



# CIELOS DE CHILE: DESDE LA TIERRA AL UNIVERSO





# CIELOS DE CHILE: DESDE LA TIERRA AL UNIVERSO



El contenido de este documento forma parte del Capítulo Cielos para la Observación Astronómica del Segundo Informe del Estado del Medio Ambiente, 2016 ([www.sinia.cl](http://www.sinia.cl)), el cual constituye una obligación legal del Ministerio del Medio Ambiente y es elaborado por el Departamento de Información Ambiental de dicho ministerio.

La publicación de este texto, en su versión español e inglés, responde al interés del Ministerio del Medio Ambiente y de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica por contribuir al conocimiento del valor de los cielos del norte de Chile, de la importancia de protegerlos y del aporte que las personas pueden hacer respetando la Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica.

#### **RESPONSABLE DEL TEXTO**

Marcela Ponce, Departamento de Ruido, Lumínica y Olores del MMA.

#### **COLABORADORES**

Mario Hamuy, Presidente del Consejo de Conicyt

Manuela Zoccali, Directora del Instituto Milenio de Astrofísica MAS

Guillermo Blanc, Departamento de Astronomía, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

Juan Carlos Beamin, Investigador Universidad de Valparaíso, Instituto Milenio de Astrofísica MAS

Ezequiel Treister, Departamento de Astronomía Universidad de Concepción. Presidente de la Sociedad de Astronomía (SOCHIAS)

Igor Valdebenito, Departamento de Ruido, Lumínica y Olores del MMA.

#### **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**

Sebastián Paublo Neira

[www.tursitasdiseno.cl](http://www.tursitasdiseno.cl)

Alejandro Armendariz

Rubí Cohen

#### **FOTO DE PORTADA**

Aura/CTIO, Daniel Munizaga

#### **FOTOGRAFÍAS**

ESO

José Gerstle

GMTO

Nicolás Lagos

Instituto Milenio de Astrofísica

LSST

Daniel Munizaga

Ministerio del Medio Ambiente 2018

Cielos de Chile: Desde la Tierra al Universo

Segunda Edición

ISBN: 978-956-7204-72-4



# CIELOS DE CHILE: DESDE LA TIERRA AL UNIVERSO

---

## CONTENIDO

---

<b>INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>1 • ANTECEDENTES</b>	6
<b>2 • CHILE, CENTRO DE LA OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA MUNDIAL</b>	7
<b>2.1 Grandes descubrimientos realizados desde Chile</b>	9
<b>3 • PRINCIPALES OBSERVATORIOS</b>	18
<b>4 • PROYECTOS EN DESARROLLO: NUEVAS MÁQUINAS DEL TIEMPO</b>	20
<b>5 • CONTAMINACIÓN LUMÍNICA</b>	24
<b>5.1 Contaminación lumínica en la zona norte</b>	24
<b>5.2 Fuentes emisoras</b>	24
<b>6 • PROTECCIÓN DE LOS CIELOS DE LA ZONA NORTE</b>	26
<b>6.1 Mesa “Ventanas al Universo”</b>	26
<b>7 • LA NUEVA NORMA LUMÍNICA</b>	27
<b>7.1 Estado de avance de la implementación de la norma</b>	28
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	29

---

## PRÓLOGO

Durante la próxima década, Chile se transformará en el centro de referencia mundial en materia de observación astronómica. Efectivamente, cuando se complete la construcción de los nuevos telescopios, nuestro país albergará el 70% de la infraestructura mundial para la observación astronómica. Más aún, de los tres mega telescopios que existirán en el mundo, dos estarán ubicados en el norte de Chile. Sin duda, se trata de una tremenda oportunidad y responsabilidad para nuestro país.

Nuestros cielos serán los protagonistas principales de la exploración del universo con la mejor tecnología existente para responder los grandes cuestionamientos que, por siempre, han ocupado el debate, la reflexión y la imaginación de todos los seres humanos.

Como podemos ver, además de tener cielos privilegiados tenemos la responsabilidad de protegerlos, para mantener su calidad astronómica y velar por el fundamental trabajo científico que impacta a todo el mundo.

