animales (como aves y tortugas) que se ven afectados por la luz y sobre otros lugares medioambientalmente sensibles. Las medidas propuestas incluyen la protección minuciosa de las luces; las limitaciones en la cantidad de luz; la atenuación de las luces en la noche, cuando hay menos transeúntes; una estricta gestión del espectro, incluyendo la reducción o eliminación de luz azul de los LED, y una rigurosa aplicación de las regulaciones sobre iluminación.

Introduction

Since the mercury vapour lamp came into widespread usage in the 1930s, humankind's view of the dark night sky has been slowly but incessantly compromised by the increased sky brightness coming from artificial lighting. The slow increase in sky brightness — barely noticeable over a timescale of one year — but profound on a timescale of ten years — has been accepted by society as the 'price of progress.' The new world atlas of light pollution (Falchi et al., 2016) shows that much of the world's population now lives in locations where the Milky Way cannot be seen, and an entire generation of children has now grown up without ever having seen the Milky Way. Mount Wilson Observatory and Palomar Observatory in California, once humankind's most powerful observatories, have been rendered impotent by growing light pollution.

Some increase in sky brightness from reflection of light off the ground from urban lighting is inevitable. However, there is

widespread use of unshielded lights and these lights are one of the main sources of light pollution. Improperly shielded lights increase sky glow, waste energy, cause glare and produce light trespass. Strict lighting ordinances are required to eliminate or reduce the use of unshielded lighting.

In many locations, contemporary lighting is sodium based. The most common form is high-pressure sodium (HPS), which emits most of its light as pressure-broadened emission centred at 589 nm. A weaker sodium line near 569 nm adds yellow light and much weaker lines at 465, 498, 515 and 616 nm add some additional red, green and blue light. With an energy efficiency of approximately 100 lumens/Watt, HPS is more energy efficient than metal halide and most other forms of lighting, making it a popular lighting source across the planet. It is commonly used near major astronomical observatories and other environmentally sensitive locations, because most of its light is emitted close to, but redward of the photopic

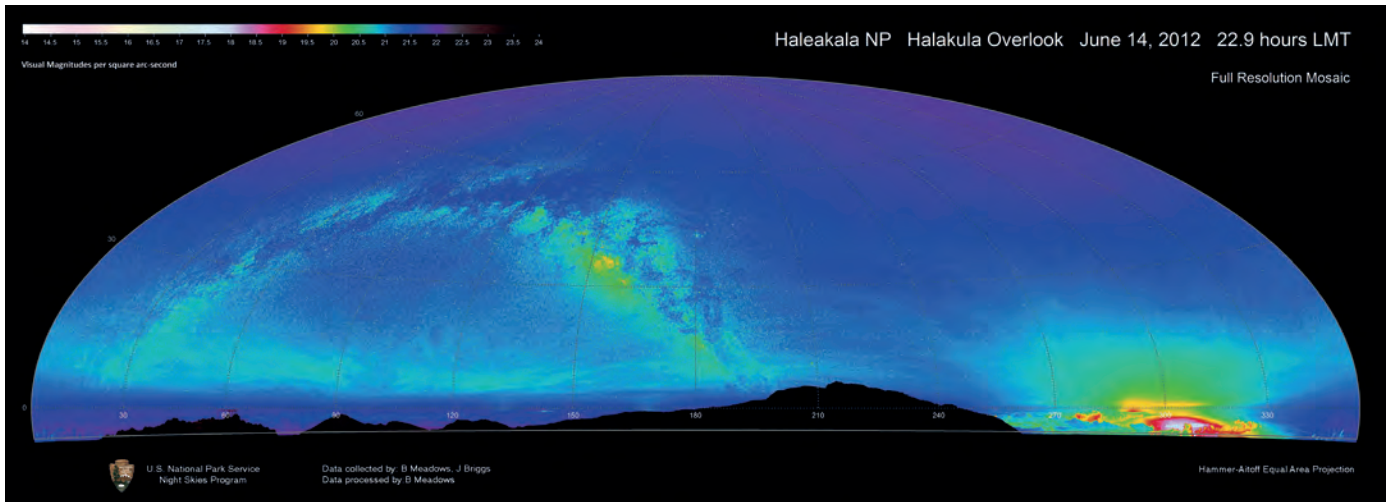


Figure 1. All sky projection of night sky brightness measured by the US National Park Service, seen from Haleakala on the island of Maui. The Milky Way is seen on the left side of this image. White, red and yellow colours represent the brightest light levels. Green represents intermediate brightness, blue represents darker sky and the darkest sky is shown as purple. The red and white region on the lower right shows light from the towns of Kahului and Wailuku on Maui; immediately above, the yellow and green colours show sky glow from Honolulu. © Dan Duriscoe.

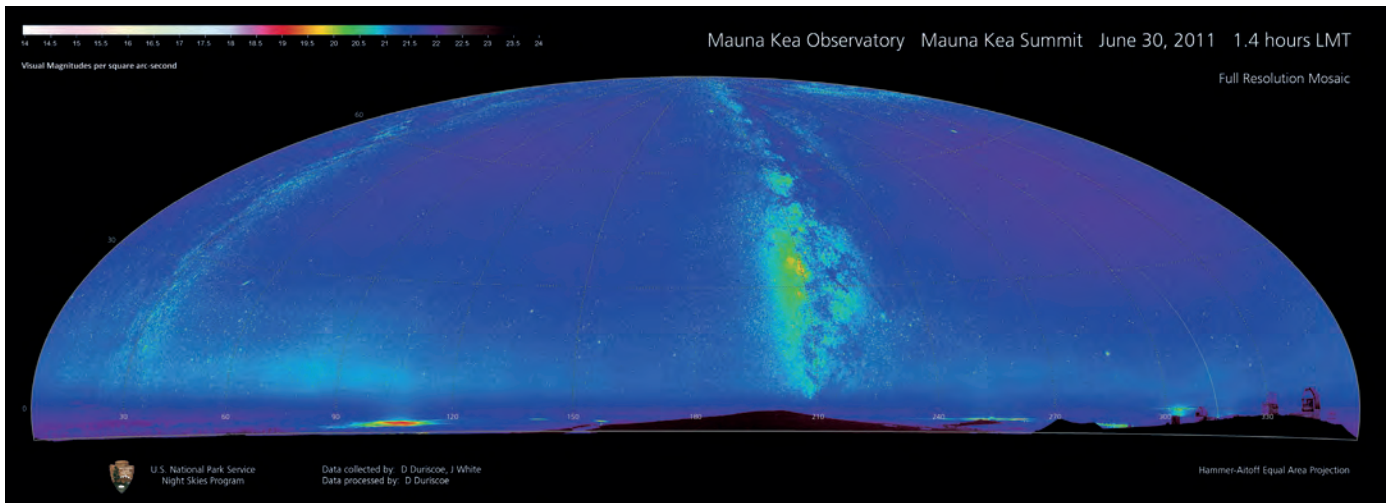


Figure 2. All sky projection of night sky brightness measured by the US National Park Service, seen from Maunakea on the island of Hawaii. The Milky Way is seen on the extreme left side of this image and near the centre. Red and yellow colours represent the brightest light levels, green represents intermediate brightness, blue represents the darker sky and the darkest sky is shown as purple. The red region on the lower left shows light from the town of Hilo. The small green glow on the lower right is caused by Honolulu. © Dan Duriscoe.

peak at 555 nm, making it less vulnerable to Rayleigh scattering. Low-pressure sodium (LPS) lighting is very energy efficient, approaching 200 lumens/Watt. This high-energy efficiency is the reason for its adoption away from observatories. The light from LPS lamps is near monochromatic at 589 nm (with an amber hue), which makes it very attractive for use near observatories, since its light can be filtered out, and only affects the one wavelength that is already compromised for spectroscopy by natural sodium emission in the upper atmosphere. The near-monochromatic light from LPS lamps has made them unpopular due to the lack of colour rendition. The long cylindrical bulbs also make efficient light distribution more challenging.

Solid-state lighting is rapidly replacing other forms of lighting. Light emitting diodes (LEDs) have much longer lifetimes than high-intensity discharge lamps, which reduces maintenance costs. Nearly all white LEDs are based upon a blue LED that emits light near 450 nm in wavelength and a phosphor that converts some of the blue light to green, yellow, orange and red light, producing a light that is perceived as white. All white LEDs have substantially more blue and green light than sodium lighting.

Shorter wavelength light (blue and green colours) is more harmful to astronomy because of the strong wavelength dependence of Rayleigh scattering of light on air molecules in the atmosphere. The scattering is proportional to wavelength^{-4} , meaning that blue light at 450 nm is scattered almost three times more readily than amber light at 589 nm. The natural night sky is very dark in the blue part of the spectrum and the dark-adapted (scotopic) human eye is more sensitive to blue light. Professional astronomers and casual sky gazers are therefore extremely vulnerable to the increase in sky brightness that will come from switching to LED lighting.

Many species are affected by light at night. Take for example endangered turtles: mothers become confused by light when nesting and hatchlings are confused by artificial light sources when trying to find the ocean. Likewise, in Hawaii, the endangered Newell's shearwater seabird becomes confused by unshielded light sources, circling them until they become exhausted and fall to the ground, where they may die or become vulnerable to predators.

Fortunately, the methods that are appropriate for protecting an astronomical observatory from light pollution, including limiting the spectral energy distribution and shielding, are the same methods that are needed to protect many species that are affected by light at night.

Methods to Protect Observatory Sites and Other Environmentally Sensitive Locations

Below, a series of steps are detailed that must be taken in order to preserve the dark sky over observatory sites and in other environmentally sensitive locations. In the coming decade, there will be a widespread change to LED lighting. This is a wonderful opportunity to replace aging, inefficient and improperly shielded light fixtures with properly shielded, more efficient lights. It is vital that the improved energy efficiency of LEDs is not simply used as an excuse to produce even more light at night.

Light Travels Enormous Distances

Strategies to protect the dark night sky at observatory sites must encompass large areas of land. Light's travel through the atmosphere is stopped only by the curvature of the Earth. Figure 1 shows that Honolulu, with a population of approximately 1 million, produces a large increase in sky brightness in the north-west, as seen from Haleakala Observatory on Maui, 175 km away. Figure 2 shows that Honolulu's impact on the Maunakea Observatory on the Island of Hawaii is less, because it is located at a larger distance (300 km). The sky glow from Sydney, Australia (population of almost 5 million), can be seen low on the horizon from Siding Spring Observatory, 350 km away.

Protection strategies for major observatory sites must therefore use many of the methods described below for large distances around the observatory site — at least 250 km in each direction, depending on the size of the urban development.

Shielding

One of the most important requirements for the protection of dark night skies is the full shielding of light sources. Light fixtures that do not emit any light above the horizontal plane must be used. Figure 3 shows a light source, identifying both ideal light distribution and the most harmful angles of light emission that contribute to light

pollution. All light emitted directly above the horizontal plane represents wasted energy. Light emitted at small angles above the horizontal is the most harmful, because it has a near 100% likelihood of interacting with the air and producing light pollution. Light emitted directly upwards is slightly less harmful as up to 80% of that light may escape the atmosphere (depending on air quality, altitude and colour) without interacting with the air. Light reflected directly upwards from the ground behaves similarly.

Fully shielded lights also improve road safety because they produce less glare. Some lighting engineers have argued that use of fully shielded lights requires closer pole spacing to achieve adequate lighting uniformity. This is no longer true for LED light fixtures. Exquisite control of the light emissions from LED fixtures is now possible and there are no longer any excuses for not making exclusive use of fully shielded fixtures.

Upward lighting of buildings, monuments and flags must be reduced or eliminated in the vicinity of observatory sites and in other environmentally sensitive locations. In general, this type of lighting should be avoided; when it is necessary, these types of structures should be lit from above using fully shielded light fixtures and the spectral power distribution of the light should be carefully controlled.

Amount of Light

In North America (United States, Canada and Mexico), the amount of light used for various lighting tasks usually follows recommended values established by the Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). Elsewhere, lighting levels usually follow recommended values from the International Commission on Illumination (CIE). The IESNA recommended lighting levels are typically lower than CIE recommended levels. There are strong cultural differences in expected lighting levels. European, South American and Asian pedestrian areas are typically more brightly lit at night than similar areas in North America. Using less light directly results in less light pollution.

Dimming and Curfews

Typical street lighting levels are based upon the number of pedestrians who use a street and the time of night when the highest

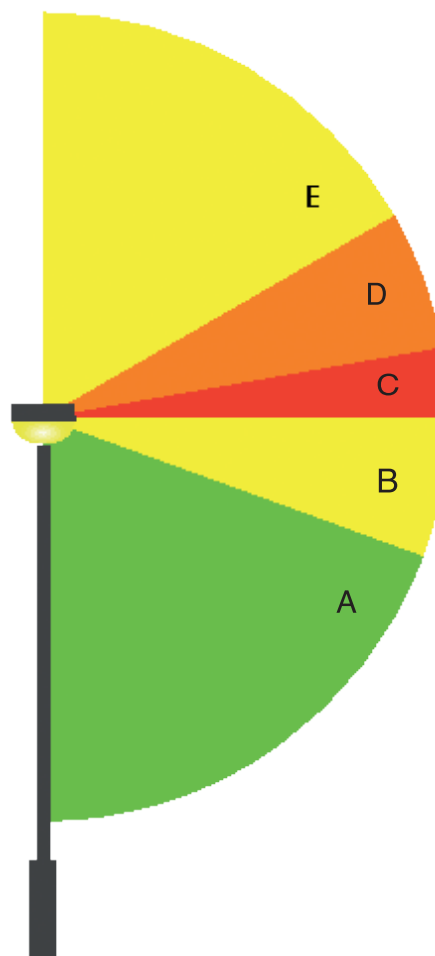


Figure 3. Angular distribution of light from a light fixture. The green region, marked 'A', between 0 and 70 degrees from directly down, is the ideal distribution of light from a light fixture. The yellow region, marked 'B', between 70 and 90 degrees from directly down, can cause glare and is more prone to reflection from surfaces, which can contribute to light pollution. The red region, marked 'C', between 0 and 10 degrees above the horizontal, is a major contributor to light pollution. Light emitted in this region is very likely to interact with air molecules or aerosols and produce light pollution. The orange region, marked 'D', between 10 and 30 degrees above the horizontal, is also a major contributor to light pollution. Light emitted in the yellow region marked 'E' is more likely to leave the atmosphere without causing light pollution than light emitted into the 'C' and 'D' regions. Fully shielded light fixtures emit no light into the 'C', 'D' and 'E' zones. All light emitted into the 'C', 'D' and 'E' zones is wasted energy. © Richard Wainscoat.

number of pedestrians are present (early evening). Later at night, there are significantly less pedestrians and a lower lighting level can be used. This reduces energy usage and light pollution.

The 2014 revision of the IESNA roadway lighting document (2014) describes ‘adaptive lighting’ for the first time and recognizes that if the criteria change during the night (for example, if there are less pedestrians), then the lighting level can be adjusted (dimmed). The CIE is also working on similar recommendations. Dimming of lights directly results in a corresponding reduction of the light pollution caused by reflection of the light into the sky.

Curfews have been adopted in astronomically sensitive areas. These typically require that high-output lighting, such as recreational lighting and lighting related to businesses, be turned off by a specified time, or when the business closes, until sunrise. In La Palma in the Canary Islands, high-pressure sodium lights are turned off later in the evening, leaving only the less harmful low-pressure sodium lighting on for the remainder of the night. A problem with lighting curfews is that they create a widespread misconception that telescopes are not turned on until the lights are turned off. Telescopes at major observatories are used every night from evening twilight until morning twilight, and most telescopes are operated every night of the year, including nights with a Full Moon. Near the Full Moon, astronomers adapt to the brighter sky by working at red or infrared wavelengths (where Rayleigh scattering of moonlight is less problematic), or by studying bright objects. Faint objects must be observed when the Moon is down, or between New Moon and Quarter Moon phase, when the sky is still naturally dark.

Efficient Use of Light and Reduction or Elimination of Light Trespass

Outdoor lighting must be used as efficiently as possible, and this is critically important near major astronomical observatories. The lighting designer must minimize the total number of lumens needed for the lighting task. By minimizing the total amount of light used, the energy usage will also be minimized, the impact on the night sky will be reduced and light trespass onto adjacent properties will be decreased. Light trespass is poor control of outdoor lighting, such

that someone else’s light enters your property or residence, detracting from your quality of life. Light trespass occurs when inefficient lighting is used, and light escapes from the specific task for which it has been installed. Light trespass in countries such as China and Taiwan has become so severe that many people are having difficulty sleeping at night. Light trespass is commonly caused by improperly shielded lights or when lights are aimed in a horizontal direction. Instead of aiming lights in a horizontal direction, shielded luminaires with asymmetric light throw should be selected.

Requiring efficient lighting and minimizing light trespass will inevitably place strong constraints on luminaire design: highly efficient luminaires must be specified and selected — these are typically not the cheapest. It must be noted, however, that the luminaire cost is typically only a small fraction of the total cost of a lighting installation, and that the poles, trenching and electrical work is much more expensive.

Is Lighting Needed?

One of the best ways to protect an astronomical site is to turn off lights. Different locations use different criteria to decide whether or not to use light at night. For example, freeways in California are only lit at intersections, but in Hawaii, most freeways are lit at night. It is clear that a decision not to light a roadway will result in less light pollution and reduce energy usage. In the United States, it is common practice to light urban roadways and intersections, but it is certainly not required. Widespread adoption of adaptive lighting (dimming) will hopefully reduce the impact of street lighting in the future.

Spectral Power Distribution of the Light

If all lights are fully shielded (as recommended in Section 2.2), then all light that produces light pollution that may affect observatory sites or endangered species is reflected light. The spectral power distribution (or spectral energy distribution) of the light is of critical importance. Surfaces that reflect light may be more or less grey in colour, such as roadways or concrete, or may be green in colour, such as vegetation. Luginbuhl et al. (2014) provides a detailed discussion of the impact of spectral power distribution on sky glow.

LAMP TYPE	LUMENS/WATT	COLOURS	TURTLE SAFE	S/P RATIO
LPS	200	AMBER	YES	0.2
HPS	100	bGYOR		0.6
AMBER LED	50	AMBER	YES	0.3
PC AMBER LED	100	BGYOR		
FILTERED LED	100	GYOR		0.8
LEAKY FILTER LED	100	bGYOR		
2400 K LED		bGYOR		
2700 K LED	102	BGYOR	NO	
3000 K LED	103	BGYOR	NO	1.2
4000 K LED	110	BGYOR	NO	1.5
WHITE/RED HYBRID	100	BGYOR	NO	1.5

Table 1. A list of some of the LED types presently available compared to existing LPS and HPS light sources. The LEDs are listed in the order of increasing damage to astronomy. The colour letters correspond to Blue, Green, Yellow, Orange and Red, with 'b' used to represent a small amount of blue light. Some LED types listed are prototypes and not yet in widespread production.

Low-pressure sodium light is the least harmful light source for professional astronomy, for casual stargazing and for many endangered species. It emits near-monochromatic light at 589 nm wavelength that is close to the eye's peak photopic sensitivity at 555 nm, but well redward of the eye's peak scotopic sensitivity at 507 nm. This reduces the impact to the dark-adapted human eye and the amber colour is subject to less Rayleigh scattering than bluer colours. In many places, LPS lighting is being replaced by LEDs; there is now only one manufacturer of LPS bulbs and few companies supply LPS luminaires. Light from LPS lamps is difficult to control and more energy efficient lighting is possible with LEDs. LED lighting also provides much better colour rendition, which is leading to replacement of LPS lighting by LEDs.

High-pressure sodium lighting is less harmful to astronomy and endangered species than blue-rich lighting, but is also being replaced by LED lighting. Since LED light is easier to control, it is more energy efficient than HPS lighting and large-scale replacements of HPS lighting with LED lighting are occurring throughout the world.

Widespread use of LEDs is inevitable, so controlling their spectral power distribution is critically important. Table 1 lists some of the LEDs presently available and compares their properties to LPS and HPS lights. The best LED for astronomy at the present time is the intrinsic amber LED that produces amber light directly using an AlInGaP LED. Its light is similar to LPS, but with a broader spectral emission. Unfortunately, this type of LED is not as energy efficient as the blue InGaN LED and this makes it unattractive, particularly for locations that have high energy costs (such as the Hawaiian and Canary Islands). Phosphor converted amber LEDs are a more energy efficient option. They use a blue InGaN LED and a phosphor to convert the blue light to amber light and have an even broader spectral emission. Both the direct amber and the phosphor converted amber LED have the same colour as the amber (or yellow) traffic signal and were developed for that purpose. The phosphor converted amber LED has better colour rendition than the direct amber LED because the phosphor converted amber LED emits green, yellow, orange and red light as well as amber light, whereas the direct amber LED emits only amber light. Filtered LEDs are the next best choice for use near observatories. White LEDs that emit only a small amount of blue light can be used for

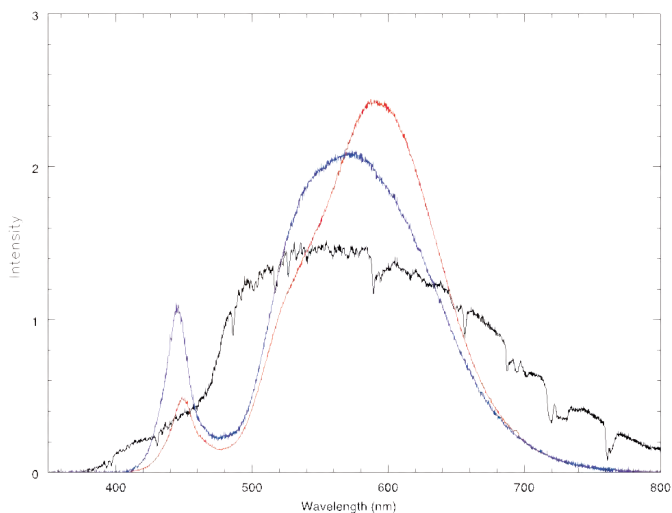


Figure 4. The spectrum of moonlight, compared to 3000 K and 4000 K LEDs. The black line is light from the full Moon. Moonlight is reflected sunlight. The structure in the moonlight spectrum is real and is caused by absorption of light in the Sun's atmosphere by hydrogen, calcium, magnesium, sodium and other elements, as well as absorption by Earth's atmosphere. The same instrument was used to record all three spectra. The red line is a 3000 K LED and the blue line is a 4000 K LED. Both LEDs were manufactured by Nichia. Violet corresponds to 410 nm wavelength, 450 nm is blue, 530 nm is green, 570 nm is yellow, 600 nm is orange and 630 nm is red. Human eyes are insensitive at light wavelengths below 400 nm and above 700 nm. © Richard Wainscoat.

tasks that require white light, but their usage should be strictly limited. White LEDs with larger amounts of blue light must be avoided.

The switch from sodium based lighting to LED lighting will increase reflection from the ground, because sodium lighting is deficient in green light, whereas LEDs are rich in green light which will increase reflection from plants.

The Correlated Colour Temperature (CCT) is increasingly being used to characterize white light sources. The CCT of a light source is the colour of the blackbody radiator that most closely matches the perceived colour of the light source. It is commonly used to characterize the spectral power distribution of LEDs. However, the spectral power distribution of LEDs is nothing like a blackbody,

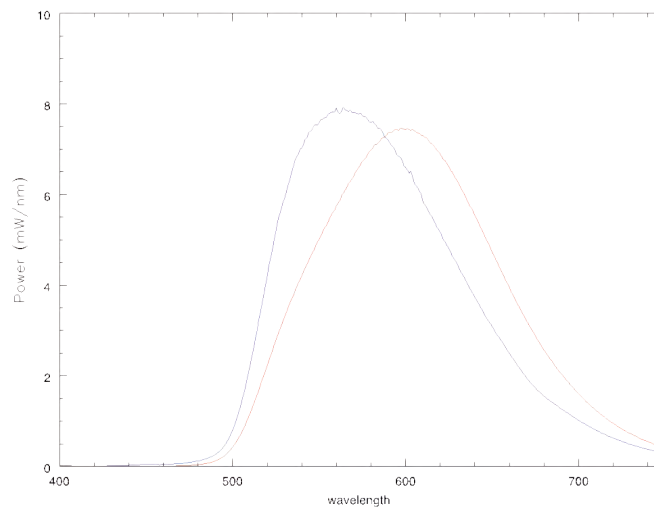


Figure 5. Spectral power distributions of filtered LEDs in use on the Island of Hawaii. The blue line shows a filtered cool white (5000 K) LED and the red line shows a filtered warm white (3000 K) LED. The effective CCT for the filtered cool white LED is ~3600 K and for the filtered warm white LED is ~2500 K. © Richard Wainscoat.

as shown in Figure 4. Figure 4 illustrates the spectral power distribution of a 3000 K LED, a 4000 K LED and moonlight, all measured by the same instrument. Moonlight has a similar spectral power distribution to a 4200 K blackbody. It is sunlight (5800 K blackbody modified by atomic absorptions) reflected from the brown coloured Moon surface. LED sales people have argued that moonlight has a similar CCT to 4000 K LEDs, so should not harm the environment. This argument is badly flawed. Firstly, the Moon is below the horizon on average for half of the night every lunation, and when the Moon is up and is between New and Quarter phase, it is not very bright. Secondly, the spectral power distribution of moonlight looks nothing like an LED. The 4000 K LED has a large amount of emission, near 450 nm (which is not present in moonlight), at the wavelength that regulates melatonin secretion and the circadian rhythm in most advanced forms of life. The LED is deficient in blue and blue-green light between 470 and 510 nm (because the phosphor cannot easily make blue-green light).

Filtered LEDs are in use on the Island of Hawaii, where the Maunakea Observatory is located. These represent an energy

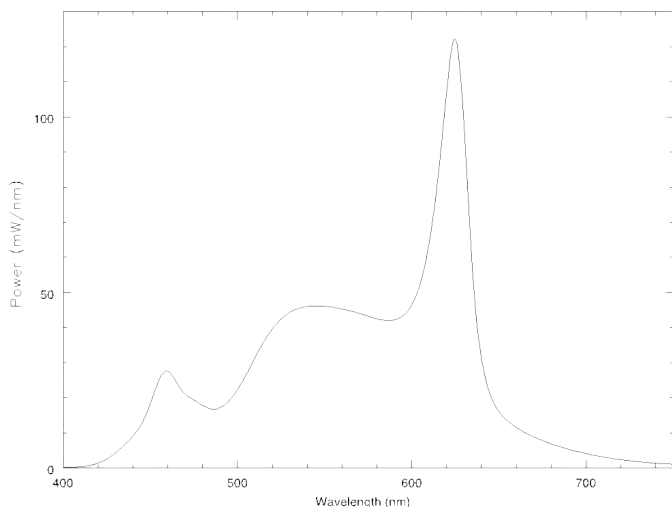


Figure 6. Spectral power distribution of a hybrid LED light that uses white and red LEDs. Note the strong blue emission near 460 nm and very strong red emission near 630 nm. © Richard Wainscoat.

efficient compromise. A filter is used to block the blue light from the LED, so that only the green, yellow, orange and red light pass through. Filtered 3000 K and 5000 K LEDs are in use. Spectra of these LEDs are shown in Figure 5. The filtered 3000 K LED light appears yellow in colour and the filtered 5000 K LED light has a yellow-green appearance. Hubble lighting has produced a variant of the filtered LED light using a fluorescent filter that converts blue light to green light rather than absorbing it.

One LED manufacturer, Cree, has recently introduced a hybrid 3150 K LED light that is composed of white LEDs rich in blue light with high CCT, supplemented by red LEDs with emission near 630 nm to reduce the effective CCT. This kind of light source is extremely damaging to astronomy because it combines large amounts of blue light near 450 nm (where the photopic eye is not very sensitive, but the scotopic eye is more sensitive), with large amounts of red light at 630 nm (where the human eye is also not very sensitive); it is noteworthy that astronomical telescopes are very sensitive at both 450 nm and 630 nm. The spectral power distribution of these LEDs is shown in Figure 6 and is very different from a blackbody and natural light sources. This type of lighting

should be avoided outdoors in any location where the dark night sky needs to be protected or where there are other environmental concerns, such as endangered species.

The Correlated Colour Temperature is an ineffective measure of the damage a light source will do to the dark night sky, because the spectral power distribution of LEDs departs wildly from a blackbody shape, particularly when different colours of LEDs are mixed, or when filters are used. It is clear that light sources with high CCT (4000 K and above) are very damaging. A second measure of the spectral power distribution that is becoming more widely used is the scotopic to photopic ratio (S/P). This is calculated by multiplying the spectral power distribution of a light source by the scotopic and photopic luminous efficiency functions and taking the ratio. Light sources with high S/P ratios are the most damaging to astronomical observatories and should be avoided. High-pressure sodium lamps have an S/P ratio of approximately 0.6 and low-pressure sodium lamps have an S/P ratio of approximately 0.2. For all light sources near observatory sites, the S/P ratio should be minimized. Ratios less than 1.0 should be the target. For outdoor lighting well away from observatories, the S/P ratio should be less than 1.2. The filtered LEDs in use on the Island of Hawaii have an S/P ratio of approximately 0.8.

Another method of evaluating the damage a light source will do to astronomical sites is to examine the CIE *xy* chromaticity of the light. Blue light should be minimized. This is achieved by requiring that a light source have its *xy* coordinates close to the yellow-orange-red monochromatic locus between 560 nm and 600 nm. Moving shortward of 560 nm (yellow-green) adds too much green light and risks affecting scotopic vision. Moving longward of 600 nm (orange) moves the light too far into the red where human vision becomes insensitive.

A further reason to reduce blue light emission is that blue light increases the sensation of glare, which causes visual discomfort, tends to make us instinctively look away and produces difficulty in seeing a task. Most people are now familiar with the discomfort that blue-rich car headlights produce (CCT ~5000 K), compared to conventional car headlights (CCT ~2700K). Similar discomfort is caused by other forms of blue-rich lighting at night. It is noteworthy that many

people choose brown coloured sunglasses for use in the daytime — the brown tinting preferentially absorbs blue light. In the same way, most people are more comfortable with blue-deficient lighting at night.

Ultraviolet light is very damaging to astronomy and is harmful to insects. It cannot be seen by the human eye, but is very readily scattered by air molecules. Mercury-based lights often emit some ultraviolet light. Light sources that emit ultraviolet light should be avoided.

Some studies have attempted to determine whether certain types of artificial light sources are safer. Travis (2011) compared visibility under 3500 K and 6000 K LED lighting and found that neither source provided a significant benefit over the other. Clanton (2014) made a study in Seattle and suggests that 4100 K LEDs provide the best visibility. However, detailed examination of the protocol in this study reveal that the tests were not properly controlled, with some test lights malfunctioning and glare from unrelated lighting likely affecting the findings. It is clear that the studies on visibility carried out to date are inadequate. To meaningfully impact national or international lighting policy, additional detailed and controlled studies are needed.

Measurement

Continued monitoring of the sky brightness near major observatory sites and in environmentally sensitive locations is very important. Natural hourly and night-to-night variations in sky brightness, along with variations related to solar activity, make interpretation of zenith sky brightness measurements at observatory sites very difficult. Instead, it is important to monitor sky brightness lower in the sky in the direction of the major light pollution sources in order to monitor changes in light emission. Duriscoe (2016) provides detailed information about the quality of the dark night sky as derived from all-sky photometric measurements taken from the ground.

Aerial surveying is being performed on the Island of Hawaii to evaluate changes in light pollution produced by switching from LPS streetlights to filtered LED. Surveys are being performed both before and after the change.

Imaging from the International Space Station (ISS) is difficult to obtain, but invaluable, since it has high spatial resolution. The digital cameras on board the ISS are now very sensitive and produce detailed colour images that show the location and types of light sources.

The new Suomi NPP satellite with its Day/Night Band of its Visible Infrared Imaging Radiometer Suite produced the photometric data used by Falchi et al. (2016) to produce their new light pollution world atlas and is a valuable new tool. However, this instrument is not sensitive to wavelengths shorter than 500 nm, so it does not see blue light and it cannot monitor changes in lighting and light pollution associated with the switch to LEDs.

Lighting Ordinances

Areas near observatories and areas that have endangered species that are affected by artificial light need strong lighting ordinances or regulations. These regulations must specify proper shielding, the amount of light that can be used, when it can be used and the spectral power distribution. Resistance to these rules is common. For example, many people care more about what a light fixture looks like in the daytime than how well it works at night. ‘Old fashioned’ light fixtures are often popular, to create a historic appearance for example, but many of these fixtures are not properly shielded. Limiting the spectral power distribution, along with strict shielding requirements, often eliminates many types of light sources and fixtures, and vendors of those lights try to lobby the governments to weaken lighting regulations.

Lighting regulations at multiple levels of government may be necessary. In the United States, lighting ordinances are typically created and enforced at the county level. State lighting regulations are often needed to supplement the county regulations. Lighting in federal facilities (such as military installations) is not subject to county or state regulation, and must also be carefully controlled.

Population Growth

The areas around the world’s major observatory sites, including Hawaii, Chile, the Canary Islands and Arizona, are all experiencing rapid population growth. These observatory sites are all located in places with good weather and, not surprisingly, are also tourist

destinations. Lighting ordinances put in place to protect these sites must be forward looking and anticipate increased population in the future. It is critically important that the infrastructure put in place to support tourist activities — in particular resorts, hotels and airports — respect the need for protection of the dark night sky. Astrotourism is experiencing strong growth (particularly in Chile), and as light pollution continues to grow in most urbanized areas, more people will visit places where dark night sky protection has succeeded.

Enforcement

Even when strong lighting ordinances exist, violations are common. Building inspectors, who approve lighting plans, work in the daytime, but the lights are turned on at night. After lights have been approved and inspected, they are sometimes exchanged for a type that does not conform to the law. In many cases, lights that violate lighting regulations are installed without any approval or review.

In Hawaii, the island with the best lighting is Kauai (which does not have a major observatory site). This is the result of the impact that artificial lighting has on the Newell's shearwater, an endangered bird that is strongly affected by unshielded lighting and strong enforcement via the United States Endangered Species Act.

Rigorous enforcement is not being done near major observatory sites. The most active enforcement near observatory sites at present is in the Canary Islands. Flagrant violations of lighting ordinances occur in Arizona, Chile and Hawaii.

Summary of Recommended Changes

The change from high-intensity discharge lamps to LED lighting presents a wonderful opportunity for lighting near astronomical observatories to be improved by replacing poorly or improperly shielded light fixtures with fully shielded fixtures that emit no light above the horizontal plane and reengineering lighting levels to save energy. However, great care must be taken with the spectral power distribution of the LED light and the amount of blue light in particular must be minimized. LED lighting can be easily dimmed and lighting levels should be reduced later at night when the higher levels used early in the evening (when pedestrians are present) are no longer warranted.

Comprehensive lighting regulations must be put into place near observatories and in other environmentally sensitive locations to ensure proper shielding, to restrict the amount of blue light and to limit the amount of light to only what is needed. These regulations must be forward thinking, anticipating the rapid population growth that is occurring around major observatories. Monitoring programmes should be started immediately to track changes in lighting levels coming from the switch to LEDs and from population growth and other urban development. The dark night sky is a fragile resource that can be seriously damaged by just one ill-advised government decision, or by one poorly designed lighting installation.

Finally, it is vital that the improved energy efficiency of LEDs be used to produce real energy savings and not simply as an excuse to produce even more light at night.

References

- Clanton, N. 2014. *Seattle LED Adaptive Lighting Study*. Northwest Energy Efficiency Alliance.
- Duriscoe, D. 2016. Photometric indicators of visual night sky quality derived from all-sky brightness maps. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. doi:10.1016/j.jqsrt.2016.02.022 (Accessed 25 May 2016.)
- Falchi, F., Elvidge, C., Kyba, C. C. M., Cinzano, P., Duriscoe, D., Baugh, K., Portnov, B., Rybnikova, N. and Furgoni, R. 2016. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*.
- Luginbuhl, C. B., Boley, P. A. and Davis, D. R. 2014. The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, Vol. 139, No. 21, pp. 21-26.
- Illuminating Engineering Society of North America, American National Standards Institute and IESNA Roadway Lighting Committee. 2014. *Roadway Lighting ANSI/IES RP-8-14*. New York, Illuminating Engineering Society of North America.
- Terry, T. 2011. Comparing LED lighting systems in the detection and color recognition of roadway objects. Master's Thesis, Virginia Tech, USA.

A Global Approach to the Protection of the Sky, International Cooperation and International Science Policy: the Case Study of ESO

Claus Madsen

Cabinet of the ESO¹ Director General, Germany

Abstract

The paper discusses international cooperation perspectives, especially in the context of the United Nations, to secure the protection of the skies, both for the benefit of global human culture, and for the science of astronomy and astrophysics. It argues that international cooperation is crucial to leverage regional, national and local efforts and provide long-term sustainability by underpinning the necessary regulatory measures.

Resumen

En el artículo se analizan perspectivas de cooperación internacional, sobre todo en el contexto de las Naciones Unidas, para garantizar la protección de los cielos, tanto para beneficio de la cultura humana a nivel global como para el de la astronomía y la astrofísica. Se sostiene que la cooperación internacional es crucial para aprovechar los esfuerzos regionales, nacionales y locales, así como para proporcionar una sostenibilidad a largo plazo apuntalando las medidas regulatorias necesarias.

International Cooperation – the Case of ESO

ESO is an intergovernmental organization, established by means of an international convention, signed in 1962 by five European countries. The Convention accords ESO with two specific tasks: a) to provide astronomers in its Member States with state-of-the-art observational facilities and b) to further organize collaboration in astronomy and astrophysics. As regards the former, ESO meets its obligations by operating cutting-edge observational facilities in Chile at the La Silla site (with medium-sized telescopes), at the Paranal site with the Very Large Telescope array and, in cooperation with external partners, at the Chajnantor with mm/submm telescopes. Furthermore, ESO entertains a strong technology programme with industry and national research institutes in its Member States. As far as the second task is concerned, ESO operates a large open access online data archive, organizes meetings and produces publications, has

active, and highly coveted, Student, Fellows and Visiting Scientists Programmes and finally, undertakes a strong public information and educational programme. The latter is obviously also important in the context of the current ‘dark skies’ debate.

Today, ESO has fifteen Member States, while a sixteenth country (Brazil) is in the joining phase, awaiting the conclusion of its legal ratification process. ESO’s annual budget is in the 200 million EUR range, and thanks to its status, ESO can negotiate and enter into agreements with governments and other international organizations. Thus ESO has, among others, agreements with its two host states, the Federal Republic of Germany and the Republic of Chile. While ESO has no formal science policy remit (unlike ESA, the European Space Agency), it does interact with policy makers through various channels, for example, with the European Union

1. The European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere – or for short, the European Southern Observatory (ESO).

(partly through its participation in the EIROforum partnership). ESO is also a permanent observer at the United Nations Committee for the Peaceful Uses of Outer Space (UNCOPUOS).

All of this has enabled ESO to develop a long-term, financially and legally secured strategy thanks to which ESO is today a world-leading organization in ground-based astronomy with a strong, multi-programme, multi-wavelength portfolio, including the 39 m European Extremely Large Telescope (E-ELT), currently under construction at Cerro Armazones in Chile and set to become the largest optical/near-IR telescope ever built.

The drivers behind the establishment of ESO were threefold: cost, exploration potential and the importance of optimal observation conditions – a site with clear, dry and dark skies.