En el marco de esta tarea de protección, Chile cuenta con una Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica desde 1998, con el fin de evitar una de las principales amenazas a la observación astronómica.

Esta norma, que regula el alumbrado de exteriores de las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo, fue revisada en 2012 a fin de incorporar mayores exigencias. La tarea que tenemos ahora es ayudar a implementarla, para asegurar su cumplimiento y evitar la contaminación lumínica.

En este contexto, hoy ponemos a su disposición esta publicación: un documento que a través de un trabajo colaborativo entre el Ministerio del Medio Ambiente y destacados astrónomos de Chile, detalla algunos importantes hallazgos y respuestas que han sido posibles gracias al trabajo realizado en nuestro país. Un trabajo que, además de contribuir a conocer nuestro universo y nuestros orígenes, ha permitido el desarrollo y avance tecnológico en beneficio de la sociedad.

Nuestro interés es ayudar a valorar y conocer el importante rol que cumplen nuestros cielos en el trabajo científico a nivel mundial, un patrimonio natural único que requiere ser cuidado por todos.

La invitación es a leer esta publicación, a disfrutar de sus imágenes y a formar parte del desafío de proteger nuestros cielos.

Carolina Schmidt Zaldívar  
Ministra del Medio Ambiente



## PRÓLOGO

La ciencia es un motor que impulsa el desarrollo de un país. Los constantes desafíos tecnológicos para poder construir herramientas, que ayuden observar y analizar los fenómenos a nuestro alrededor, se transforman en verdaderos gatilladores de soluciones para mejorar la vida de las personas. Los beneficios abarcan desde la invención del internet a técnicas para imágenes de radiología, desde vegetales preparados para crecer en zonas con escasas de agua a soluciones constructivas que disipan la energía sísmica.

Dentro de las áreas científicas, la astronomía se ha ganado un lugar especial en Chile. La visión del cosmos de nuestros ancestros en el norte y sur del país, generó teorías y buscó respuestas, descifrando el firmamento e interpretando las constelaciones. Con el tiempo, la llegada de observatorios y el nacimiento de una comunidad científica nacional activa en los descubrimientos que revelan poco a poco los secretos del universo, nos han puesto en un lugar privilegiado.

En la próxima década, las preguntas a temas fundamentales sobre nuestros orígenes y destino, serán respondidas desde Chile, con la puesta en marcha de los telescopios más grandes del mundo en el norte de nuestro país. Esta gran oportunidad está abierta, no sólo a la comunidad astronómica, sino que también, a la gran cantidad de disciplinas científicas y profesiones asociadas, como ingenierías, ciencias naturales y computacionales. Pero, sobre todo, queremos que los aprendizajes extraídos de nuestros cielos, lleguen a todos quienes habitan nuestro territorio, especialmente, a las nuevas generaciones, a los chilenos del futuro.

Esto último, nos entrega una gran responsabilidad: proteger nuestro recurso natural. Poco a poco, hemos estado comprendiendo los efectos que tiene la contaminación lumínica, no sólo para la astronomía, sino que también, para la flora y fauna, lo cual, obviamente, nos incluye. La interrupción del ciclo circadiano o “reloj biológico”, tiene efectos negativos en la salud de la población, transformando a la contaminación lumínica en un tema de salud pública. Las consecuencias de un ciclo del sueño interrumpido por un exceso o mala iluminación, están recién siendo estudiadas.

La Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica es un gran paso para comprometer las diferentes aristas involucradas en el cuidado de los cielos: investigación, salud y seguridad. Sin embargo, la rápida evolución de las tecnologías disponibles para iluminar y la reciente irrupción del tema sanitario en esta dinámica, hacen necesario revisar y perfeccionar constantemente dicha regulación, de manera de maximizar sus beneficios para toda la población.

Mi invitación es a tomar conciencia del beneficio que entrega el cuidado de nuestros cielos como laboratorio natural, para asegurar el avance de la ciencia y el progreso de Chile y, con ello, cuidar a todos quienes habitan esta nación privilegiada.