At the time of its conception, it was considered impossible for any of the involved countries to make the necessary resources available on their own for a similar national facility, hence the need for international cooperation. At the same time, the lure of the less explored southern skies with the promise of a great harvest of discoveries was clear to Europe's astronomers. This included the objects only observable from the Southern Hemisphere (notably the Magellanic Clouds) or objects that could be much better observed from such a vantage point as they would be high in night sky, in particular the Galactic Centre. And, finally, the need for a good site. The importance of a good site had been clearly demonstrated by the US astronomers, who with their mountain site observatories had established a leading position in observational astronomy in the early twentieth century. Europe's new observatory was set to follow suit. Originally, a year-long site testing was carried out in South Africa, whereas similar tests had been undertaken in Chile by American institutes with aspirations in the south. In the end, ESO realised that the observational conditions prevalent in Chile were superior to those found in South Africa. Blaauw (1991) and Madsen (2012) offer detailed descriptions of the site testing campaign in South Africa and also mention the parallel events in Chile. A description of the search for astronomical sites in Chile, mainly through Jürgen Stock, can be found in Lorenzen, (2002).

Dark Skies

It is, however, noteworthy that in this context, the notion of 'dark skies' was not itself a prime parameter during the site tests (if obviously implied). Rather, the dryness and the stability of the atmosphere, as well as the presence (or not) of clouds were monitored. This is not at all to say that the darkness of the sky and the sky transparency were not important, but as it were, to some extent they could be taken as a given in the sites chosen for investigation. Herein lies an important message: when choosing a site for a research infrastructure, say a synchrotron, a particle accelerator or a laboratory, considerations will mostly deal with questions of economy and ease of access. But astronomy is different: The site selection for an astronomical observatory is mission critical. It follows that those few places on Earth that offer prime conditions for astronomical observations, indeed also the locations for the world's most advanced observational facilities, must also be protected from adverse environmental effects.

ESO and the Dark Skies of Chile

From the perspective of the dark skies, however, it is interesting to note that the original agreement between ESO and Chile, the *Acuerdo* from 1963, only mentions that the granting of mining rights would require presidential approval (supplementary agreement, Article 1). It seems that back then, the issue of light pollution was much less pronounced in this part of the world, so that this simple provision was deemed sufficient.

Things had changed when in 1995, ESO and Chile in reviewing the 1963 agreement concluded an 'Interpretative, Supplementary and Amending Agreement', in which Article 8 states that "The Government and ESO shall adopt *all* necessary measures within their competence to maintain and protect the astronomical and environmental quality of the centres for observation."

To this should be added that buffer areas around the sites had been established (through ownership or concessions), so that the sites enjoyed a certain degree of protection against light pollution.

Various initiatives at the national Chilean level have provided further important underpinning for the undisturbed operation of the observational facilities, especially the 1998 Presidential



Figure 1. The United Nations Committee for the Peaceful Uses of Outer Space convenes on a yearly basis in Vienna. © Claus Madsen.

Decree (Decreto Supremo 686/1998) to protect scientific sites as well as other decrees and declarations (M. Rubio and G. Rodriguez, *The Right to Dark Skies*², 2016). Finally, frameworks have been created for a continued dialogue between the international observatories and the Chilean authorities, notably the Ventana al Universo framework. The creation of a joint Office for the Protection of the Sky Quality (OPCC after its name in Spanish) in 2000, with the participation of the international observatories and Chilean governmental organisms, has proven to be instrumental in providing expert advice on technical and legal matters related to outdoors illumination, monitoring the environment of the observatories and coordinating with worldwide efforts.

With respect to the specific situation in Chile, ESO's position can therefore be described as follows:

- ESO has not carried out independent efforts to protect the quality of its sites, but efforts are undertaken in concert with other observatories and the Chilean authorities;
- These joint efforts are reflected in the creation of the joint Office for the Protection of the Quality of Sky (OPCC) in 2000;
- ESO supports initiatives in Chile addressing the problem from

the sociocultural side, like a possible UNESCO declaration of the astronomical sites as World Heritage as promoted by the Chilean government.

In this sense, ESO is:

- Committed to the protection of the dark skies in Chile through its association with the Chilean government and other observatories on this matter;
- Committed to raising public awareness on light pollution in Europe through its general outreach efforts;
- Aware of, but not as yet an active player in, international efforts to promote legislation for the protection of dark skies given the location of its current observatories in Chile.

Dark Skies in a Broader Context

When discussing the need to protect the dark skies, two strands of arguments are normally pursued: a) the altruistic right for all humans to be able to see and contemplate the objects in the sky and b) the more specific needs of scientists as they observe the sky. In many ways the arguments are similar, but it should be noted that they are not congruent, at least not as regards the goals. This becomes clear in the

2. Presentations from the International Meeting: *The Right to Dark Skies*, which was organized by the UNESCO Office in Mexico and took place 20 to 22 January 2016 in Mexico City, Mexico.

case of the need for radio-quiet zones to enable observations of the cosmos in this wavelength domain. Awareness of this is important as the astronomical community develops and implements its communication strategies regarding dark skies. A discussion of public communication aspects of this topic can be found in West and Madsen (2001). Equally, it is important to distinguish between the *primary* goal (to protect the sky) and the *secondary* goal (to protect the physical observation site). Once again, the arguments are similar, but not congruent.

Of course, the astronomical community is not alone in this struggle. If communicating sensibly, it can bank on the enhanced public sensitivity to environmental issues in general. Furthermore, there are a number of activities and initiatives across the world that work towards the same goal: the International Dark Sky Association and a large number of amateur astronomical societies whose help can be enlisted. Some have already translated into real political actions. Examples include cases in Spain (the pioneering work in the Canary Islands), in Italy and in Mexico (San Pedro Mártir in Baja California).

In Spain, the *Instituto de Astrofísica de Canarias* (IAC) has promoted a special ‘Sky Protection Law’ to preserve the observatories from light pollution, disturbing radiofrequencies and even airplane exhaust contamination (J. Espinosa, *The Right to Dark Skies*³, 2016). Thanks to the work of Cielo Buio in Italy, local regulatory actions have been introduced (L. Zaggia and F. Falchi, *The Right to Dark Skies*⁴, 2016), as well as in Baja California, the latter as an outcome of the International Year of Astronomy in 2009.

Furthermore, selected areas, mainly in North America, have already been designated Dark Sky preserves (Parks, Reserves or Sanctuaries). An important argument, however, has been the protection of natural wildlife on-site, not necessarily access to the night sky. Finally the Starlight Initiative, supported by UNESCO, the World Tourism Organization (UNWTO) and the International Astronomical Union, should be mentioned. The Starlight Foundation can certify specific areas and locations that feature particularly dark and well-protected skies.

Multilateral Actions

Examining the efforts to protect the observational capabilities of the night sky so far, it becomes clear that these efforts have 1) been

driven by dedicated groups of professional astronomers and/or *aficionados* and 2) the efforts have been local or national by nature. In other words, no effort has been undertaken to address the issue from a global perspective. However, two examples can be given that points towards a more global approach: 1) the International Year of Astronomy (IYA2009) and 2) the current considerations about inscribing selected astronomical sites on the World Heritage List.

During the International Year of Astronomy in 2009, in which ESO was strongly involved, activities were carried out in 148 countries. 40 international organizations were involved, 28 global projects were carried out and an estimated 815 million people were exposed to astronomy during the year (Russo and Christensen, 2010). Equally important have been the legacy activities that continue to this very day, including the establishment of an IAU Office of Astronomy for Development. Of relevance to the issue at hand, was the Dark Skies Awareness cornerstone project led by NOAO of the USA. An important part of the Dark Skies Awareness programme was the ‘Globe at Night activity’, in which citizen scientists in 70 countries performed measurements of the night sky in the course of a two-week period. It was in the nature of IYA2009 that public awareness and public engagement should take centre-stage, but this should not distract from the fact that the IYA itself was underpinned by a multilateral approach.

ESO’s engagement began with substantial support to the political process of winning approval of the IYA at the General Assembly of the United Nations in 2007. The resolution,⁵ adopted on 19 December 2007, designated UNESCO as the lead agency and accorded key roles to the International Astronomical Union (IAU) and also to ESO – and ESO followed up on this in a number of ways during the implementation of the IYA.

There can be no doubt that the UN emblem with its both implied and explicit endorsement was key to generating support at the national, regional and local level and thus contributed decisively to the mobilisation of resources and to the ultimate great success of the IYA. It is evident that UNESCO has played a central role in this matter and that a multilateral initiative can significantly leverage national efforts. The second initiative that points towards a multilateral approach is the effort, begun in 2013 and currently ongoing, to inscribe at least some of the great observatories on the World Heritage List under the

3. Presentations from the International Meeting: *The Right to Dark Skies* which was organized by the UNESCO Office in Mexico and took place 20 to 22 January 2016 in Mexico City, Mexico.

4. Ibid.

5. Resolution A/RES/62/200, published 29 February 2008

World Heritage Convention. If so, and pending further decisions, we shall see if this leads to a national (Chilean) presentation or a transnational presentation, and whether a 'single' or a 'serial' inscription will be pursued. Without prejudice to previous sessions of the World Heritage Committee and relevant conferences, the current discussion is a continuation of the deliberations at the 1–2 October 2013 meeting at UNESCO in Paris and the subsequent site appraisal work. In any event, it is a commendable effort that ESO supports, as mentioned.

This notwithstanding, in the context of the World Heritage List, much focus has been on sites in Chile, Hawai'i and the Canary Islands. But we are aware that there are other sites (for example, in Argentina, southern Africa, Australia, Mexico, and Asia) and it should be realised that new observational sites could be developed elsewhere. Finally there are the non-optical 'sites'. It is indeed not clear that these observatories, whether existing or still to come, will be able to benefit from effort to inscribe a subset of the observatories on the World Heritage List. Finally, framing modern and continuously developing astronomical observatories exclusively in a historical context may give rise to operational issues that need urgent clarification. It is therefore worthwhile to consider, as a complementary action, how to broaden the discussion about the dark skies and the related site protection to other fora within the framework of the United Nations and beyond. This could, for example, happen by involving the United Nations Committee for the Peaceful Uses of Outer Space (UNCOPUOS) with the aim of elaborating a series of recommendations to the UN Member States, possibly even at some stage evolving into a 'Ramsar-type Convention'⁶ for astronomical sites.

It could also involve organizations and structures like OECD that has undertaken significant work regarding the question of sustainability of research infrastructures or the Group of Senior Officials, established by the G7 group that discusses international cooperation relating to especially new research infrastructures.

Conclusions

It seems clear that protecting the dark skies will require a multifaceted effort, with a strong public awareness dimension, national regulatory initiatives and international cooperation. The value

of successful international cooperation in astronomy is clearly demonstrated, as the example of ESO shows. Equally, the value and efficacy of multilateral initiatives in this field have been demonstrated by the International Year of Astronomy, led by UNESCO and the International Astronomical Union. There is now not only justification but also sufficient expertise and experience in the community to begin to address the issue of light pollution and the protection of the skies from a global perspective.

In this sense, the effort would clearly benefit from the involvement of multilateral mechanisms such as those offered by the United Nations system. Given both the global nature of the issue and its dual challenges, the loss of access to the night sky for humanity as a whole and the severe constraints on future astronomical research, such an involvement by the United Nations is warranted.

Acknowledgements

I thank my ESO colleague Fernando Comerón for his important input to this paper and Malcolm G. Smith for pointing out the Ramsar Convention as a possible model for a Dark Skies Convention.

References

- Blaauw, A. 1991. *ESO's Early History — The European Southern Observatory from Concept to Reality*. Garching, Germany, ESO.
- Lorenzen, D. 2002. *Geheimnisvolles Universum: Europas Astronomen entschiern das Weltall*. Stuttgart, Germany, Kosmos.
- Madsen, C. 2012. *The Jewel on the Mountaintop — The European Southern Observatory through Fifty Years*. Weinheim, Germany, Wiley-VCH.
- Russo, P. and Christensen, L. L. (eds). 2010. *International Year of Astronomy 2009 — Final Report*. International Astronomical Union.
- West, R. M. and Madsen, C. 2001. Saving our Skies: Communicating the issues to the media. *Preserving the Astronomical Sky. Proceedings of IAU Symposium 196, held 12–16 July 1999, in Vienna, Austria*, Vol. 196, p. 343.

6. The Convention on Wetlands of International Importance, signed in Ramsar in 1971

International Astronomical Union and the Protection of Dark Skies

Silvia Torres-Peimbert

Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México and International Astronomical Union, Mexico

Abstract

Astronomers are very concerned that the increasing amount of artificial night illumination will affect future observations of very faint celestial objects. In this paper, I will discuss the involvement of the International Astronomical Union on this topic, as well as some actions that can be taken in order to raise the general public's awareness about this problem.

Resumen

Los astrónomos están preocupados de que la creciente cantidad de iluminación nocturna artificial afecte las observaciones de cuerpos celestes tenues. En este artículo, discutiré la participación que la Unión Astronómica Internacional ha tenido en el tema, así como algunas acciones que pueden ejecutarse para sensibilizar al público general sobre este problema.

Introduction

Modern life requires us to use artificial light for our evening and night-time activities and the disadvantage is the loss of dark skies. At present, more than half the world's population lives in cities and this number is growing. A particular problem is the illumination surrounding astronomical observatories, as it is increasingly more difficult to detect the fainter, and/or more distant cosmic objects. Fewer and fewer places on Earth are really dark and it is very difficult to see the wonders of the sky.

Astronomical Observatories

With the installation of modern artificial illumination, the performance of observatories originally built in secluded areas in the vicinity of cities was seriously affected by the increasing amount of light and industrial pollution. The increase in light pollution and urban growth has rendered these observatories useless for present research, and it is now pointless to enlarge their facilities. Superimposed over a bright background, it is very difficult or impossible to study faint objects. Even with clear skies, it may not be possible to distinguish celestial objects because it is only possible to detect features that significantly contrast against the background skylight. Excessive brightness therefore limits the scope of astronomical observations, as it does not allow the detection and analysis of the faintest and most distant objects in the universe.

Starting in the twentieth century, astronomers in the United States set up several observatories in California and later in Arizona in their search for cloudless nights and dark skies. From the 1960s onwards, new sites for astronomical observations in the Southern Hemisphere were founded in the Andes in Chile, whilst observatories were built in Hawaii in the Northern Hemisphere. European astronomers decided to form a consortium and created the European Southern Observatory and installed their new telescopes in Chile. At the same time, several countries constructed Northern Hemisphere observatories in the Canary Islands and southern continental Spain.

Although the sites for these observatories were chosen for their dark skies, they are under the continuous threat of the increasing nocturnal illumination from the surrounding communities. The desire to explore fainter cosmic objects has spurred on the construction of even larger telescopes and instruments of much higher cost, and thus the sites with the best atmospheric conditions are anxiously sought.

Selecting a good observatory site has many requirements, including high altitude, low humidity, low cloud cover, stable atmospheric flow and low levels of smog and illumination from nearby cities. In this sense, light pollution is a great obstacle for astronomical research.

The International Astronomical Society

Founded in 1919, the International Astronomical Society's membership is at present composed of 12,431 astronomers from 97 countries and is funded by 74 member countries.

Since its creation, its main mission has been 'to promote and safeguard the science of astronomy in all its aspects through international cooperation'.

To accomplish its mission, the IAU established 'Commissions', each one corresponding to different astronomical topics or activities. In recognition of the need of selecting and preserving observatory sites with the most extremely dark skies, the IAU has established as one of its scientific bodies a Commission to this effect. It is currently called Commission CB7 'Protection of Existing and Potential Observatory Sites' and its goals are: (a) to make tangible progress in stopping the intrusion of artificial sky glow on major astronomical research facilities, (b) to raise public awareness to prevent the loss caused by light pollution for all observatories and for the fundamental right to starlight and (c) to work with relevant national and international authorities to set up legal policies and guidelines for the protection of astronomical quality of areas suitable for observational research and/or meriting astronomical World Heritage status.

Legislation

For several years certain organizations, especially groups of scientists, have taken on the task of securing the right to dark skies and there have therefore been a number of initiatives that seek to determine limits on light pollution. This has resulted in legislation, in several places, put in place to preserve suitable sites for astronomical research, that allows citizens to enjoy looking at the sky. Laws have been passed in areas surrounding certain observatories across the globe that protect them from excessive illumination (for example, in Arizona, in some regions of Chile, Hawaii, the Canary Islands, Baja California and so on).

Nevertheless, astronomers recognize that the most effective way to protect the dark skies is by convincing the general public of the advantages of keeping illumination at a level that can provide safety, while saving energy and expenditure and protecting the night sky.

Public Awareness

During 2009, the International Year of Astronomy (IYA2009) was celebrated in more than 100 countries and approximately 800 million people participated. For this celebration, the IAU organized many programmes to disseminate our science to the general public. In particular, it carried out several programmes to raise awareness on our need for dark skies and started new ones, too. Among them there were *Dark Skies Awareness*, which was one of eleven Global Cornerstones; similarly, *Dark Skies are a Universal Resource* was one of its nine key programmes. Their goal was to advance the level of public knowledge about the adverse impacts of excess artificial lighting on local environments and to help more people appreciate the ongoing loss of a dark night sky for much of the world's population.

As a follow-up activity of the IYA2009, the IAU enlarged its activities by approving an *Astronomy for the Developing World Strategic Plan 2010–2020* (soon substituted for *Astronomy for Development Strategic Plan 2010–2020 with a 2012 update on implementation*) with the main goal of stimulating the development of a generation of youth leaders in science and technology (see Miley, 2012). The essence of this plan was to create a specific office with this task. In 2011, the Office of Astronomy for Development was launched at the South African Astronomical Observatory in Cape Town and is supported jointly by the IAU and the South African National Research Foundation. It has 3 main tasks, namely to promote: (i) tertiary education and research training, (ii) primary and secondary education and (iii) public outreach. At present, this office has broadened its activities by promoting the establishment of eight regional offices and language centres. In addition, it has funded more than sixty projects with these goals around the world. In 2015, the Strategic Plan was extended one year longer to coincide with the corresponding General Assembly in 2021.

At the same time, the IAU established an Office for Astronomy Outreach (OAO) in Tokyo, Japan, in collaboration with several Asian institutions to coordinate its public outreach activities worldwide. The OAO is responsible for the IAU's interaction with the general public, including building networks to support and disseminate information to the amateur astronomy and public outreach communities.

For the International Year of Light 2015, the world astronomical community expanded several projects already established and launched new ones to promote dark sky awareness. Among them are: *Galileoscope*, a high-quality, low-cost telescope kit, optimized for both optics education and celestial observation; *Light Beyond the Bulb*, an astronomy exhibition that by the end of 2015 had been presented at approximately 675 locations around the world; the *Cosmic Light EDU kit*; the *Dark Sky Meter IYL2015 Edition*, a free application on smart phones to measure the night sky brightness with the press of a button; the *Quality Lighting Teaching Kit* to highlight the use of proper optical design in achieving quality lighting that promotes both energy efficiency and energy conservation of our dark skies; as well as a wealth of *Cosmic Light* endorsed projects.

Conclusions

The IAU recognizes the value of dark skies, certainly it considers that its responsibilities include identifying and preserving those sites

suitable for astronomical observations. Furthermore, it recognizes that excessive artificial night light is an unnecessary waste of energy and that we should preserve the cultural value of stargazing.

Within its strong programme of outreach astronomical activities that connect the general public to different aspects of the discipline, the Union includes several projects to explain the problems about excessive illumination and to engage more people in the quest to preserve dark skies.

References

Miley, G. (main author). 2015. *Astronomy for Development Strategic Plan 2010–2020 with 2012 update on implementation*. International Astronomical Union. https://www.iau.org/static/education/strategicplan_2010-2020.pdf (Accessed 27 March 2016.)

Messier Marathon 2016, Tierra Blanca, Guanajuato, Mexico. Every year, astronomical societies of the world look toward the dark skies to identify the 110 astronomical objects first listed by Charles Messier. © César Cantú.



The background of the entire page is a photograph of a night sky. The Milky Way galaxy is clearly visible, stretching from the upper left towards the center. The foreground shows a campsite with several white plastic chairs and tables. Some chairs have yellow items on them. The ground is dark, and there are some trees and bushes in the distance under a dark sky.

Chapter 6

Public Outreach and Astrotourism

Capítulo 6

Divulgación y astroturismo

La Noche de las Estrellas en México

José Franco¹ & Emilede Velarde²

1. Foro Consultivo Científico y Tecnológico y la Universidad Nacional Autónoma de México, México

2. Academia Mexicana de Ciencias, AC, México

Resumen

En el presente artículo, se describen las motivaciones, objetivos y alcances de un proyecto mexicano de divulgación de la ciencia, la Noche de las Estrellas, que se realiza año con año en diferentes sedes, tanto del país como de Latinoamérica. Se trata de un evento que a lo largo de sus ediciones ha logrado reunir a más de un millón de entusiastas que comparten la fascinación por la observación del cielo estrellado.

Abstract

In this article, we describe the motivations, objectives and scope of a Mexican project of science outreach and dissemination, Night of Stars, which takes place yearly in different venues not only in Mexico but throughout Latin America. This is an event that throughout its iterations has brought together more than a million of enthusiasts who share a fascination for observing the starry sky.

La pasión por transmitir el conocimiento

La Noche de las Estrellas es una gran fiesta astronómica que se ha realizado en México, de forma anual y con un éxito creciente, desde el año 2009. Podríamos decir que es el evento masivo de divulgación de la ciencia más grande e importante de Iberoamérica. Fue inspirado por la Nuit des Étoiles, que se creó en Francia en 1991 y unió el trabajo y talento de astrónomos profesionales y aficionados. El artículo de Bruno Monflier, quien es el motor principal de esta iniciativa en Francia, da una magnífica síntesis del trabajo que ha realizado a lo largo de todos estos años. Las características del evento son diferentes en México y en Francia, pero se persiguen los mismos ideales: acercar el conocimiento de forma lúdica y gratuita a la mayor cantidad posible de personas. Para lograr un impacto social importante, el evento se realiza de forma simultánea en muchas sedes distribuidas a lo largo y ancho de cada país.

En el caso de México, se programan actividades todo el día y se organizan eventos culturales y musicales, así como juegos para niños, talleres y charlas con científicos. Al caer la noche, inicia la observación con telescopios. Es toda una fiesta, donde también se invita a todo aquel que tenga un telescopio a que lo sume al proyecto y lo ponga a la disposición del público. Esto ha permitido que los asistentes participen activamente y que un gran número de personas de bajos recursos, que nunca antes habían tenido la posibilidad de mirar a través de un telescopio, lo puedan hacer.

Cada año se define una temática específica (preferentemente en consonancia con la temática de los Años Internacionales definidos por la Organización de las Naciones Unidas), y del primer encuentro en el 2009 al más reciente en 2015, se ha logrado congregarse a un total de más de un millón de personas. Todos estos asistentes han sido atendidos año con año por, en promedio, cerca de 5 mil voluntarios, quienes organizan las actividades, dan asesorías, hacen talleres sobre diferentes temas y ponen a disposición del público más de 2 mil telescopios.

Las temáticas que se han definido en estos años son:

- 2009, “El cielo de nuestros antepasados”
- 2010, “Nuestro universo en movimiento”



Figura 1. Observación solar en sede Mochitlán, Guerrero, 2015.
© Noche de las Estrellas.

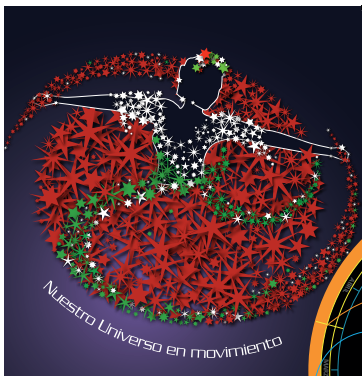
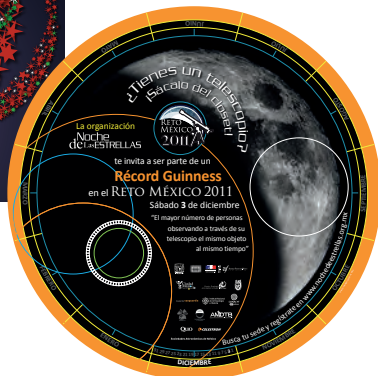


Figura 2. (Izq.) Cartel Noche de las Estrellas en 2010; (Der.) Cartel del Reto México, 2015. © Noche de las Estrellas.



- 2011, “Haz química con el universo”
- 2012, “Universo maya”
- 2013, “El universo y el agua”
- 2014, “El universo según el cristal con que se mira”
- 2015 “Préndete con la luz del universo”

En los últimos tres años, la Noche de las Estrellas de México se ha extendido a sedes ubicadas en otros países. En Latinoamérica ya se ha realizado en Puerto Rico, Guatemala, Colombia, Costa Rica, Brasil y Argentina, pero el entusiasmo se ha contagiado a más regiones y en 2014 se realizó también en el Planetario de Beijing, China.

Como una acción complementaria, para estimular que la gente use los telescopios que tiene guardados, se estableció un récord Guinness que hemos denominado Reto México. El evento consiste en reunir el mayor número de telescopios, apuntando simultáneamente a la Luna. Se ha realizado en tres ocasiones y se ha obtenido un número récord de 3,006 telescopios (sumados en varias sedes del país), gracias a la entusiasta participación de aficionados a la astronomía y del Rotary Club, quienes fungieron como jueces en el conteo.

Los voluntarios, el alma de la Noche de las Estrellas

Desde sus inicios, la Noche de las Estrellas ha contado con la generosa participación de un gran número de voluntarios, astrónomos

aficionados y estudiantes, quienes son la gran fuerza vital, los verdaderos héroes de cada evento. Estos talentosos voluntarios laboran durante varios meses en la organización y luego llevan a cabo las actividades. Además atienden a todos los asistentes con entusiasmo, comparten sus conocimientos, llegando a sumar más de 5 mil en cada evento. Por su lado, como mencionamos antes, los miembros del Rotary Club también han colaborado de forma altruista en la Noche de las Estrellas y en el Reto México, fungiendo como jueces de calidad que certifican todos los conteos.

Asimismo, los astrónomos profesionales comparten los detalles de sus amplios conocimientos y participan en todas las actividades. Esa noche, astrónomos profesionales y aficionados colaboran mano a mano en la atención a los telescopios con la única intención de acercar la ciencia a la sociedad y mostrar la belleza de una observación del cielo.

La organización

La organización de la Noche de las Estrellas está formada por diferentes instituciones educativas, culturales, gubernamentales y de la sociedad civil. Actualmente existen dos niveles o estructuras en la organización: un Comité Nacional, que define la temática y las fechas de celebración, y un Comité Local por cada sede, que define



Figura 3. Niño jugando con los materiales que se entregaron en la sede Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 2015. © Noche de las Estrellas.



Figura 4. Zona de telescopios en la sede MUTEc, Ciudad de México, 2015. © Noche de las Estrellas.

la organización y programación específica de dicha sede.

El Comité Nacional está formado por representantes de la Academia Mexicana de Ciencias, la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Politécnico Nacional, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la Embajada de Francia, el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, la Asociación Mexicana de Planetarios, la Agencia Espacial Mexicana, las Alianzas Francesas, la Asociación Mexicana de Telescopios y Binoculares, las Sociedades Astronómicas y la compañía Celestron. Por otro lado, los Comités Locales están formados por instituciones de educación, culturales, de la sociedad civil y gubernamentales de las entidades donde se encuentran ubicadas las sedes. Esta suma de voluntades ha sido muy fructífera y su labor está ayudando a construir una cultura científica en todos los estratos de nuestra población.

Al día de hoy, la red de la Noche de las Estrellas se conforma por 60 sedes distribuidas en todas las entidades federativas de la República Mexicana y en otros países como Colombia, Brasil, Costa Rica y Argentina. Los integrantes de todos los Comités Locales se mantienen en contacto a través de la página oficial (www.nochedelasestrellas.org.mx) y de las redes sociales Facebook (www.facebook.com/nochedelasestrellasmx) y Twitter (@NocheEstrellas).

La preparación de esta fiesta es un ciclo continuo que inicia al término del evento de cada año; primero se determina la fecha y la



Figura 5. Grupo de voluntarios en la sede MUTEc, Ciudad de México, 2015. © Noche de las Estrellas.

temática que se adoptará, para posteriormente continuar con el resto de los preparativos, entre los que se encuentran:

- La capacitación sobre la temática anual en las instalaciones del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica en Tonantzintla, Puebla, donde se imparten talleres y conferencias por expertos en la temática seleccionada.
- La creación, verificación y distribución de materiales impresos y digitales. Esto incluye comunicados con contenidos detallados sobre la temática, mapas celestes, planetarios personales, estampas para telescopios, etcétera.
- Para cada evento se diseña una imagen representativa de la temática, y a partir de ella se elaboran elementos gráficos genéricos para carteles, programas de mano, etcétera.
- Se elabora una estrategia de comunicación.
- Como último paso, se diseñan y distribuyen playeras con la imagen del evento para darle una misma identidad a la presencia de los voluntarios de todas las sedes.

Para este 2016, la Noche de las Estrellas se realizará a principios del mes de diciembre con la temática “El derecho a los cielos oscuros”. Finalmente, deseamos agradecer a todas las instituciones que participan en el evento que ha sido firmemente sostenido a lo largo de todos estos años. Muy en particular, deseamos hacer público nuestro reconocimiento a las asociaciones de astrónomos aficionados y a la gran fuerza de los miles de voluntarios que, de manera anónima y altruista, hacen posible este evento. Nuestro más respetuoso agradecimiento a todos ellos por su entrega a esta noble labor.

La Ferme des Etoiles (La Granja de las Estrellas)

Bruno Monflier

La Ferme des Étoiles, Francia

Resumen

El grupo Ferme des Etoiles (Granja de las Estrellas) es un colectivo de asociaciones privadas, independientes y sin fines de lucro. Creado en 1991, tiene su base en Fleurance (al sudoeste de Francia), emplea a 12 colaboradores de tiempo completo y a una veintena de tiempo parcial. Sus actividades se realizan en Francia o en el extranjero (México, Líbano, Egipto, Etiopía, España, Marruecos...), de acuerdo con las demandas que le son hechas.

La Granja de las Estrellas desarrolla actividades en cuatro grandes campos: las animaciones pedagógicas, la creación de herramienta pedagógicas, la participación en grandes proyectos y la organización de eventos de envergadura. En este artículo se exponen a detalle los proyectos, actividades y alcances del grupo.

Abstract

The Ferme des Etoiles (Star Farm) is a group of private, independent and non-profit associations. Created in 1991, it is based in Fleurance (in southwestern France) and employs 12 full-time and 20 part-time staff. They carry out their activities in France and abroad (Mexico, Lebanon, Egypt, Ethiopia, Spain and Morocco among others), according to demand.

The Ferme des Etoiles develops activities in four main areas: pedagogical animations, the creation of pedagogical tools, participation in large projects and the organization of major events. This article discusses, in detail, the projects, activities and scope of the *Ferme des Etoiles*.

Un paso científico y cultural

El ser humano siempre levantó la mirada hacia el cielo. Se interrogó sobre la naturaleza de los objetos y de los fenómenos que veía allí y procuró interpretarlos. Proyectó allí, primero, sus creencias, pero también sus temores y sus esperanzas; paralelamente, intentó comprenderlos y explicarlos.

De manera progresiva, el desarrollo científico ha ido revelando las interpretaciones mitológicas del cielo, pero éste aún queda cargado de misterio. Si bien los numerosos fenómenos encontraron una explicación racional, el cielo es aún una fuente inagotable de sueño y de imaginación.

¿Situación paradójica? ¡En apariencia, solamente! Primero, porque si bien la ciencia desveló numerosos misterios, también se ha percatado de otros, por lo que el universo y los fenómenos que lo conforman están, hoy, lejos de ser totalmente conocidos y explicados. En segundo lugar, porque los descubrimientos de la ciencia mostraron

un universo infinitamente grande e increíblemente variado que se revela al ser humano como una “nueva frontera” que hay que explorar y descubrir. En tercer lugar, y sobre todo, porque nos enteramos de una cosa fascinante: formamos parte del universo, nuestra historia comienza con él y estamos hechos de la misma materia. Somos, como lo dice Hubert Reeves, “hijos de las estrellas”.

Observar el cielo no es, pues, interesarse en un mundo abstracto, ajeno; es, por el contrario, descubrir nuestra propia historia y la de nuestros orígenes. Es comprender nuestro sitio y el de nuestro planeta en el universo. Es abrir el campo de la formidable aventura espacial. Es, también, darse cuenta de la fragilidad de la Tierra, de los peligros que la amenazan y de la necesidad de preservarla para legársela intacta a nuestros hijos. Lejos de ser un simple objeto de estudio, hoy el espacio —como el cielo de nuestros antepasados— nos remite a nosotros mismos, a nuestras preocupaciones diarias, a nuestras interrogaciones sobre nuestro pasado y nuestro futuro.



Figura 1. La observación del Sol en una escuela para niños. © Bruno Monflier.

Los oráculos que procuraban predecir el futuro leyendo el cielo, las misiones espaciales que intentan resolver los enigmas del universo y los satélites que observan la Tierra desde el espacio responden a la misma preocupación: conocernos mejor. Levantar la mirada, ante todo, un modo de mirar la Tierra y a sus habitantes y de buscar allí respuestas para el futuro; tal como nuestros antepasados creían ver allí signos que permitían predecir el porvenir, hoy buscamos los medios de preverlo y, más todavía, de prepararlo.

Es en este paso que se halla la imagen del ser humano mismo, impregnada de razón y de pasión, de rigor y de sueños, de ciencia e imaginación. Es este enfoque, vivo, complejo y diverso del ser humano y de la vida entornada hacia el futuro lo que constituye el hilo conductor que el grupo Ferme des Etoiles sigue y desarrolla desde hace 25 años, desde la región Mediodía-Pirineos.

En esencia, es éste un enfoque pluridisciplinario que, ante todo, supone la existencia de un lazo estrecho entre cada uno de nosotros y el cielo. Al parecer cuanto más conocemos el cielo y más conocidos son sus misterios nos es menos familiar: los cambios en el estilo de vida, la urbanización, la televisión y la contaminación luminosa nos

cortaron poco a poco el contacto directo con él y la mayor parte de nosotros ya no sabe reconocer ni nombrar las estrellas.

Recrear este lazo perdido entre el ser humano y el cielo se convirtió, así, en el objetivo prioritario del proyecto del grupo Ferme des Etoiles. Éste se construyó alrededor de tres firmes ideales:

- Emocionarse por la belleza del cielo: de la observación del cielo nocturno a simple vista al descubrimiento de los objetos del cielo profundo fotografiados por los telescopios más grandes, el cielo nos descubre una parte escondida —u olvidada— de la belleza del mundo.
- Comprender nuestro sitio en el universo: la astronomía nos enseñó que formábamos parte del universo: nuestra historia comienza con él y estamos hechos de la misma materia. Observar el cielo es, pues, descubrir nuestra propia historia y la de nuestros orígenes.
- Darse cuenta de la fragilidad de nuestro planeta, de los peligros que lo amenazan y de la imperiosa necesidad de protegerlo: es también lo que nos ayuda a comprender la astronomía.

Sobre esta base, el grupo Ferme des Etoiles definió sus misiones:

- Facilitar el acceso a la cultura científica y técnica para todos.
- Sensibilizar a los jóvenes a las disciplinas científicas.
- Establecer un lazo entre ciencia y las problemáticas ciudadanas.
- Facilitar una conciencia de los problemas de medio ambiente.

Con el fin de lograr nuestra misión, elegimos llevar a los otros al descubrimiento mediante la diversión y el placer. Procuramos ante todo suscitar la emoción a través de nuestras actividades y en nuestros diferentes espacios. Ello no nos impide seguir un paso científico riguroso.

El grupo está apadrinado por el célebre astrofísico Hubert Reeves y su actividades son seguidas por un Comité Científico compuesto de 20 personalidades del mundo de la investigación.

Presentación

El proyecto vio la luz en 1991 con la creación de un Festival de Astronomía en Fleurance (Gers), aproximadamente a 100 km de Tolosa y 150 km de Pic du Midi. De manera progresiva, se desarrolló y se diversificó con numerosas actividades de sensibilización, de formación y también de ocio alrededor de la astronomía y de las

ciencias del universo. Hoy, el grupo Ferme des Etoiles reúne cuatro asociaciones. Cada una posee una misión distinta, con competencias específicas, pero cuyo fin es contribuir al mismo proyecto.

La Ferme des Etoiles

Es el sitio emblemático del grupo y el que le da su nombre, acoge al público asegurando su alojamiento y el descanso en el mismo lugar. Situada en el corazón de los valles del Gers, que gozan de un cielo puro, esta antigua granja gascona ha sido escogida por la televisión francesa para instalar allí la locación principal de la emisión de “La Noche de las Estrellas”.

A Ciel Ouvert

Es el corazón de la actividad del grupo. Encargada de las actividades pedagógicas, su misión consiste en iniciar y acercar al público a la astronomía y a las ciencias del universo, del cielo y de la tierra. A Ciel Ouvert participa también en la formación de profesores de ciencias. Está compuesta por un equipo de guías profesionales y apasionados que elaboran y ponen en ejecución los contenidos pedagógicos.

Festival de Astronomía de Fleurance

Creado en 1991, fue el punto de partida de todas las iniciativas del grupo. Su misión es organizar tres grandes eventos anuales: el Maratón de las Ciencias, el Festival de Astronomía y el Festival Astro-Jeunes.

Ciencia en Bigorre

Tiene su base en Tarbes y su misión consiste en desarrollar las actividades del grupo en los Altos Pirineos, más particularmente alrededor del Pic du Midi.

La localización de las asociaciones del grupo no es arbitraria. El departamento del Gers, en el sudoeste de Francia, es un territorio rural donde la presencia de la naturaleza se afirma con fuerza. La población practica allí diariamente un respeto a la Tierra, a su fauna y a su flora. Su cielo, privado de toda contaminación luminosa, ofrece condiciones incomparables de observación de la bóveda celeste. Tierra rural, pero igual tierra de vuelo, la región de Mediodía-Pirineos está entornada hacia el cielo. Capital europea de la aeronáutica y de la aeronáutica espacial, comprende también, entre sus riquezas, el Observatorio del Pic du Midi, el más importante



Figura 2. Los observadores esperando la noche en la La Ferme des Etoiles. © Bruno Monflier.

del continente europeo. ¡Era lógico, pues, que el grupo Ferme des Etoiles se instalara allí con el fin de compartir mejor al público la gran aventura del cielo y del espacio!

Las asociaciones del grupo Ferme des Etoiles son privadas, independientes y sin fines de lucro. Emplean a 12 empleados de tiempo completo, así como a una veintena de tiempo parcial.

Los principales lugares de actividad

Los lugares de actividad del grupo se reparten como sigue:

Tres lugares permanentes

1. *La Ferme des Etoiles*. Antigua granja gascona, situada en el corazón de la naturaleza. Es un lugar propicio para la observación de la bóveda celeste. Sus cuatro hectáreas de naturaleza florida y preservada le permitieron obtener la categoría de “oasis natural”. Situada en la cumbre de uno de los valles del Gers, su cielo, de una gran pureza, es una verdadera delicia para los ojos y permite admirar más de 3 mil estrellas, así como nuestra soberbia Vía Láctea. El sitio acoge numerosas actividades, estancias y cursos de formación en astronomía, aeronáutica y astronáutica. También se organizan jornadas astronómicas específicas con ocasión de aniversarios y otras celebraciones.

La Ferme des Etoiles puede acoger a 20 personas en cuartos de huéspedes acondicionados con mucho cuidado (categoría 3 estrellas) y



Figura 3. Un grupo de astroturistas mirando el cielo en la La Ferme des Etoiles. © Bruno Monflier.