Mario Hamuy  
Presidente del Consejo  
Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones privilegiadas de los cielos de la zona norte de Chile han permitido que estos constituyan una ventana desde la cual los científicos entienden cada vez mejor el lugar y el momento del Universo en el cual vivimos. La importante capacidad astronómica instalada en la zona norte del país, que se incrementará en la próxima década al 70% del total existente a nivel mundial, evidencian la necesidad de valorar y proteger este patrimonio, no solo de Chile, sino de la humanidad.

Esta publicación busca contribuir a la comprensión y al reconocimiento de la importancia que tiene, para todos, el trabajo científico sobre astronomía que se desarrolla en Chile. En un trabajo colaborativo, sin fronteras, se han podido develar zonas impensadas del Universo y dar respuestas a varias interrogantes que han acompañado al ser humano desde sus inicios.

### 1 • ANTECEDENTES

Observar más allá de nuestro cielo y saber que somos espectadores del pasado es parte del conocimiento que se ha alcanzado gracias al trabajo científico y a la observación astronómica.

Conservar los cielos del norte de Chile mediante el control de la contaminación lumínica, el uso de tecnologías y prácticas de iluminación apropiadas, es una responsabilidad de todos los chilenos para con la humanidad. Por ello, en este documento se busca mostrar los principales aportes realizados desde los observatorios astronómicos instalados en Chile, así como los esfuerzos que el país está realizando para asegurar que los cielos del norte sigan siendo una ventana al Universo<sup>1</sup>.

"Nuestras raíces se encuentran arriba, en el Cosmos, cada uno de los átomos que conforman nuestro cuerpo se formaron en el Big Bang hace 13 mil 700 millones de años, particularmente el hidrógeno que constituye el agua, que es la mayor parte de nuestro cuerpo y los otros elementos químicos, el calcio, el hierro, el oxígeno que respiramos, vienen del interior del corazón de las estrellas" (Mario Hamuy, Premio Nacional de Ciencias 2015, entrevista ANIP, 2015).

## EL UNIVERSO DESDE CHILE

Las condiciones privilegiadas de los cielos de la zona norte de Chile, sin duda, constituyen un patrimonio nacional (para muchos mundial) que se debe resguardar y todos podemos contribuir en esta tarea.

<sup>1</sup> Tal como se hace en astronomía y en la ciencia en general, este documento es el fruto de la contribución de varias personas. En este caso, gracias a la coordinación del Instituto Milenio de Astrofísica de Chile y en su construcción participaron los astrónomos Mario Hamuy, Manuela Zoccali, Guillermo Blanc, Juan Carlos Beamin y Ezequiel Treister, quienes desde su experiencia y conocimiento abren un importante espacio para despertar la reflexión y la curiosidad por saber más de nuestro Universo.





## 2 • CHILE, CENTRO DE LA OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA MUNDIAL

Durante los últimos veinte años, los cielos de Chile han brindado un laboratorio natural en el cual miles de astrónomos, tanto chilenos como extranjeros, han estudiado los misterios del Cosmos y encontrado respuestas a algunas de las preguntas más fundamentales que nos hayamos hecho. Preguntas y respuestas que nos acercan a entender el origen y lugar del ser humano en el Universo.

Actualmente, en el norte de Chile, se encuentran instalados siete de los 18 telescopios ópticos más grandes del mundo, con un diámetro mayor a 6 metros. Esta situación se repite también en otras longitudes de onda, por ejemplo en el milimétrico/sub-mm<sup>2</sup> donde el complejo de radiotelescopios ALMA es el más poderoso y moderno del mundo.

Estos instrumentos han jugado un rol fundamental en prácticamente todos los descubrimientos astronómicos realizados en los últimos años. Con la llegada a Chile de la nueva generación de telescopios gigantes, como el telescopio gigante de Magallanes (GMT) en Las Campanas, y el telescopio Europeo Extremadamente Grande (E-ELT) en Cerro Armazones, será posible detectar y estudiar muchos otros planetas en detalle y ver señales de atmósferas en planetas cada vez más pequeños, en un avance por responder una de las preguntas más importantes que se ha hecho la humanidad a lo largo de la historia: ¿existe vida fuera de nuestra Tierra? Es posible que la respuesta a esa pregunta se conozca en los próximos años desde la cima de una montaña del norte de Chile.