20 personas en *astrobulles* (viviendas situadas en el corazón del parque, que ofrecen una vista nocturna sobre las estrellas).

La Ferme des Etoiles dispone de tres aulas y de actividades que permiten acoger hasta 80 personas durante el día. También cuenta con una treintena de instrumentos de observación, entre los que están: un telescopio de 620 mm de diámetro, binoculares Fujinon 25 x 150, refractores solares H alfa de 60 mm, telescopio Schmidt-Cassegrain de 200 mm, Dobson de 300 mm, Dobson de 200 mm.

Asimismo dispone de herramientas numéricas como una sala especialmente arreglada con seis simuladores de vuelo, equipados con una gran pantalla, de manecillas de mando, de asientos dinámicos y de un *software* de simulación; 10 tabletas numéricas puestas a disposición del público en el momento de las observaciones; un casco de realidad virtual Oculus Rift®, a la punta del desarrollo tecnológico; el Planetario Hubert Reeves, de los más grandes del sudoeste. Este planetario numérico de 7 m de diámetro acoge a 40 personas cómodamente instaladas en asientos abatibles. Herramienta notable y pedagógica para explorar el cielo, es también un instrumento verdadero de ensueño, gracias a la proyección de películas en 360°.

2. *Le Hameau des Etoiles*. Situado en Fleurance, es un centro de vacaciones totalmente dedicado a la astronomía. El público puede alojarse ahí, en pensión completa, en cabañas de madera, en el corazón



Figura 4. Los astrobulles en la Ferme des Etoiles. © Bruno Monflier.



Figura 5. La cúpula de observación y el teatro en Le Hameau des Etoiles.
© Bruno Monflier.

de un campo de 30 hectáreas, adornado por un bosque, un lago y una alberca.

Le Hameau des Etoiles recibe a niños y adolescentes para estancias o clases de descubrimiento, así como familias, que tienen oportunidad de participar en días de actividades alrededor de la astronomía. Estructura única en Europa, cuenta con una Cúpula de Exploración del Universo, una sala de espectáculo equipada con la multimedia más sofisticada y cuyo tejado se abre totalmente a la bóveda celeste. El espectador puede entonces observar las estrellas en directo y por medio de un telescopio unido a pantallas individuales. El centro de animación también dispone de espacios polivalentes de estancia.

3. *El Pic du Midi*. Observatorio mítico y destacado lugar para la investigación científica desde 1880. El público es invitado a compartir la vida de los investigadores. Situado a 2,877 m de altura, el Pic du Midi ofrece una vista panorámica sobre la bóveda celeste y sobre la cadena de los Pirineos.

El alojamiento se hace en el hotel del Pic du Midi, frente a los Pirineos. Los cuartos habitualmente están reservados para los investigadores y totalmente equipados con todas las comodidades. El sitio también cuenta con un restaurante, con especialidades de las montañas pirenaicas. El grupo Ferme des Etoiles es socio exclusivo del Pic du Midi en las noches de observación. También organiza allí una parte de sus estancias. En el mismo lugar, nuestros guías conducen al público al telescopio Bernard Lyot, los coronógrafos, el espacio museográfico más alto de Europa. La cúpula Charvin, equipada con un telescopio de 400 mm, está reservada para las observaciones multitudinarias. Un telescopio de 500 mm también está disponible en la terraza.

Cuarenta y dos lugares temporales

A través de acuerdos de colaboración, el grupo Ferme des Etoiles dispone de una red de 42 establecimientos asociados, repartidos en todo el territorio francés. Los animadores se desplazan por estos centros con todo el material de observación y pedagógico necesario para la realización de las actividades. Esta red nos permite así pro-



Figura 6. Una noche estrellada en el Pic du Midi.
© Allen Sallez.

poner a las escuelas que desean organizar clases u otras actividades soluciones que reducen los costos de transporte.

Lugares ocasionales

Los equipos del grupo Ferme des Etoiles son móviles y pueden intervenir ocasionalmente en cualquier lugar, de acuerdo con las demandas que le son hechas. Intervienen regularmente en numerosos lugares en Francia, pero también en el extranjero, particularmente en México, Líbano, Egipto, Etiopía, España y Marruecos.

Las actividades

Las actividades del grupo se reparten en cuatro grandes categorías:

Animaciones pedagógicas

Constituyen la actividad principal del grupo Ferme des Etoiles. Se imparten, cada año, a más de 12 mil personas, lo que representa 1,200 días de animación. Son concebidas y organizadas de acuerdo con los públicos a quienes se dirigen:

- *Formación para los jóvenes en y fuera del marco escolar.* Clases de descubrimiento con programas adaptados a los cuatro niveles educativos: maternal, primaria, colegios y liceos, y cinco grandes temáticas: astronomía, aeronáutica, astronáutica, medio ambiente y prehistoria. Con una duración media de cinco días, las 150 clases realizadas anualmente involucran a 3,750 alumnos.
- *Jornadas pedagógicas.* Aproximadamente 200 de ellas son organizadas para 2 mil jóvenes.
- *Colonias de verano.* Una treintena de estancias es propuesta cada año para 450 jóvenes de 8 a 17 años, aproximadamente.
- *Estancias de descubrimiento para adultos y familias.* Se dirigen a un público de personas que no tienen la intención de dedicarse a la astronomía y todavía menos de equiparse de un instrumento, sino que simplemente desean descubrir el cielo, comprender la

historia del universo y el sitio del ser humano en éste. Estas estancias tienen duración de algunas horas durante un día y una noche. Las actividades son propuestas en la Ferme des Etoiles y comprenden: cenas en común, seguidos por una noche de observación; estancias de noche con observación y diaporama; estancias de astronomía-gastronomía, en las que se mezcla el descubrimiento de la cocina local con el del cielo; periodos de prácticas de una semana reservados para las familias, con actividades para los niños y los padres. Más de 60 actividades de este tipo son organizadas cada año para cerca de 600 personas.

- *Prácticas de iniciación para adultos.* Se dirigen a personas que desean iniciarse en astronomía y enterarse de las bases, así como escoger un instrumento de observación y saber utilizarlo. Son varios los tipos de prácticas de iniciación: estancias de fin de semana (iniciación básica en la astronomía, pero también, en la aeronáutica); prácticas sobre un fin de semana para aprender a fotografiar simplemente el cielo de día y de noche; estancias de fin de semana especialmente dedicadas a los meteoritos; prácticas de iniciación de tres, cuatro días o una semana completa. Una treintena de periodos de prácticas en el año se realizan para cerca de 250 personas.
- *Prácticas de perfeccionamiento para adultos.* Estos periodos de prácticas se dirigen a verdaderos apasionados. La mayoría de las veces se trata de astrónomos aficionados, deseosos de completar su formación y de dominar nuevas técnicas. En esta categoría, el grupo Ferme des Etoiles también propone estancias diferentes y variadas con el fin de responder a las expectativas de cada uno: fines de semana “Práctica con el instrumento”, para aprender a utilizar bien su instrumento de observación; fines de semana “Tratamiento de imagen”, destinados a adquirir técnica de tratamiento de las imágenes del cielo profundo; fines de semana o semanas de iniciación a la astrofísica; fines de semana de encuentro y de intercambio con investigadores; estancias de tres, cuatro días o de una semana de perfeccionamiento; semanas dedicadas a la astrofotografía numérica. Cerca de 20 periodos de prácticas al año tiene cabida, en los cuales participan cerca de 200 apasionados.

- *Formaciones (capacitación).* El grupo Ferme des Etoiles también organiza actividades de formación para futuros guías de astronomía (en clubes, centros recreativos para niños, escuelas) y profesores, con el fin de completar o de actualizar su formación científica. Más de 60 personas cursan estas actividades cada año
- *Noches de observación para todo público.* Organizadas en la Ferme des Etoiles, en el Hameau des Etoiles y en el Pic du Midi, constituyen la “actividad faro” que moviliza el número de personas más grande. En efecto, las 270 noches organizadas cada año acogen más de 5 mil personas.

Desde hace más de 20 años, los contenidos presentados por el grupo Ferme des Etoiles se adaptan sin interrupción a las evoluciones de las técnicas y de los saberes. Responden a los elementos de conocimiento y de competencia de los diferentes ciclos, desde los primeros aprendizajes hasta los del colegio y el liceo.

Los programas de las estancias son elaborados en estrecha colaboración con el equipo docente. Los conocimientos y las competencias son adquiridos en el marco de un paso de investigación que desarrolla la curiosidad, la creatividad, el espíritu crítico y el interés para el progreso científico y técnico.

El alumno debe ser capaz de practicar un proceso de investigación (saber observar, interrogar); manipular y experimentar, formular una hipótesis y someterla a examen, argumentar; poner a prueba varias soluciones; expresar y explotar los resultados de una búsqueda (investigación), utilizando un vocabulario científico oral y escrito; dominar los conocimientos en campos científicos diversos, y ejercer habilidades manuales y realizar ciertos gestos técnicos. La disposición de numerosos objetos técnicos (reloj de sol, equipos de meteorología, brújula...) enriquece esta aproximación.

El uso de nuevas herramientas de aprendizajes numéricos responde también al objetivo de las escuelas y de los colegios. Los trabajos de los alumnos son escritos consignados en una libreta de observaciones y de experimentos que repite el vocabulario específico. Un expediente pedagógico también se entrega al profesor.

La creación de herramientas pedagógicas

Desde hace 25 años, la asociación ha concebido herramientas y soportes pedagógicos bajo formas diversas:

- *Módulos pedagógicos.* Los módulos pedagógicos han sido creados para las necesidades de la mediación científica. Existen, al día de hoy, 185 módulos repartidos como sigue: 50 módulos teóricos, 75 módulos prácticos y 60 módulos de visitas.
- *Soportes pedagógicos.* Acompañan los módulos prácticos y son muy diversos: mapas del cielo para construir, relojes de sol, maqueta del sistema solar.
- *Exposiciones.* El grupo concibe y realiza exposiciones ya sea por su propia cuenta o por encargo. Podemos citar a título de ejemplo: “El calendario cósmico”, un gran fresco de 15 tableros que cuenta la historia del universo condensado en 1 año. Una exposición realizada para nuestras necesidades internas; o “Descubrir los cometas”, exposición realizada para el Centro Nacional de Estudios Espaciales en ocasión de la Misión Rosetta.
- *Maletines pedagógicos.* Sirven de soporte a las actividades de animación. Contienen una serie de herramientas pedagógicas. Como ejemplo puede mencionarse el maletín sobre los cometas, destinado a acompañar la exposición mencionada, o el maletín sobre la biodiversidad (actualmente en realización).



Figura 8. Campamento de verano para jóvenes astrónomos. © Bruno Monflier.

- *Aplicaciones numéricas.* Se trata de nuevos soportes hoy ineludibles para el avance pedagógico. El grupo lanzó una aplicación de lectura de paisajes titulada “Los paisajes que dicen mucho” y otra aplicación sobre los sitios de caídas de meteoritos (actualmente en construcción).

Desde hace algunos años, el espacio virtual invade el espacio público y privado. Ya sea por la digitalización y el procesamiento de datos, la fabricación y la difusión de la información, la utilización de los motores de búsqueda en Internet, la asistencia a numerosas actividades diarias o a la creación, por supuesto, de las redes sociales, se vuelve cada vez más difícil de escapar de eso.

Por cierto, el interés y las ventajas del espacio virtual son reales: apertura al mundo, el acceso casi ilimitado a la información y al saber, racionalización y simplificación de numerosas tareas, participación... Pero los inconvenientes (¿los peligros?) son también reales: desconexión de la realidad, aislamiento, diluvio informacional, difusión de informaciones peligrosas, intromisión en la intimidad, utilización de datos personales para fines comerciales o políticos, manipulación de las mentes...

La educación no escapa, evidentemente, de este movimiento, y las iniciativas para introducir el espacio virtual en la escuela se multiplican. A la divulgación científica, nuestro oficio, este hecho también le concierne. Numerosas herramientas (software y hardware) aparecen para el gran público (tabletas y celulares) y en innovaciones (casos de realidad virtual) o soportes pedagógicos específicos (arpa láser). Si bien reconocemos la utilidad de algunos de estos dispositivos, pensamos que estas herramientas deben estar al servicio de un fin (la educación o el aprendizaje) y no constituir un fin en sí. Conviene identificar lo que cada una de las herramientas aporta y cómo pueden contribuir a una mejor comprensión y facilitar el aprendizaje, evitando el aislamiento o el ensimismamiento. Utilizar el espacio virtual como herramienta participativa de aprendizaje es nuestro objetivo. Es por eso que decidimos dar un paso que nos permite someter a examen y evaluar la pertinencia de ciertas herramientas y su interés educativo. Con este fin, seleccionamos primeramente en nuestros módulos a quienes pensamos que pueden hacer una aportación interesante sobre espacio virtual. El resultado

obtenido para los niños puede, así, ser objeto de una apreciación común entre los padres o los profesores.

La participación en grandes proyectos

La participación en grandes proyectos constituye el tercer aspecto de la actividad del grupo Ferme des Etoiles. Entre los proyectos más importantes cabe mencionar:

- *Reserva de Cielo Estrellado del Pic du Midi.* Este proyecto, llevado a cabo por la administración del Pic du Midi y el Observatorio de Mediodía-Pirineos, tuvo como resultado la certificación de una vasta zona alrededor del Pic du Midi como Reserva Internacional de Cielo Estrellado. Estas acciones siguen en proceso para ampliar y fortalecer el proyecto.
- *Carta de calidad en la iluminación pública del país Puertas de Gascuña.* El Grupo Ferme des Etoiles realizó un estudio y escribió una carta de calidad en la iluminación pública destinada a proteger el cielo nocturno y a reducir el consumo de energía sobre este territorio.
- *Polo de excelencia rural del país Puertas de Gascuña.* El grupo activamente participó en este proyecto, cuyo tema era la creación de una plataforma de aplicación de las técnicas satelitarias en



Figura 9. Un futuro Einstein frente a una representación hermosa del sistema solar. © Bruno Monflier.

ambiente rural. En este marco, ha sido creado un Centro Pedagógico del Desarrollo Sostenible, administrado por el grupo.

- *El proyecto INMEDIAT.* Al ser miembro de Ciencia Animación Midi-Pyrénées (SAMP), el grupo Ferme des Etoiles participa en este proyecto, cuyo objetivo es desarrollar, experimentar y promover nuevas formas de divulgación científica para la utilización del espacio virtual y de sus prácticas de innovación. Se trata de crear un entorno propicio para el desarrollo de proyectos innovadores sobre nuestros territorios. Actúa como una incubadora de proyectos al servicio de todos los actores de la cultura científica.
- *Proyecto Vigía-Cielo.* Es un proyecto de ciencia participativa vinculado al proyecto científico Fripón. Este último consiste en la instalación de una red de 100 cámaras sobre el territorio francés, cuyo objetivo es la localización de las caídas de meteoritos. Vigía-Cielo consiste en movilizar y formar equipos de personas susceptibles de ir al sitio de la caída para recobrar meteoritos o sus fragmentos.
- *Proyecto Sideral.* El grupo Ferme des Etoiles integró el proyecto nacional Sideral. Apoyado por la Asociación Francesa de Astronomía y el Francas. Su objetivo es iniciar a 20 mil jóvenes al año en la astronomía en estancias colectivas. Para alcanzar este objetivo, la formación de 300 guías cualificados es necesaria.
- *Proyecto Web TV.* El grupo desarrolló una Web TV cuyo objetivo es poner en línea las conferencias del Festival y también acercar la ciencia al ciudadano a través de videos cortos en los cuales los investigadores hablan de su oficio.
- *Proyecto Ruta de los Orígenes.* El grupo participa en un vasto proyecto de colaboración europea con Cataluña, apuntando a la creación de un camino turístico sobre el tema de los orígenes. Cuenta con socios franceses como La Ciudad del Espacio y el Museo Natural de Historia de Tolosa, y del lado catalán, con la Universidad Autónoma de Barcelona, el Centro de Prehistoria de Nogueira, así como el Consorci del Montsec.

- *La Noche de las Estrellas en México*. El grupo Ferme des Etoiles ha sido contratado para una misión de asistencia técnica que apunta a la organización de noches de las estrellas, basadas en el modelo desarrollado en Francia. La primera noche mexicana de las estrellas se efectuó el 31 de enero de 2009 y reunió cerca de 300 mil personas en 22 sitios. Se prosiguió sin interrupción después y la 7ª edición se efectuó en noviembre de 2015 en 26 sitios.
- *Proyecto Suena Desierto*. El grupo es el encargado de un estudio y de realizar asistencia técnica y de acompañamiento para la definición y la puesta en ejecución de un proyecto de cultura y de turismo científico en Bernal, en el Estado de Querétaro (México).
- *Festival de Astronomía de Fleurance en Líbano*. El grupo Ferme des Etoiles ha sido seleccionado por Líbano para organizar el 1º Festival de Astronomía de Fleurance en Líbano (la elección del nombre fue a petición de los libaneses). Éste se celebró en mayo de 2015 y será reconducido en 2016.

La organización de grandes eventos

El grupo Ferme des Etoiles organiza cada año varios acontecimientos de cultura científica alrededor de la astronomía y las ciencias del universo.

- *Festival de Astronomía de Fleurance*. Se celebra anualmente desde hace 26 años, en la ciudad de Fleurance. Es el evento más importante de cultura científica destinado al gran público en Europa. Acoge durante una semana a una centena de investigadores y de divulgadores científicos y registra cerca de 25 mil entradas. Consta de tres acontecimientos principales:
 - *El Maratón de las Ciencias*, en el cual 12 de los especialistas más notables, científicos, filósofos, escritores, se

relevan durante 12 horas de mediodía a medianoche para analizar desde ángulos diferentes y complementarios, a los grandes sujetos de la ciencia contemporánea.

- *Festival “Adultos”*. Durante todo una semana, hay numerosos eventos adaptados para todo público: conferencias, capacitaciones por nivel en forma de curso o de talleres, exposiciones, animaciones y tardes de observación para todos.
 - *Festival “Astro-jeunes”*. Se trata del único evento astronómico en Europa totalmente dedicado a jóvenes de 4 a 17 años. Propone más de 60 actividades organizadas por jóvenes investigadores, los guías de la asociación A Ciel Ouvert (grupo de Ferme des Etoiles) y los científicos del Festival “Adultos”.
- *La Noche de las Estrellas*. Como el Festival de Fleurance, la Noche las Estrellas surgió en 1991. La idea era simple: invitar al conjunto de la población a encontrarse para observar el cielo, el mismo día, en el mismo momento. Se trataba de crear, así, un acontecimiento verdadero y popular susceptible de movilizar al número más grande posible de personas. Los objetivos han sido: sensibilizar al público en la ciencia, ofrecer un momento de ensueño y promover la práctica de la astronomía. El contenido es el siguiente: un solo tema al año para todos los sitios, observación a simple vista, observación con los instrumentos, utilización de un mapa del cielo, posibilidad de proponer otras actividades personalizadas (astronómicas o no). En el 2015 se realizó la 25 edición de la Noche de las Estrellas en 443 sitios en Francia, siete en otros países participantes, 2,504 guías de estrellas en los diferentes sitios, 135,000 personas en los sitios de observación.

Cerremos las ventanas

Sí, cerremos las ventanas a través de las cuales observamos el cielo, encendamos todas las luces posibles y dejemos ciegos a los astrónomos y aficionados que se refugian en los últimos sitios privilegiados para mirar el cosmos desde el suelo terrestre. Hay que darle la espalda a este conocimiento milenario, el más antiguo de la humanidad.