<sup>2</sup> Se trata de una banda del espectro electromagnético que permite realizar observaciones que no requieren la emisión de luz visible o infrarroja.



Al interior de la Gran Nube de Magallanes, el Very Large Telescope de ESO en el Observatorio Paranal, en Chile, permitió obtener esta vista de la nebulosa LHA 120-N 44, que rodea el cúmulo de estrellas NGC 1929. ESO/MANU MEJIAS



La vista de campo completo sobre el Observatorio La Silla. | P. HORÁLEK/ESO





## 2.1 Grandes descubrimientos realizados desde Chile

### 2.1.1 Planetas extrasolares, atmósferas y la primera imagen de un exo-planeta

Investigar la presencia de planetas alrededor de otras estrellas presentaba tremendos desafíos técnicos. La cantidad de luz que emite una estrella es alrededor de un millón de veces superior que la luz que refleja un planeta gigante como Júpiter. Debido a la complejidad de poder detectar un planeta de forma directa, a finales del siglo XX los astrónomos comenzaron a pensar en diversas formas indirectas, como es la medición de los cambios periódicos en la velocidad de las estrellas (método de velocidades radiales).

La utilización de este método obtuvo su primer logro en 1995, cuando se anunció el descubrimiento de 51 Pegasi b. Un planeta del tipo gigante gaseoso —tipo Júpiter— orbitando a una estrella similar al Sol pero en una órbita extremadamente cercana a su estrella, mucho más cerca de lo que Mercurio orbita al Sol.

Desde entonces se han descubierto nuevos planetas usando este mismo método. Cientos de ellos, descubiertos desde 2003, a través de un telescopio ubicado en el observatorio La Silla, en la Región de Coquimbo de nuestro país, en particular en el telescopio de 3,6 metros junto a su estable y preciso espectrógrafo de alta resolución HARPS (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher).

Entre dichos descubrimientos destaca el sistema Gliese 581, en particular el planeta Gliese 581 g, cuya masa es solo 2.2 veces la de nuestra Tierra y tiene una órbita en lo que se conoce como la zona habitable, es decir, que la temperatura en dicho planeta permitiría la existencia de agua en estado líquido en la superficie.

Pero hay otras formas de encontrar planetas extra solares. Una de ellas es la observación constante de las estrellas en el cielo, con el fin de detectar cambios en la cantidad de luz que recibimos de la estrella. En 1999 un equipo de astrónomos descubrió el primer planeta usando esta técnica.

En abril de 2005, el observatorio Europeo Austral (ESO por sus siglas en Inglés) anunció que desde el observatorio VLT en cerro Paranal (Antofagasta), se había tomado, por primera vez, una imagen directa de un planeta extrasolar. Estas observaciones realizadas desde el norte de Chile circularon por todo el mundo, anunciando el comienzo de una nueva era en la búsqueda y estudios de planetas extrasolares (**Imagen 1**).

Actualmente, en los observatorios ubicados en el norte de Chile se están llevando a cabo exitosos proyectos, algunos en conjunto con observatorios en distintas partes del mundo, que siguen encontrando sistemas planetarios, como es el caso del proyecto HAT-South que ha identificado una quincena de nuevos planetas extrasolares.

## OBSERVACIONES DESDE CHILE

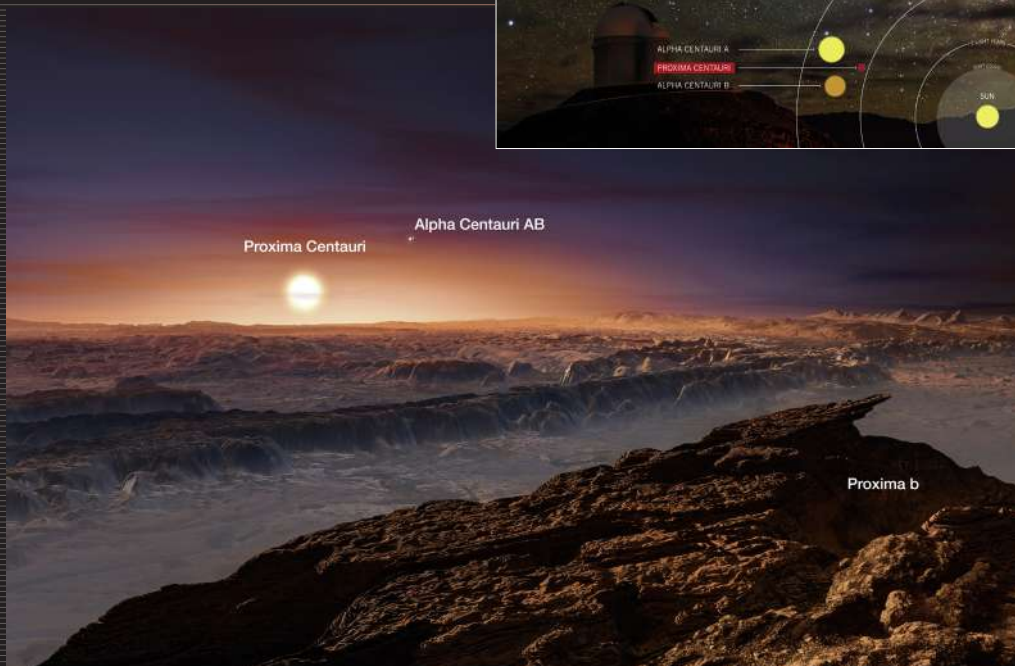
Cientos de los descubrimientos de planetas realizados desde 2003 se han hecho, y se siguen realizando, desde un telescopio ubicado en el observatorio La Silla, en la Región de Coquimbo.

**E**n agosto de 2016 se confirmó la existencia de un exoplaneta que orbita la estrella Próxima Centauri, la más cercana a la Tierra (ubicada a poco más de 4 años luz). Se trata del planeta Próxima Centauri b el cual presenta características similares a la Tierra, de hecho, su temperatura permite pensar la existencia de agua líquida en su superficie y, con ello, se abre la posibilidad de que también exista vida.

Este descubrimiento fue posible gracias a un trabajo colaborativo en el marco del proyecto Pale Red Dot. Las observaciones de este proyecto partieron en enero de 2016 y fueron realizadas con el instrumento HARPS (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher, por sus siglas en inglés), instalado en el Telescopio de 3.6 metros de ESO en el Observatorio La Silla. Además, se contó con el apoyo de los telescopios que constituyen el sistema BOOTES (Burst Optical Observer and Transient Exploring System, u Observador Óptico de Estallidos y Sistema de Exploración en Tránsito), junto con la Red Global de Telescopios del Observatorio Las Cumbres (LCOGT). Los resultados de este proyecto, sumado a observaciones anteriores, permitieron determinar la existencia de este exoplaneta.

Si bien se han descubierto muchos exoplanetas, lo relevante de Próxima Centauri b es su similitud con la Tierra. Tiene características rocosas, posee una masa mayor en 1,3 veces que nuestro planeta, se calcula que su temperatura sería de unos  $4^{\circ}$  y se encuentra en la zona habitable de Próxima Centauri.

Credito: ESO/Pale Red Dot



Credito: ESO/M. Kornmesser



A fines de 2014, el observatorio sub-milimétrico ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array por sus siglas en inglés) instalado en el Llano Chajnantor, en el Desierto de Atacama, tomó una imagen de un sistema planetario en formación. Un disco de gas y polvo alrededor de una estrella joven, en el cual se aprecian franjas vacías, debido a la presencia de proto-planetas que han ido incorporando, por gravedad, todas las partículas y los fragmentos en órbita a la misma distancia de la estrella. De esta forma, ya se tiene una confirmación importante de los modelos de formación del Sistema Solar y de sus equivalentes lejanos (**Imagen 2 y 3**).