Celebremos nuestra insensibilidad e interrumpamos el relato cósmico, cuyos orígenes se remontan a nuestros antepasados homínidos que habitaron aquí hace unos 2.5 millones de años. Al tener que aguardar el paso de la noche salpicada de puntos titilantes dio inicio la gran aventura de la poesía sideral. Poco importa, parece insignificante frente a las necesidades de la civilización. Nadie en sus cabales se atrevería a negarle a un poblado remoto de las ciudades alumbrar sus calles y caminos rurales. Pero tampoco ninguna persona sensata desconocería el derecho que tienen los humanos de perpetuar una tradición, quizá la más valiosa: observar el espacio exterior. Valiosa porque la astronomía no es una actividad esotérica ni cosmética, sino un factor económico a lo largo de la historia y un concepto ontológico, estético. Tiene que ver con nuestra más profunda definición de ser como individuos y como sociedad, así como con un resorte ancestral de la evolución humana: la búsqueda de belleza.

El 10 de junio de 2016 BBC News publicó un artículo según el cual el 80% de la población mundial vive en una especie de “exceso luminoso”, es decir, padece algún tipo de contaminación debido a la diversidad de fuentes de luz artificial, no solo de luminarias en calles y autopistas, sino la que se desprende de los anuncios comerciales y las casas de los trashochados, quienes, dicho sea de paso, sufren trastornos del

sueño y enfermedades relativas. Millones de personas en todo el mundo ya no pueden elegir entre salir a mirar el cielo nocturno o entretenerse con alguna clase de pantalla, apenas lo miran de día. Lo peor de todo es que una buena parte de esa luz artificial se fuga, no alumbraba a nadie, y perturba la vida de muchas otras especies, ya sea en su descanso o en su actividad cotidiana cuando el sol se ha ocultado.

Así se provoca un dilema y la tentación de confundir los términos: creer que unos tienen más derecho que los otros, que se debe sacrificar “algo” en aras del progreso. Sin embargo, el mundo ha cambiado y las sociedades, gobiernos y organismos internacionales pueden entender el dilema e intentar resolverlo de la manera más diligente. Por diversas razones que se conjugan en este momento (cambio climático, necesidad de ahorrar energía, la exigencia de no destruir la cultura astrofísica) el alumbrado público en las calles de los poblados y en los caminos rurales, sobre todo en los cercanos a sitios privilegiados, debería rediseñarse. ¿Es mucho pedir que el alumbrado de los centros urbanos sea más eficiente y permita a los miles de estudiosos y aficionados que gustan de contemplar el cielo hacerlo sin tener que correr por ahí en busca de un rincón, como si fueran extraños en su propia casa?

Vale la pena recordar la frase acuñada por los amigos del Instituto de Astronomía de la UNAM en Ensenada para defender el derecho a un cielo oscuro: “Apaga un foco, enciende una estrella” o, dicho de otra manera, “rediseña un foco, enciende una estrella”. Evitemos al malvado personaje al que José Gorostiza alude en su poema *Muerte sin fin*, quien es “como una estrella mentida / por su sola luz, por una / luz sin estrella, vacía / que llega al mundo escondiendo su catástrofe infinita”.

Carlos Chimal

Novelista interesado en la comprensión pública de la ciencia

Pensar en un planetario, el caso de estudio del Planetarium Torreón

Eduardo Hernández Carrillo

Planetarium Torreón, México

Resumen

La preservación de los cielos oscuros como un derecho de la humanidad es una responsabilidad compartida entre científicos, políticos, sociedad civil y divulgadores de la ciencia. Estos últimos tienen una gran responsabilidad debido a su inherente capacidad de comunicar aspectos relevantes del ámbito científico y vincularlos con la comunidad.

En ese sentido, los planetarios son el escenario perfecto para que la comunidad científica presente iniciativas relevantes que busquen atenuar el efecto de la contaminación lumínica en el cielo de todo el planeta; pero también, es responsabilidad de los comunicadores de la ciencia hacer ver este problema como una oportunidad para mejorar nuestras condiciones de vida, tanto económicas como encaminadas a cuidar nuestro medio ambiente.

Los planetarios nacieron a principios del siglo XX como una opción para educar sobre astronomía dentro de los museos, presentando el cielo como un espectáculo que permite explicar los movimientos de las estrellas, planetas y todo lo que nos rodea. Con el avance de la iluminación en las ciudades, estos espacios se convirtieron en un lugar donde el espectador observaba lo que desde su casa no podía; el cielo se restringió a lejanos parajes donde la luz excesiva de las ciudades no afecta la observación de las estrellas.

Los planetarios, pues, al presentar el cielo estrellado en perfectas condiciones dentro de sus domos, permiten al participante sensibilizarse del problema que muchas veces ni siquiera conocemos. Pero ahora estos espacios van mucho más allá, al ser digitales y al tratar casi cualquier tema; se han convertido en verdaderas instituciones de divulgación científica multidisciplinaria, capaces de sensibilizar a grandes públicos sobre temas de importancia global. Así, la vinculación con la sociedad reviste especial importancia y genera puentes que, sin duda, nos ayudan a trabajar en pro de recuperar los cielos oscuros, para seguir descubriendo el universo como un derecho de la humanidad.

El caso de estudio de Planetarium, en la ciudad de Torreón, México, presenta aspectos importantes por tomar en cuenta en la vinculación con la comunidad, con la diferencia importante de que fue primero el gobierno quien decidió tomar la iniciativa de mejorar la calidad de iluminación de la ciudad. Ahora, el trabajo de la institución es sensibilizar a la gente sobre la importancia de este cambio en la vida social y el entorno ecológico de la comunidad.

Así pues, las estrategias implementadas por el planetario como elemento interlocutor entre especialistas, tomadores de decisiones y el gran público generan un cambio paulatino en la sociedad en la que están inmersas dichas instituciones.

Abstract

The preservation of dark skies as a human right is the shared duty of scientists, politicians, civil society and science disseminators, the latter of which are especially duty-bound because of their ability to communicate relevant information from the scientific field and link them to the community. In this sense, planetariums are the perfect stage for the scientific community to present relevant

initiatives that seek to mitigate the effects of light pollution in our planet's skies. It is also the responsibility of science disseminators to present this issue as an opportunity to improve standards of living both in terms of economic development and the protection of the environment.

Planetariums arose in the early twentieth century as an educational tool to inform people about astronomy in museums, presenting the marvels of the night sky and thus explaining the movement of stars, planets and other astronomical objects that surround us. As lighting has increased in cities, planetariums have become places that allow people to see what they cannot see from their homes since the view of the night sky became restricted to distant places where the excessive light of cities does not affect stargazing.

Planetariums show the starry sky in perfect conditions within their domes, allowing the observer to become aware of a problem that we often do not even know exists. More recently, planetariums have become genuine institutions of dissemination of multidisciplinary science, capable of raising awareness among large public audiences on matters of global importance. Thus, the relationship with society is particularly important and creates bridges that will undoubtedly help us in our work towards recovering the dark skies and to continue discovering the universe as a right of humanity.

The case study of the Planetarium in the city of Torreon, northern Mexico, presents important issues to consider when connecting with the general public, with the important difference that it was the local government that first took steps to improve the quality of public lighting in the city. Now, the Planetarium works towards raising awareness about the importance of this change in the community's social life and environmental surroundings.

Thus, the strategies implemented by the planetarium as an interlocutor between specialists, decision makers and the general public create gradual change in the society in which they are involved.



Figura 1. Las exhibiciones tradicionales en los planetarios son importantes para explicar conceptos básicos. © Carmen González.

El planetario tal como lo conocemos nace en 1923 gracias al diseño de la empresa Alemana Carl Zeiss, la cual por encargo del Museo de la Ciencia y la Técnica de Berlín construyó un instrumento optomecánico capaz de simular el cielo estrellado dentro de una pantalla en forma de media esfera. Hasta ese momento, los planetarios eran esferas de unos pocos metros, repletas de pequeñas perforaciones con la posición de la estrellas, con asientos para unas 10 personas. El éxito de aquel primer *planetario*, como se le conoció al instrumento, consistió en su capacidad para representar en un gran auditorio el cielo con un realismo impresionante (Artigue, 2002). En los años siguientes se construyeron planetarios en las ciudades más importantes del mundo, con lo que comenzó una historia de la comunicación de la ciencia desde el punto más puro de la historia de la humanidad, la simple contemplación del cielo.

Hoy, cuando nos referimos a un planetario, hablamos de un concepto mucho más amplio. Hemos dejado atrás la sala de simulación

del cielo para centrarnos en una institución de divulgación científica completa. Si bien no todos los planetarios son así, quiero hacer referencia a los casos exitosos donde la integración de más elementos propicia mejores prácticas y, por ende, una mayor capacidad de divulgar ciencia y atender a diversos públicos.

Aunque actualmente el concepto popular de planetario es el de una sala donde “se ven las estrellas”, quiero referirme al nuevo significado de la palabra: un centro de divulgación científica orientado a la astronomía y ciencias afines, que mediante simulaciones del cielo, exposiciones, talleres y observación por telescopios permite al público acercarse a las ciencias (Reynoso, 2016).

Como caso de estudio de vinculación y trabajo con la comunidad, para este artículo tomamos el Planetarium Torreón, uno de los dos planetarios independientes de México que nace en el año 2008 del trabajo de la asociación civil Planetario Torreón. La idea primordial de esta asociación era dotar a la ciudad de un planetario, observatorio y museo de ciencias que pudiera ayudar a elevar el nivel educativo de los habitantes de la Comarca Lagunera. Planetarium Torreón es una organización no gubernamental que cumple dos años con instalaciones abiertas al público y ha atendido a la fecha más de 170 mil personas.

Es un centro de divulgación científica que cuenta con una sala planetario de 12 m para 90 personas, con un sistema totalmente digital (Digistar 5 4k) capaz de mostrar simulaciones del cielo, pero también películas en formato inmersivo; éste es el corazón de la institución. Sin embargo, para complementar su sala y de acuerdo con este concepto más amplio de planetario, también cuenta con tres salas temáticas de astronomía, una de talleres llamada “Ciencia en tus manos” y otra con juegos interactivos de física; además de una “Sala de la Tierra”, con un simulador de cambio climático. No menos importantes que el planetario son sus dos observatorios astronómicos: uno con un telescopio de medio metro de apertura totalmente robótico, el más grande de México abierto al público, con un auditorio anexo para 70 personas; otro instalado en una torre con un telescopio refractor apocromático de 10”, también el más grande en su tipo en México. Ambos observatorios aprovechan la condición de esta zona del norte del país, con hasta 300 días al año de cielo despejado, y ahora, con una iluminación

LED totalmente apantallada en toda la ciudad que ha reducido enormemente la contaminación lumínica.

Con estas instalaciones, el público tiene una experiencia completa mediante la que puede viajar por el espacio en un increíble simulador, jugar y experimentar en sus manos con conceptos básicos que le ayudan a entender el universo, así como vivir la experiencia de ver por un telescopio profesional.

Al día de hoy, los planetarios cuentan con capacidades muy superiores a las de los primeros instrumentos diseñados hace 90 años; al ser totalmente digitales, se puede proyectar en el domo casi cualquier temática en un ambiente de inmersión total. Es precisamente ahí



Figura 2. Exterior del nuevo observatorio del Planetarium. En su interior se encuentra un gran telescopio Refractor de 10". © Eduardo Hernández.



Figura 3. El telescopio refractor apocromático de 10". Se trata del más grande de su tipo en México. © Eduardo Hernández.

donde podemos encontrar el primer punto de acción relacionado con la contaminación lumínica.

Todos los simuladores de estrellas diseñados para planetarios tienen la función de representar un cielo contaminado con iluminación de las ciudades. Las empresas expertas en simuladores saben que es uno de los temas fundamentales dentro de un domo, ya que trabajan con expertos en astronomía que buscan hacer de estas simulaciones una experiencia científicamente correcta. Ésta es una buena oportunidad para hablar de la contaminación lumínica como la responsable de que no se vean las estrellas en las ciudades, ya que el público puede entenderlo a la perfección; sin embargo, por lo regular no se dimensiona el problema real y se considera que dicho problema sólo importa a aquellos que observan las estrellas. Esta falta de cercanía del problema con respecto al público es quizás el primer punto que debemos atender. Si no consideramos la contaminación lumínica como un problema que nos afecta a todos quizás no será posible llegar a soluciones de fondo y aceptadas por la mayoría.

Como institución, el planetario debería tener la corresponsabilidad de trabajar con astrónomos en generar políticas internas para presentar a su público toda la serie de problemas que ocasiona la contaminación lumínica; pero en igual proporción, también debería

comunicar los beneficios que se pueden obtener de reducir y mejorar las formas en que iluminamos nuestras ciudades, en particular nuestras casas.

Existe mucha gente preocupada por el medio ambiente que sin duda tomará medidas en su entorno para reducir este problema; sin embargo, para otros el problema será irrelevante. Con estos últimos es necesario realizar un trabajo más intenso de sensibilización acerca de los beneficios que podrían tener si efectuarán cambios sencillos en su vida cotidiana.

La sociedad cambió rápidamente la forma en la que ilumina sus casas en virtud de los costos asociados a la energía eléctrica. La transición de los focos incandescentes a las lámparas fluorescentes (ahorradoras) se dio cuando estas últimas tuvieron precios suficientemente bajos como para permitir que su adquisición redujera el consumo eléctrico en casa. Lo lamentable es que estas lámparas continuaron enviando mucha luz innecesaria a la atmósfera; sólo cambiaron las longitudes de onda en la contaminación lumínica. Afortunadamente, estamos en el momento en que la iluminación LED está llegando a los costos apropiados para llevar a cabo esa migración, es un momento propicio para informarle a la gente cuáles son las formas correctas de iluminar, reduciendo



Figura 4. La interactividad del público con experimentos de ciencia hace más fácil explicar conceptos complejos en un planetario. © Carmen González.



Figura 5. Actividades de divulgación y sensibilización sobre la contaminación lumínica dentro del observatorio. © Carmen González

su consumo de energía y ayudando a atenuar los problemas de la contaminación lumínica.

Si a este tema agregamos el ingrediente de la seguridad, explicando por qué la correcta iluminación hace más seguros nuestros hogares, calles y parques, la gran mayoría de la población tomaría nota de estas medidas que benefician directamente su calidad de vida. Para la mayoría de las personas (según un muestreo aleatorio de 500 muestras de salida; Planetarium Torreón, 2015), conceptos como *encandilamiento*, *dispersión de la luz*, *longitud de onda*, entre otros, son totalmente ajenos a su vida cotidiana y prácticamente inexistentes en términos de contaminación lumínica. Éste es un campo donde podemos buscar aliados como grupos de ambientalistas, departamentos de ecología de los tres niveles de gobierno y otros más que estén conscientes y dispuestos a buscar mejores condiciones de vida en sus comunidades.

El caso de estudio del Planetarium Torreón tiene un aspecto muy importante en cuanto a contaminación lumínica. Estas instalaciones fueron construidas en el Bosque Urbano de Torreón, un parque ecológico que se modernizó totalmente en el 2014; desafortunadamente, esa administración municipal no tomó en cuenta las solicitudes hechas por el Planetarium para una correcta iluminación en todo el parque, quedando instaladas luminarias de vapor de sodio con pantallas que lanzan la luz con ángulos de hasta 45° hacia arriba o que incluso iluminaban directamente el observatorio astronómico.

Con el cambio de gobierno en 2015, una de las medidas que tomó el Presidente Municipal fue mejorar el deteriorado alumbrado de la ciudad para renovarlo totalmente con luminarias LED que fueran totalmente apantalladas. Así, durante el 2015, la ciudad cambió de una iluminación totalmente amarilla a una blanca amarillenta que presenta mejores condiciones de seguridad y consumo de energía. Pero el cambio no quedó sólo en las calles de la ciudad; en las plazas y en el Bosque Urbano fueron sustituidas todas las luminarias por equipos totalmente apantallados y colocados sólo en áreas donde era necesario contar con visibilidad. Incluso en la plaza principal del Planetarium fueron sustituidas las lámparas omnidireccionales de focos ahorradores por luminarias LED totalmente apantalladas. También en colaboración con la con el propio planetario, se programó la ilu-

minación de sus fachadas para que permanezcan sólo dos horas encendidas después de que se oculta el Sol. Así, de la mano sociedad civil y del gobierno se ha dado un claro ejemplo de que se puede trabajar en conjunto por el bien de la comunidad. Cabe hacer mención de que, sin embargo, este cambio de luminarias fue realizado principalmente por un factor económico, es decir, por el ahorro en el consumo de energía que a un mediano plazo permitirá a la ciudad ahorrar en este rubro.

Como había comentado, el trabajo del Planetarium es sensibilizar a la población sobre por qué es importante contar con mejor iluminación en la ciudad; es ahí donde vemos otra parte del problema: cómo beneficia este cambio al ciudadano.

Si volvemos al mismo caso en el que el ciudadano es ajeno a la contaminación lumínica, una familia que ve que la erogación por parte del gobierno de una cantidad mayor de recursos para una luminaria LED y no para una convencional de vapor de sodio puede considerar que es un gasto innecesario. Es por ello, que ya sea que el gobierno ya realizó el cambio de luminarias por cuestiones económicas, o bien que pugnamos porque queremos realizar el cambio para preservar los cielos oscuros para su estudio, la clave es sensibilizar.

Aunque el cambio de luminarias en toda una ciudad representa un costo alto, la duración de estas lámparas comparadas con otras es mucho más larga. Si tomamos en cuenta su consumo eléctrico, los parámetros de reducción son semejantes, la luminaria LED gastará una menor cantidad. Al inicio, el gasto puede ser mucho mayor al beneficio, pero a mediano plazo la inversión se amortizará y comenzaremos a ver beneficios directos en un tema imprescindible, el económico.

Además del tema económico, el cambio beneficiaría al ciudadano en la seguridad, ya que habrá calles mejor iluminadas, con el tipo de luz correcto que genera mejores condiciones de conducción. De igual forma, zonas mejor iluminadas y sin destellos ayudarán a prevenir incidentes delictivos. Y podríamos hablar de muchos otros factores, pero el tema principal es ver las oportunidades de comunicación entre la ciencia y la sociedad.

La clave de la vinculación de los investigadores con los ciudadanos podrían ser los museos de ciencia y planetarios, lugares ideales para exponer temas y replantear puntos de vista de nuestra sociedad (SEP, 2011). Debo hacer mención de que es imprescindible que los investigadores estén mucho más cercanos a la fuente del problema —que somos todos—. Este acercamiento podría darse mediante la participación u organización de foros en diversas instituciones con el tema de la correcta iluminación, o escribiendo artículos de divulgación sobre la importancia de cuidar nuestros cielos. Lo anterior habría de realizarse con base en los dos elementos fundamentales: el primero, el derecho del ser humano a observar el cielo estrellado y estudiarlo también; el segundo, los beneficios que tiene la correcta iluminación para la sociedad y el planeta. Es imprescindible que ambos aspectos se traten juntos; de lo contrario, no estaríamos atacando el problema de fondo.

Podemos comenzar con lo más obvio: los centros de investigación, planetarios y museos de ciencia deberían cumplir todas las normas aplicables para cuidar nuestros cielos; de no ser así, es imposible sensibilizar a la población en un aspecto que ni siquiera los propios interesados podemos solucionar. En el caso del Planetarium Torreón, la gente que visita los observatorios, además de observar las estrellas, aprende nociones básicas de iluminación, ya que durante la plática es posible ver ejemplos de buena y mala iluminación, con lo que estamos poniendo nuestro granito de arena para reducir este problema que es de todos.

La contaminación lumínica es un problema que nos afecta a todos, no sólo a los astrónomos, y sus consecuencias van mucho más allá de no poder observar las estrellas. Con esta sencilla idea, debemos trabajar para mejorar nuestras políticas de sensibilización, para lograr un conciencia global de esta problemática; por supuesto, los planetarios son herramientas poderosas para lograrlo.

Referencias

Artigue, F. 2002. *Los planetarios: centros de divulgación de la ciencia y la tecnología*. Uruguay, Universidad de la República, Facultad de Ciencias.

Reynoso, E. (coord.) 2016. *Hacia dónde va la ciencia en México. Comunicación pública de la ciencia II*. El oficio. México, Consejo Consultivo de las Ciencias, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Academia Mexicana de Ciencias, Dirección General de Divulgación de la Ciencia.