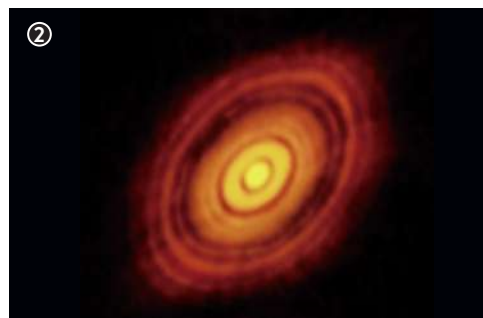
Asimismo, durante 2014 y 2015 en el Observatorio Campanas, en Gémini Sur y en VLT, comenzaron sus observaciones tres instrumentos dedicados y optimizados para poder detectar planetas extrasolares de forma directa y planetas en formación. Estos instrumentos cuentan con características únicas para lograr imágenes de alto contraste e increíble resolución espacial, permitiendo entender mejor cómo se forman los sistemas planetarios y qué fracción de estrellas posee gigantes gaseosos en órbitas muy grandes<sup>3</sup>.

Hemos llegado a una era en la que descubrir más y más planetas es casi rutina en el mundo astronómico, pero hay nuevos desafíos, tales como conocer la clase de atmósfera de los planetas extrasolares. Gracias a instrumentos como FORS2 o HAWK-I en VLT e IMACS en Las Campanas, se han logrado detectar señales de nubes y algunos elementos como el Sodio en las atmósferas de dichos planetas.

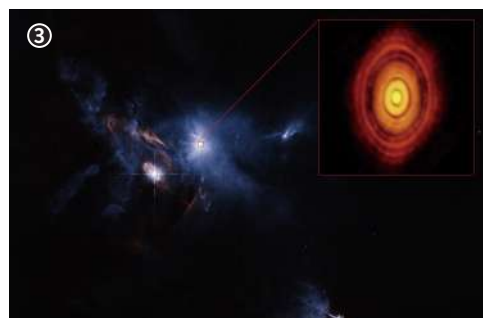
#### OBSERVACIÓN DESDE CHILE



1. Esta imagen compuesta muestra un exoplaneta (el punto rojo abajo a la izquierda), orbitando a la enana marrón 2M1207 (al centro). 2M1207b es la primera imagen directa de un exoplaneta descubierto orbitando una enana marrón. Fue tomada por primera vez por el VLT en 2004. Su identidad y características planetarias fueron confirmadas después de un año de observaciones en 2005. ESO.



2. Esta nítida imagen muestra el disco protoplanetario que rodea a la joven estrella HL Tauri. Esta es la primera imagen de ALMA en la que se supera la nitidez que suelen alcanzar las imágenes del Hubble. ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



3. Composición de imágenes que muestran a la joven estrella HL Tauri y sus alrededores, en base a datos de ALMA (ampliada en el marco superior derecho) y por el telescopio espacial Hubble de NASA/ESA (resto de la imagen). ALMA (ESO/NAOJ/NRAO/NASA/ESA)

<sup>3</sup> En VLT (SPHERE), en las Campanas (Mag AO) y en Gemini Sur (GPI).

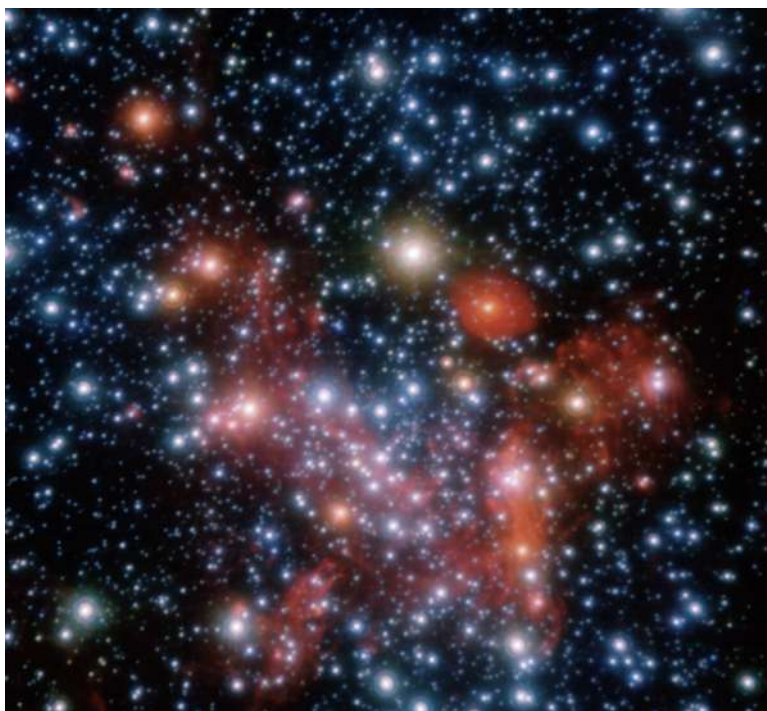
### 2.1.2 Un agujero negro súper masivo en el centro de nuestra galaxia.