Secretaría de Educación Pública. 2011. Acuerdo 592 por el que se establece la articulación de la educación básica. Disponible en: http://www.reformapreescolar.sep.gob.mx/normatividad/acuerdos/acuerdo_592.pdf

Planetarium Torreón. 2015. Estudio de público realizado en enero-marzo del 2015, muestreo aleatorio de 500 visitantes.

Zeiss, C. 2012. Planetarios. Planetarios – made by Carl Zeiss. Área Comercial. www.zeiss.de/planetariums



Double rainbow over Alfa Planetarium. 24 August 2015, Nuevo León, México. © César Cantú.

Chapter 7

Conclusions

Capítulo 7

Conclusiones

The Right to Dark Skies: Results and Conclusions

As a result of two days of presentations and one day of collective reflection in working groups, the experts present at the International Meeting *The Right to Dark Skies* defined the following lines of action to safeguard and protect the visibility of our night skies.

Measurement of Light Pollution and International Monitoring

In recognition that dark skies are both an important scientific and cultural resource and in order to promote the preservation of dark skies at visible and radio wavelengths for both scientific and cultural purposes, the group of experts gathered in Mexico City recommend that a set of standardized systems of measurement for monitoring light pollution be developed. This system would provide quantitative information about the status and progression of sky brightness and radio interference as well as their impact on areas of astronomical significance; likewise, it would include a system of monitoring impacts on human health and other biological systems in general in order to ensure the ability of current and future generations to appreciate the stars together with encouraging more efficient use of energy for sustainable development.

This information could then be transmitted to governmental agencies for action at local and national levels as well as to UNESCO and other heritage management organizations. The information generated can contribute to the implementation of management and conservation plans in areas particularly suitable for observation, as well as contribute to the preservation of night sky visibility over natural and cultural protected areas.

In particular, the development of such a set of standardized systems of measurement is an urgent need for astronomical observatories and

their surrounding areas due to the recent increases in light pollution from urban and productive development around the world.

As a fundamental premise for the establishment of such standards, it is strongly recommended that the proliferation of unshielded lighting of any kind or lighting fixtures with excessive blue emission (e.g., colour temperatures higher than 3000K) be controlled. The monitoring system(s) defined should have the ability to measure colour temperature, brightness and directionality.

Priorities for International Cooperation

One of the key guarantors for the development of a standardized set of measurement systems that could be applied globally is international cooperation. In this vein, the importance of cultural, scientific, environmental, governmental and commercial entities is fundamental.

Of the actors called upon to develop collaborations in the field of international cooperation, the following are highlighted (in no particular order of importance):

- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), The Office for Protection of Sky Quality in Northern Chile (OPCC in Spanish) and the Technical Office for the Protection of Sky Quality (OTPC in Spanish)
- International Astronomical Union (IAU)
- Other darks skies institutions such as the International Dark-Sky Association (IDA), Starlight Foundation, CieloBuiro and Cel Fosc, among others.
- Professional observatories
- Professional astronomical societies
- Space agencies
- National parks
- Amateur astronomy societies
- Associations of specialists in the conservation and management of heritage
- National, state, and local governments
- Environmental protection organizations
- Urban planners

- Health experts
- Lighting professionals and associations
- Lighting companies
- Energy companies
- Museums
- Archives
- Academic centres specialized in the social sciences

Plan of Action

1. It is highly recommended that an international team be set up (with the participation and perhaps leadership of the IAU and/or other agencies, in cooperation with other astronomical organizations) with the aim of establishing a common glossary and standard system of characteristics suitable for allowing the future installation of astronomical observatories. Proposed measurement system elements include, among others:
 - all-sky coverage
 - colour information
 - spatial resolution
 - satellite data (space agencies and private companies)
 - archival and open database
 - standard open-source software to archive, analyse, and share results
2. It is also recommended that the implementation of such systems take place as soon as possible in order to provide the information necessary to governmental and international authorities at various levels to support and encourage the development of legal and social frameworks for the protection of areas of astronomical significance in the face of ever increasing urban processes and to serve in the decision making processes of multilevel government systems.
3. It is recommended to promote awareness-raising activities about the need to preserve dark skies for their scientific, health, environmental, and cultural value. These actions could be directed to the general public, agencies of the United Nations system, governmental agencies, non-governmental organizations and civil society, without forgetting the private business sector, the education sector and academia as a whole.

This system should include complementary sources of measurements, such as aerial surveys.

Concerning the standardization of techniques and protocols for the collection of night sky quality data, it is encouraged that the work conducted by the Loss of the Night Network (LoNNe)¹ be reviewed. This European funded effort, which has been ongoing since 2012, provides a network for almost 40 organizations to share their experiences with the aim of fostering cooperation between these players in order to cross-fertilize skills and capacities to create standard operating procedures.

For the harmonization of monitoring data (primarily SQM), the work of the Italian coordination for the collection of light pollution data (CORDILIT in Italian)² is highlighted and should be reviewed. The CORDILIT network, which has been

operating in Italy since 2011, is a lightweight infrastructure, aggregating data from stations deployed in various parts of the country. The core of the network was started by two civic associations, Veneto Stellato and Attivarti.org with the Buiometria Partecipativa project, which have since been joined by other activists and scientists, including the National Research Council of Italy. All of the data is released with an open license online.

Specifically, within the context of UNESCO, the group of specialists recommended that a working group be created to generate a report on the subject with the aim of including it in the annual UNESCO Science Report, incorporating the elements below:

- Society: citizenship involvement to reinforce the conscience of (national and world) citizenship. Various “citizen science” initiatives could be implemented, such as making and sharing sky measurements at home and comparing them with measurements in other parts of the world.
- Culture:
 - Creative Cities (UNESCO), as communities of defence and conservation of dark skies.
 - Sustainable development cities (heritage as well as

1. <http://www.cost-lonne.eu/>

2. <http://www.cordilit.org>

efficiency, long-term approaches), impacts on long-term sustainability of the environment and the World and inclusion of dark skies in UNESCO manuals to teach about sustainable development.

- Educational modules that generate children's knowledge of the sky. Specialists have found that an ever-growing percentage of children have never seen or appreciated the constellations. A related practice with this theme could be developed in the UNESCO Global Geoparks.³
- Educational tools able to generate an engaging and comprehensive concept of dark skies that communicates their importance to society with a clear, friendly and strong message. The preparation and distribution of educational materials to schools, along with instructions to teachers on this topic, is recommend. An example is the Quality Lighting Teaching Kit⁴ from the National Optical Astronomy Observatory. This kit contains tools for inquiry-based learning activities that explore different aspects or effects of bad lighting.

- "Citizen Science" activities: smartphone apps can be used to measure the sky brightness at any site. The International Dark-Sky Association hosts a website where these measurements can be entered and compared to other participants' sites.

Legislation and Technical Norms

It is recognized that the standards of lighting will be different for different types of usage in public spaces, industrial areas, sports and recreation facilities and protected zones. They will also be different in different parts of world, where technological solutions will vary based on an areas' specific needs and resources. So rather than trying to enforce a detailed set of standards indiscriminately across the board for all of these different areas and kinds of usage, it is recommended that a global norm be adopted that promotes staying within 20% of an established set of "minimum recommended safe level(s)" such as those already established by international organizations such as IDA, IESNA, CIE and the Starlight Foundation. It is recognized that these standards and norms should be exacting and uncompromising

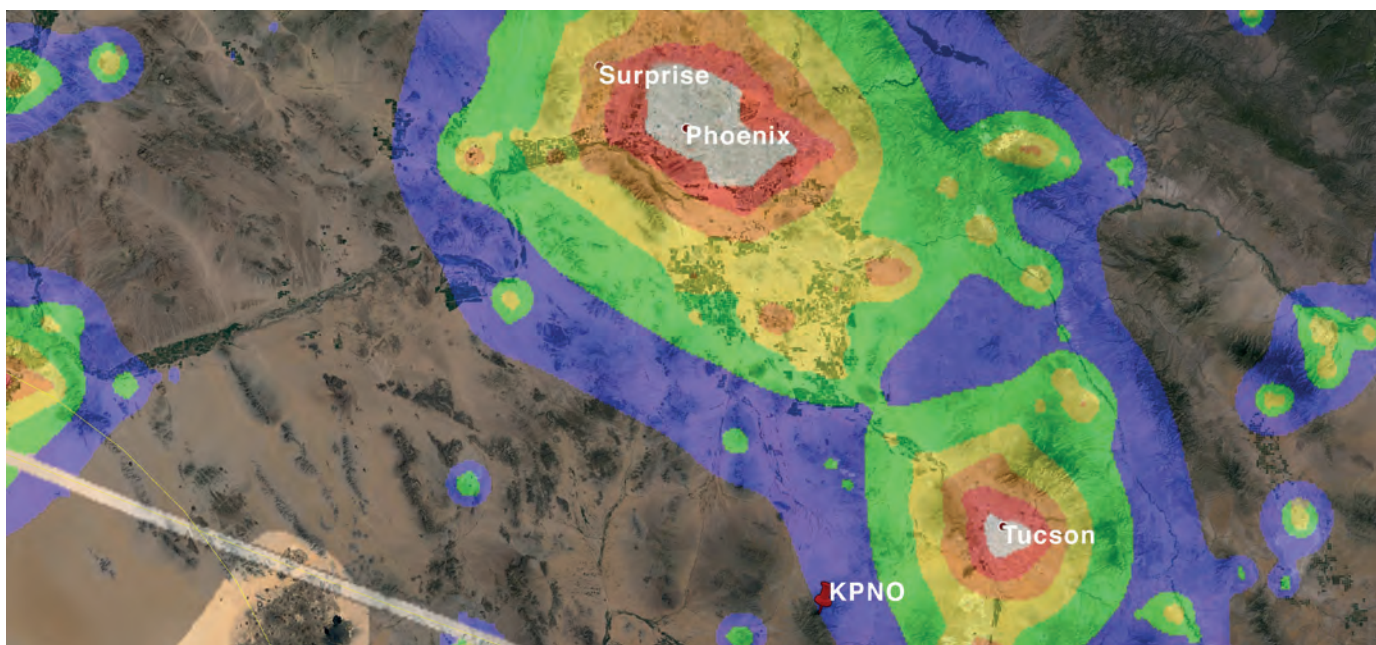


Figure 1. Light from Tucson Arizona in relation to KPNO. © Google Earth with map data from Google, INEGI, SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA and GEBCO with annotations by Fernando Avila Castro and data from P. Cinzano et al.

3. For more information on the UNESCO Global Geoparques, see: www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/ciencias-naturales/earth-sciences/geoparques

4. See <http://www.noao.edu/education/qltkit.php>

in their goal to reduce light pollution effectively. It is emphasized that all countries should strive to achieve the very best practices and communicate in terms of international cooperation.

The specialists consider the establishment of specific legislation to mitigate light pollution to be best served at national and local levels. What follows is a list of recommended legislative solutions that could be applied locally and especially in the construction of outdoor lighting codes. This list is not exhaustive:

1. Requirement to use absolute minimum levels of lighting necessary to perform the required task and stay within 20% of minimum recommended safe levels.
2. Enforcement of a lumen per capita limit, with the aim to arrive at no more than 1000 lm per capita, as a target level. The level of light installed in developed countries in the 1970s should be used as the maximum allowable level.
3. Enforcement of uniformity of outdoor lighting (public AND private spaces). Vehicular and pedestrian traffic may be endangered by abrupt transitions between bright and dark areas. Eye pupil response (opening and closing) might suffer going from poorly lit to overly lit areas and vice versa, creating a potential security hazard to drivers and people with poor eye sight.
4. Requirement of appropriate shielding on lighting fixtures (noting possible differences in residential and industrial areas)
5. Requirement to turn off public lighting in areas where it is not needed during certain hours. E.g. parking lots, billboards, decorative fountains and sculptures and parks.
6. Requirement that Correlated Colour Temperature (CCT) be capped at 3000K and that narrow spectrum sources be used to lower possible impacts on wildlife and health (e.g. PC amber LED).
7. Delineation of exclusion zones around protected areas (with a possible extension of 200 km in diameter). Scientific models show that escaping light from big cities can travel hundreds of miles due to atmospheric dispersion. This has been observed at Kitt Peak National Observatory (KPNO) where the light from the city of Tucson 100 km away has started to affect the dark sky in KPNO. In a similar way, the cities of Mexicali,

Ensenada, Tijuana and San Diego, might be a potential problem for the National Astronomical Observatory in Baja California (OAN-SPM in Spanish). Considering that some of these cities have populations of over one million at a distance of less than 200 km, the proposed exclusion area becomes a form of contingency needed against the relentless pace of urban development (see Figure 1).

8. Installation of adaptive lighting systems, which may substantially lower (by ten times or more) the lighting levels when they are not in use; this saves both energy and money.
9. Elimination of broad spectrum LEDs and investment in developing cheaper, more efficient narrow spectrum LEDs.

Currently there not enough options available to consumers to safely and ecologically light their outdoor areas. There needs to be ecologically safer and more affordable options for better lighting made available for both industrial and residential applications. We recommend that national and local governments and electric companies take steps to incentivize safe lighting for urban and rural areas that benefit consumers.

It is recommended to look for examples of pre-existing legislation that have led to the improvement of other aspects of our environment like Clean Air Legislation and Clean Water Legislation, and explore whether or not there are parallels present for legislation that could protect the sky.

Finally, the experts highlight the importance of encouraging the development of specific adaptations to the generic regulations and including local solutions as a key factor. Engaging diverse actors in finding solutions leads to more innovation with which to find new solutions to combat light pollution.

Compliance

It is recommended to use all available and future technologies to track the compliance with any recommendations that are set out in new agreements. For example, a global Sky Quality Meter (SQM) network could be employed in conjunction with higher resolution satellite data which incorporates colour/spectral information to these data, as SQM and satellites don't detect the difference between

different sources and satellites are blind to blue light.⁵ These data, acquired periodically, could be used to analyse results and present them in a way that could inform this effort. It is recommended that in any documentation that is produced, good practices are called out by naming specific examples of cities, industries and governments that took the initiative.

Social Communication and Education

It is necessary that the public in general, all of the inhabitants of populated areas, be aware of the need to preserve dark skies. This need cannot only be expressed through the concerns of scientists, unique to astronomers, technicians or specialists. It should be understood as an effective exercise of citizenship.

It is recommended that a series of meetings or workshops be convened to define strategies, contents, and specific tools of communication and education based on 4 types of “publics”:

1. Decision-making authorities in all of the involved disciplines;
2. The General Public;
3. Youth and Children;
4. Manufactures of goods and services related to the topic.

Decision-Making Authorities at Various Points of Interest

In terms of economic actors, it is necessary to highlight the financial benefits to be gained by mitigating light pollution. In most cases, more efficient lighting means more efficient spending and lowered costs. In terms of security at night, there is a general misconception that light=safety and, consequently, that darkness=danger but there is actually no direct relationship between dark skies and being unsafe. In fact, in some cases excessive lighting can create glare which decreases visibility and can ultimately be more harmful.

It has been shown that excess lighting can actually be toxic and damaging to people’s health and that less lighting can lead to lowered CO2 emissions. Less lighting also protects animals who thrive in nocturnal environments.

It would be these main lines of action—economy, security, welfare and environment—that would need to be communicated to decision makers. This communication could be facilitated by UNESCO or other international organizations through acknowledgement, incentives or the creation of specialized scientific technical working groups, making use of communication strategies that employ a strong and organized online presence, which simultaneously serves to generate knowledge and respect for dark night skies.

The General Public

It would be possible to appeal to the general public in much the same way as the decision makers. The same economic, security, welfare and environmental benefits to mitigating light pollution would be of interest to the general public. Additionally, the idea of reconnecting to the relationship that one has with the sky should be highlighted. It is fundamental to analyse the flow of information in social networks.

The education of the general public could be achieved through the cooperation of all of the pre-existing organizations involved in environmental protection. Using this network, the reach of dark skies education would be significantly impactful. It is recommended to produce and distribute informative material to engage the general public through the use of non-formal educational activities and the creation of a website for exchange and collaboration on the topic. The institutions convened in Mexico City are willing to develop an information portal on the issues and, specifically, on the recommendations presented herein.

Youth and Children

In the first two groups, the collection and dissemination of relevant information was emphasized but in terms of youth and children, education is key to generating lasting conviction and commitment. It is recommended that education about the sky and about the universe be included in all formal curricula for students at primary, secondary and university levels, especially emphasizing the importance of public participation in the preservation of cultural values in addition to scientific research:

5. This means that they’ll detect a decrease in light pollution when actually an increase is taking place in the migration from High Pressure Sodium lights to white LEDs.

- The dark skies as liaison link between humans
- The dark sky as a teaching support for multidisciplinary actions
- The dark sky as heritage of humanity and of each culture

For this to be successful, the appropriate awareness raising efforts must be made with the educational authorities. A training program for educators as well as the production and distribution of training and educational material is also suggested.

Manufactures of Goods and Services Related to the Topic

A fourth “public” to be considered are the manufacturers of goods and services related to lighting. It would be important to inform

them about the business changes they could implement that would contribute socially and scientifically to the mitigation of light pollution. Actions of this nature could be carried out by providing incentives and giving certificates.

Priorities for International Cooperation

It is important to secure the cooperation of the amateur astronomer community that is present all over the world and in every country who show strong interest in protecting our dark skies.

El derecho a los cielos oscuros: resultados y conclusiones

Como resultado de dos días de ponencias individuales y un día de reflexión colectiva en grupos de trabajo, los expertos presentes en la Reunión Internacional “El derecho a los cielos oscuros” establecieron las siguientes líneas de acción para salvaguardar y proteger la visibilidad de nuestros cielos oscuros.

Medición de la contaminación lumínica y monitoreo internacional

Reconociendo que los cielos oscuros son un importante recurso tanto científico como cultural, y con la finalidad de promover la preservación de los cielos oscuros a nivel visible y de sus respectivas longitudes de onda de radio con objetivos científicos y culturales, el grupo de especialistas reunidos en la Ciudad de México recomienda el desarrollo de un conjunto de sistemas estandarizados para medir y supervisar la contaminación lumínica. Este sistema debería proporcionar información cuantitativa sobre el estado y el avance del brillo en el cielo y de la interferencia radial, así como de su impacto en zonas de importancia astronómica; asimismo debería incluir un sistema de monitoreo de su influencia y/o impacto sobre la salud de los seres humanos y otros sistemas biológicos en general, asegurando la capacidad de las generaciones presentes y futuras para apreciar las estrellas, junto con promover el empleo de un uso más eficiente de energía para el desarrollo sostenible.

Esta información podría ser transmitida a agencias gubernamentales para sustentar su acción a nivel local y nacional, así como a la UNESCO y otras organizaciones encargadas de conservar el patrimonio. La información y conocimiento generados pueden contribuir a la implementación de planes de conservación y de manejo de espacios especialmente idóneos para la observación, así como coadyuvar a la preservación de la visibilidad de los cielos oscuros en áreas naturales y culturales protegidas.

El desarrollo de este conjunto de sistemas estandarizados de monitoreo es una necesidad particularmente urgente para los observatorios astronómicos y zonas aledañas, debido al reciente aumento de la contaminación lumínica provocada por el desarrollo urbano y productivo creciente en todas las latitudes del planeta.

Como premisa fundamental en el establecimiento de dichos estándares, se recomienda ampliamente establecer un control de la proliferación de iluminación sin armadura de cualquier tipo o bien de instalaciones eléctricas de emisiones azules (p. ej., temperaturas de color mayores a 3,000 K). El/los sistema(s) de monitoreo establecido/s debería/n tener la capacidad de medir temperatura de color, resplandor y direccionalidad.

Prioridades para la cooperación internacional

La cooperación internacional es uno de los garantes fundamentales para el desarrollo de un conjunto estandarizado de sistemas de monitoreo, aplicable a escala mundial. En este sentido, la importancia de las organizaciones culturales, científicas, medioambientales, gubernamentales y comerciales resulta fundamental.

Entre los actores que están llamados a poder desarrollar colaboraciones en el ámbito de la cooperación internacional destacan los siguientes (ordenados aleatoriamente):

- La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Oficina de Protección de la Calidad del Cielo de Norte de Chile (OPCC) y la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC)
- Unión Astronómica Internacional (UAI)
- Otras instituciones ligadas a los cielos oscuros, tales como la Asociación Internacional para los Cielos Oscuros (IDA), la Fundación Starlight, CieloBuiro, Cel Fosc, entre otras
- Observatorios profesionales
- Sociedades astronómicas profesionales
- Agencias espaciales
- Parques nacionales
- Sociedades astronómicas de aficionados
- Asociaciones de especialistas en conservación y manejo del patrimonio

- Gobiernos nacionales, estatales y locales
- Organizaciones para la protección del medio ambiente
- Planificadores urbanos
- Expertos en salud
- Profesionales y asociaciones de iluminación
- Empresas de iluminación
- Empresas de energía
- Museos
- Archivos
- Centros académicos especializados en ciencias sociales

Plan de acción

1. Es sumamente recomendable la conformación de un equipo internacional (con la participación y quizá el liderazgo de la UAI y/o de otras agencias, siempre en cooperación con otras organizaciones astronómicas) con la finalidad de establecer un glosario consensuado, así como un sistema común y un estándar de caracteres idóneos, susceptibles de permitir la instalación en el futuro de observatorios astronómicos. Los elementos de sistema de medida propuestos incluyen, entre otros:

- cobertura de todo el cielo
- información de color
- resolución espacial
- datos satelitales (agencias espaciales e iniciativa privada)
- archivos y bases de datos abiertos
- software estándar y de código abierto para archivar, analizar y compartir resultados

Este sistema debería incluir fuentes complementarias de medición, tales como estudios aéreos.

Con respecto a la estandarización de las técnicas y los protocolos para la obtención de datos de la calidad del cielo oscuro, se sugiere revisar el trabajo de Loss of the Night Network (LoNNe).¹ Este esfuerzo, resultado de una colaboración financiada con fondos europeos, en operación desde el 2012, genera una red donde 40 organizaciones pueden compartir sus ex-

periencias, con el objetivo de promover la cooperación entre estos agentes y asegurar un intercambio de habilidades y para diseñar procedimientos estándar.

En cuanto a la armonización de los datos de monitoreo (principalmente SQM), se insta a revisar el trabajo de la Coordinación Italiana para la Recolección de Datos sobre Contaminación Lumínica (CORDILIT, por sus siglas en italiano)² La red CORDILIT, que ha operado en Italia desde 2011, consiste en una infraestructura ligera a la cual se le agregan datos de estaciones desplegadas en varias partes del país. El núcleo de la red fue iniciado por dos organizaciones de la sociedad civil, Veneto Stellato y Attivarti.org (en conjunto con el proyecto BuioMetria Participativa). Desde entonces, se han unido a la red otra serie de conocedores interesados y de científicos, incluyendo al Consejo Nacional de Investigación de Italia. Todos los datos generados por esta red son difundidos con licencia abierta en línea.

2. También se recomienda que la puesta en práctica de dichos sistemas se dé con la menor dilación para proporcionar la información necesaria a las autoridades gubernamentales de los diferentes niveles de gobierno e internacionales, con el objetivo de apoyar y animar el desarrollo de marcos legales y sociales para la protección de las áreas con importancia astronómica ante la proliferación incesante de los procesos urbanos, y de servir en los procesos de toma de decisiones en sistemas de gobernanza multinivel.
3. Al mismo tiempo, se recomienda promover actividades de concientización sobre la necesidad de conservar los cielos oscuros por su valor científico, medioambiental, cultural y de salud pública. Estas acciones podrán dirigirse al público en general, a agencias del sistema de Naciones Unidas, a agencias gubernamentales y a organizaciones internacionales, así como a organizaciones no gubernamentales y de la sociedad civil, sin olvidar al sector privado-empresarial, al sector educativo y a la academia en su conjunto.

Específicamente en el marco de acción de la UNESCO, el grupo de especialistas recomienda la conformación de un grupo de tra-

1. Enlace al sitio oficial: <www.cost-lonne.eu>.

2. Enlace al sitio oficial: <www.cordilit.org>.

bajo que genere un reporte sobre la materia con la finalidad de ser incluido en el *Informe Mundial de la UNESCO sobre la Ciencia*. Este reporte deberá incorporar los siguientes elementos:

- Sociedad: involucramiento de la sociedad civil para reforzar la noción de ciudadanía (nacional y mundial). Varias iniciativas ciudadanas de carácter científico pueden implementarse, tales como mediciones domésticas del cielo y su socialización y comparación con las mediciones en diferentes partes del mundo.
- Cultura:
 - Ciudades Creativas (UNESCO), como comunidades de defensa y conservación de los cielos oscuros.
 - Ciudades y desarrollo sostenible (patrimonio y eficiencia; aproximaciones de largo plazo), impacto sobre la sostenibilidad a largo plazo del entorno y en el mundo, inclusión de los cielos oscuros en los manuales de la UNESCO sobre educación para el desarrollo sostenible.

- Módulos educativos que generen conocimiento infantil del cielo. Los especialistas han constatado que un porcentaje cada vez más amplio de niños nunca ha visto o apreciado la bóveda celeste. Una práctica relacionada con este tema podría desarrollarse en los Geoparques Mundiales declarados por la UNESCO.³
- Herramientas pedagógicas capaces de generar un concepto atractivo y comprensivo de los cielos oscuros, que comunique su importancia a la sociedad en su conjunto con un mensaje claro, amigable y contundente. Se recomienda la preparación y distribución de materiales informativos en las escuelas, acompañados de guías para los maestros. Un ejemplo de ello es el *Quality Lighting Teaching Kit*⁴ realizado por el National Optical Astronomy Observatory. Este kit contiene herramientas para desarrollar actividades prácticas que permiten explorar diversos aspectos relacionados con la iluminación.
- Actividades para el público general: muchas aplicaciones

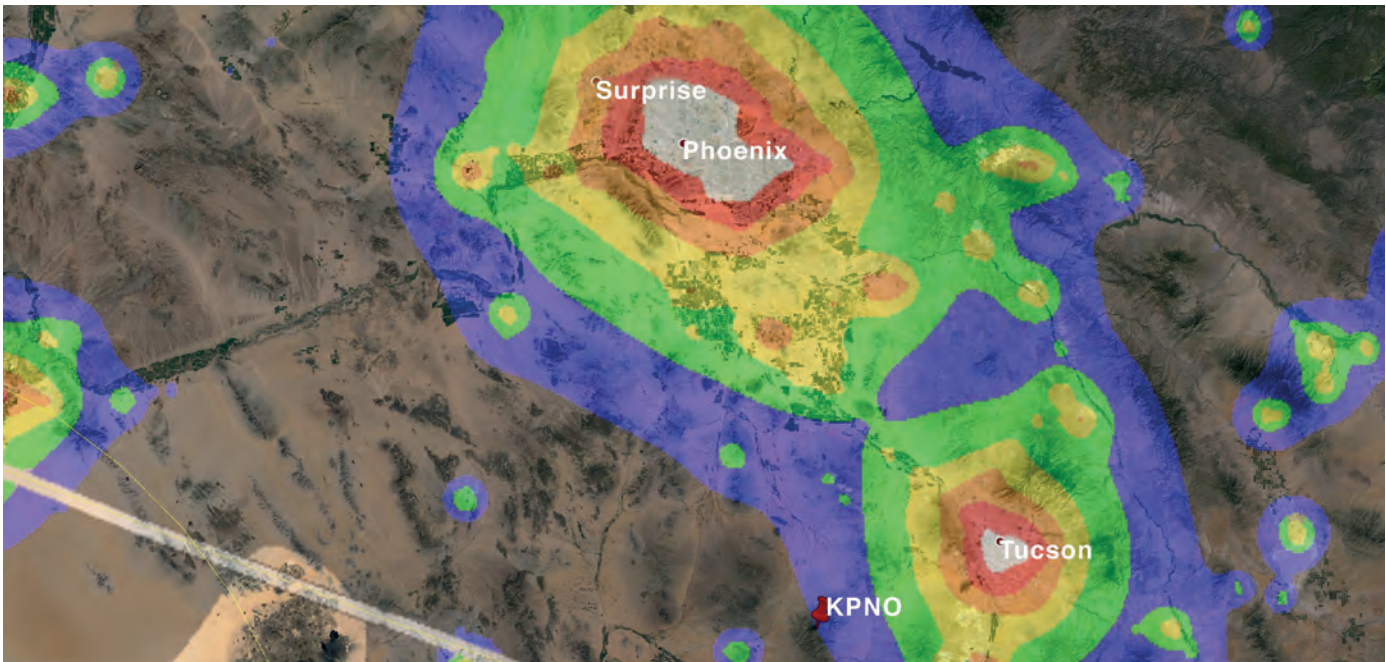


Figura 1. Luz de Tucson, Arizona en relación con el KPNO. © Google Earth, con datos de Google, INEGI, SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA y GEBCO, con anotaciones de Fernando Avila Castro y datos de Cinzano *et al.*

3. Para más información sobre los Geoparques Mundiales de la UNESCO, véase: <www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/ciencias-naturales/earth-sciences/geoparques>.

4. Véase: <<http://www.noao.edu/education/qltkit.php>>.

para teléfonos móviles se pueden utilizar para medir el brillo del cielo en cualquier emplazamiento. La IDA administra un sitio web en el que estas mediciones se pueden registrar y comparar con otros sitios.

Legislación y normativas técnicas

Se reconoce que los estándares de iluminación serán diferentes de acuerdo con el tipo de uso de los espacios públicos, las áreas industriales, los complejos deportivos y recreativos, así como en las zonas protegidas. Estos estándares también variarán en las diferentes partes del mundo, donde las soluciones tecnológicas, las necesidades y los recursos serán diversos. Más que intentar establecer un estándar sumamente detallado e independiente del área o el tipo de uso que se haga de ésta, se recomienda establecer una norma genérica que promueva mantenerse dentro del 20% de nivel mínimo recomendado, de acuerdo con los criterios establecidos por algunas organizaciones internacionales, tales como IDA, IESNA, CIE y Starlight. Se reconoce que estos estándares y normas deberían ser de riguroso cumplimiento, con el objetivo de reducir de forma efectiva la contaminación lumínica. Se enfatiza la necesidad de que todos los países deben esforzarse por promover las mejores prácticas y comunicarlas en términos de cooperación internacional.

Los especialistas consideran de mayor utilidad establecer legislaciones específicas a nivel nacional y local. A continuación se presenta una serie de recomendaciones y soluciones legislativas que pueden ser aplicadas localmente, especialmente para la construcción de códigos de iluminación exterior. Esta lista no es exhaustiva:

1. Requerir el uso del mínimo de iluminación necesaria para la ejecución de una tarea. Permanecer dentro del 20% del nivel mínimo recomendado.
2. Reforzar el establecimiento de un límite de iluminación per cápita, con el objetivo de conseguir un nivel máximo de 1,000 lm por habitante. El nivel de iluminación instalado en los países desarrollados en 1970 podría considerarse como el máximo nivel posible.
3. Uniformar la iluminación de exteriores (en espacios públicos y privados). El flujo vehicular y peatonal pueden verse afectados por transiciones abruptas entre áreas oscuras e iluminadas. La

respuesta ocular de las pupilas puede comprometerse al atravesar áreas con poca y mucha luz, generando una posible amenaza para conductores y personas con vulnerabilidad visual.

4. Requerir el uso de armazones y coberturas adecuadas en el alumbrado (destacando posibles diferencias entre áreas industriales y residenciales).
5. Requerir el apagado del alumbrado público en las áreas donde no es necesaria la iluminación durante horas específicas, p. ej., estacionamientos, anuncios publicitarios, fuentes decorativas, monumentos y parques.
6. Requerir que la Correlación Color-Temperatura (CCT) se limite a 3,000 K y que se utilicen fuentes de espectro reducido para reducir los posibles impactos en la salud y la vida silvestre (p. ej., LED-PC ámbar).
7. Delimitación de zonas de amortiguamiento alrededor de áreas protegidas (con una posible extensión de 200 km de diámetro). Modelos científicos demuestran que la luz emitida en las grandes urbes puede viajar cientos de kilómetros debido a la dispersión atmosférica. Este fenómeno ha sido observado en el Observatorio Nacional Kitt Peak (KPNO), donde la luz de la ciudad de Tucson, a 100 kilómetros de distancia, ha comenzado a afectar al Observatorio. De forma similar, las ciudades de Mexicali, Ensenada, Tijuana y San Diego pueden convertirse en una posible amenaza para el Observatorio Astronómico Nacional de Baja California (OAN-SPM). Considerando que algunas de estas ciudades tienen una población superior al millón de habitantes y que están a una distancia de menos de 200 km, el área de amortiguamiento propuesta se convierte en una forma de contingencia necesaria frente al ritmo incesante del desarrollo urbano (véanse figuras 1 y 2).
8. Instalación de sistemas de iluminación adaptables que reduzcan sustancialmente (10 veces o más) los niveles de iluminación cuando un área no está en uso. Esto reduce costos y energía.
9. Eliminación de LEDs de amplio espectro e inversión e instalación de LEDs de espectro reducido y con menor costo.

Actualmente no existen opciones disponibles para que los ciudadanos iluminen de forma segura y ecológica las áreas exteriores. Por ende, se necesitan desarrollar opciones para una mejor iluminación exterior tanto a nivel industrial como residencial.

Recomendamos que los gobiernos nacionales y locales, así como las compañías eléctricas, tomen acciones para incentivar la iluminación segura de las áreas urbanas o rurales que puedan beneficiar a los consumidores.

Es recomendable buscar ejemplos de legislaciones existentes en otros ámbitos que hayan contribuido al mejoramiento de factores ambientales, tales como legislaciones de la calidad del aire o del agua. Se deben explorar estos ejemplos para encontrar paralelismos e insumos para las legislaciones de protección de los cielos oscuros.

Finalmente, los expertos destacan como un factor clave motivar el desarrollo de adaptaciones específicas a las normativas genéricas y que incluyan además soluciones locales. Atraer a diversos actores para la búsqueda de soluciones puede contribuir a fortalecer la innovación y con ello encontrar soluciones novedosas para enfrentar los excesos lumínicos.

Cumplimiento

Se recomienda usar todas las tecnologías disponibles y futuras para monitorear el cumplimiento de cualquier recomendación dispuesta en nuevos acuerdos. Por ejemplo, una red de fotómetros para medir la calidad del cielo (SQM) a nivel global podría ser incorporar datos satelitales de alta resolución que incluyan a su vez información color/espectral de estos datos, ya que el fotómetro y el satélite no detectan la diferencia entre fuentes distintas y los satélites no reconocen la luz azul.⁵ Estos datos, recolectados periódicamente, pueden ser utilizados para analizar los resultados y ser presentados de tal manera que informen este esfuerzo. Se recomienda que, en cualquier documentación que se produzca al respecto, se incluyan buenas prácticas con información específica de la ciudad, la industria o el gobierno que tomaron la iniciativa.

Comunicación a la sociedad y educación

Es necesario que el público en general, todos los habitantes de los núcleos poblados, sean conscientes de la necesidad de preservar sus cielos oscuros. Esta necesidad no puede ser expresada como una preocupación científica, única de los astrónomos, o técnica, de los especialistas. Debe de ser entendida como un ejercicio efectivo de ciudadanía.

Se recomienda la proyección de una serie de reuniones o talleres para definir estrategias, contenidos y herramientas especiales de comunicación y educativas para cuatro perfiles específicos de públicos:

1. Autoridades y tomadores de decisiones en todas las disciplinas involucradas;
2. Público general;
3. Niños y jóvenes;
4. Productores de bienes y servicios relacionados con la materia.

Autoridades y tomadores de decisiones en varias ramas de interés

En términos de actores ligados a la economía, es necesario subrayar los beneficios financieros que puede acarrear la mitigación de la contaminación lumínica. En la mayoría de los casos, una iluminación más eficiente se traduce en una inversión más efectiva y en un abatimiento de costos. En términos de seguridad, existe una confusión generalizada de que más luz equivale a más seguridad y, por ende, menos luz es igual a inseguridad. Sin embargo, no existe una relación directa entre la oscuridad del cielo y la inseguridad. De hecho, en muchos casos la iluminación excesiva puede generar un resplandor que disminuya la visibilidad y que, en última instancia, constituye una amenaza.

Se ha demostrado que el exceso de iluminación puede ser tóxico y dañino para la salud, y que una iluminación correcta puede contribuir a la disminución de emisiones de bióxido de carbono. El control de la iluminación también puede auxiliar en la protección de los animales que desarrollan sus formas de vida en ambientes nocturnos.

Éstas son las principales líneas de acción —cultura, economía, seguridad, bienestar y medio ambiente— que necesitan ser comunicadas a las autoridades y tomadores de decisiones. Esta comunicación se puede facilitar a través de la UNESCO o de otras organizaciones internacionales, a través del reconocimiento, la generación de incentivos o la creación de grupos de trabajo especializados científico-técnicos, sirviéndose de estrategias de comunicación que impliquen una presencia bien organizada en la web, que sirva a su vez para la generación de conocimiento y respeto por los cielos oscuros nocturnos.

5. Esto significa que detectan un decremento de la contaminación lumínica cuando ésta va en aumento, debido a la migración de lámparas de sodio de alta presión a LED blancos.

Público general

Es posible generar atención del público general de la misma manera que con las autoridades. Los mismos beneficios económicos, de seguridad, bienestar y del medioambiente pueden resultar de interés público. Adicionalmente, se debería resaltar la importancia de regenerar la relación de la gente con el cielo. Resulta fundamental analizar los flujos de información en las redes sociales.

La educación del público general se puede conseguir por medio de la cooperación de todas las organizaciones preexistentes relacionadas con la protección del medioambiente. Usar esta red en beneficio de los cielos oscuros puede ser significativamente importante. Se recomienda la producción y distribución de material informativo para atraer al público por medio de actividades lúdicas y mediante la creación de sitios web para propiciar colaboración en la materia. Las instituciones convocadas en la Ciudad de México están dispuestas a desarrollar un portal informativo sobre los temas tratados y, en específico, sobre las recomendaciones aquí presentadas.

Niños y jóvenes

En los dos grupos anteriores se enfatizó la importancia de la recolección y divulgación de información relevante; sin embargo, en el caso de los niños y los jóvenes, la educación es el factor determinante para generar convicción y compromiso duraderos. Se recomienda que el conocimiento del cielo y el universo sean incluidos en la currícula de la educación primaria, secundaria y superior, enfatizando especialmente la importancia de la par-

ticipación pública en la preservación de los valores culturales y científicos relacionados:

- El cielo oscuro como un puente entre los seres humanos;
- El cielo oscuro como una base para promover acciones de aprendizaje multidisciplinario;
- El cielo oscuro como patrimonio de toda la humanidad.

Para que lo anterior tenga éxito, los esfuerzos para concientizar a los niños y los jóvenes deben establecerse en conjunto con las autoridades educativas. Por ello, también se sugiere la creación de programas de capacitación y la producción y distribución de materiales educativos.

Productores de bienes y servicios relacionados con la materia

El cuarto grupo que se debe considerar son los productores de bienes y servicios relacionados con la iluminación. Sería importante informarlos acerca de las adecuaciones que pueden implementar para contribuir social y científicamente a la disminución de la contaminación lumínica. Acciones de esta índole podrían llevarse a cabo por medio de la entrega de incentivos y certificados.

Prioridades para la cooperación internacional

Es importante asegurar la cooperación de la comunidad de astrónomos aficionados: esta comunidad se encuentra presente en todos los países del mundo y tiene un fuerte interés en proteger nuestros cielos oscuros.



Oficina en México