En el centro de la Vía Láctea se encuentra un agujero negro supermasivo, se le conoce como SgrA\*, sería el más cercano a la Tierra, y estaría a una distancia aproximada de 26.000 años luz. Desde Chile se estudia este agujero negro.

Con la llegada al país de nuevos detectores infra-rojos con mejor resolución, mayor sensibilidad y novedosas técnicas de observación, a principios de los años 90 se pudo identificar un grupo de estrellas muy cerca de SgrA\*. Desde el telescopio NTT, ubicado en el observatorio La Silla, se tomaron imágenes del centro galáctico, lográndose detalles sin precedentes de esta región. Para mediados de la misma década se tenían los primeros movimientos de algunas estrellas.

En 2002, se publicó un artículo basado en datos de distintos telescopios e instrumentos, casi todos de la ESO en La Silla o Paranal, que incluía detalles de una órbita en particular. Una estrella denominada S2 tenía 2/3 de su órbita recorrida desde que se había comenzado a observar, una órbita de solo 15.2 años, que pasaba a sólo 17 horas luz desde el punto al cual orbitaba (algo así como 3.5 veces la distancia de Neptuno al Sol). El resultado era claro: el recorrido realizado demuestra que orbita un objeto, el cual tiene aproximadamente 3.5 millones de veces la masa del Sol, con ello se confirmó que en el centro de la Vía Láctea hay un agujero negro supermasivo.

Hoy se cuenta con GRAVITY, instrumento que ya comenzó a probarse en VLT (Observatorio Paranal), el que permitirá observar las órbitas de las estrellas más cercanas al agujero negro, con una precisión sin precedentes.



Las partes centrales de nuestra galaxia, la Vía Láctea, observadas en el infrarrojo cercano con el instrumento NACO del Very Large Telescope de ESO. Siguiendo los movimientos de las estrellas más cercanas al centro durante más de 16 años, los astrónomos fueron capaces de determinar la masa del agujero negro súpermasivo que yace en su interior. ESO/S. GILLESSEN ET AL.



### 2.1.3 Supernovas y la expansión acelerada del Universo

Una de las preguntas más relevantes que se planteaba en astronomía a fines del siglo XX, era qué tan rápido o qué tan lento se estaba frenando el Universo. Cuando Edwin Hubble descubrió que el Universo se expandía<sup>4</sup> la conclusión lógica era que antes el Universo era más pequeño. Si seguimos hacia atrás en el tiempo se llegaría a que todo el Universo estaba en un solo punto. La teoría que explicaba el origen del Universo mediante una gran explosión llegó a conocerse como Big-Bang, pero si dicho Universo había nacido a partir de una explosión y aún se estaba expandiendo, la lógica y el sentido común indicaba que dicha expansión debe ser cada vez más lenta, es decir: el Universo debía ir frenando su expansión.

Durante la década de los noventa, una colaboración de científicos chileno-estadounidense denominado proyecto Calán-Tololo, se propuso la búsqueda de supernovas en el hemisferio austral e investigar su utilidad como patrones lumínicos. Tras cuatro años, se observaron unas 50 supernovas, lográndose algunas de las mejores mediciones de la variación de luz (curvas de luz) que se tengan hasta ese momento. Para esos años no se podía vislumbrar lo importante que sería dicha propiedad, para medir distancias y con ello contribuir a la comprensión que hoy tenemos del Universo.

02

#### SUPERNOVAS

Las supernovas son fenómenos muy energéticos producidos por la completa o parcial explosión de una estrella, en la fase final de su vida. Dependiendo de si la estrella está aislada o se encuentra en un sistema binario, se producen dos tipos distintos de Supernovas. Ambas llegan a ser tan luminosas como toda la galaxia donde se producen, pero la luz que emiten tiene características distintas.

La gran luminosidad de las supernovas hace que podamos verlas a distancias enormes, tan distantes como miles de millones de años luz y debido a que la luz viaja a una velocidad finita, cuanto más miramos lejos, tanto más miramos atrás en el tiempo. Con las Supernovas es posible ver el Universo cuando era muy joven.

<sup>4</sup> En 1929, Edwin Hubble revolucionó la cosmología al descubrir que el Universo se está expandiendo.



Cielo | JOSE GERSTLE

Fue en Chile, mediante las supernovas descubiertas por el proyecto Calan-Tololo que se sentaron las bases para estandarizar el brillo de estas y trazar la expansión del Universo “local”. Ahora bien, para ver el cambio en la velocidad de expansión<sup>5</sup>, se necesitaron otros dos proyectos más, que tuvieron como objetivo buscar supernovas a distancias mucho mayores, el “High-Z SN search” (Búsqueda de supernovas a alto redshift) y el “Supernova Cosmology Project”.

Una vez más observatorios ubicados en Chile y Estados Unidos jugaron un papel clave para el desarrollo de dichos proyectos. Este trabajo conjunto, entre astrónomos chilenos y estadounidenses, permitió generar una metodología para medir la distancia de las galaxias lejanas, con una precisión hasta entonces inexistente.

En 1998, ambos proyectos presentaron sus resultados, y la sorpresa no pudo ser mayor: el factor de “desaceleración” del Universo era negativo. Las mediciones de las supernovas distantes contradecían toda lógica, e indicaban con datos científicos que el universo, a diferencia de lo que hasta entonces se pensaba, se expande aceleradamente. Durante los años siguientes, la evidencia a favor de la idea de un Universo en expansión acelerada siguió acumulándose, hasta el punto que en el año 2011 dicho descubrimiento fue galardonado con el Premio Nobel de Física, reconociéndose la importante contribución de las investigaciones realizadas en Chile, a través del proyecto Calán-Tololo (**Imagen 2**).

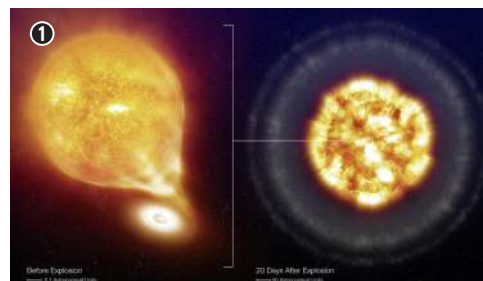
Actualmente desde nuestro país varios proyectos se dedican a la búsqueda de supernovas, ya que es necesario entender mejor como son las explosiones y cuál es la física en dichos objetos.

Hacia 2021 llegará a un cerro vecino a La Serena el observatorio Large Synoptic Survey Telescope (LSST) cuya principal motivación es justamente mapear todo el cielo austral en búsqueda de objetos muy lejanos que varían su brillo, tales como las Supernovas.

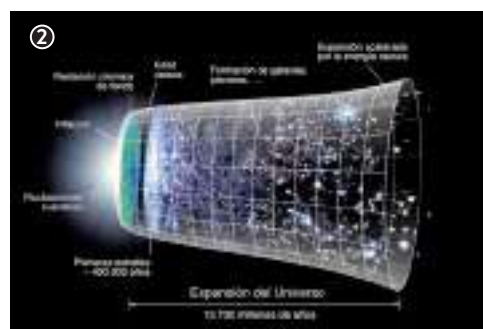
Responder a la pregunta de cómo se expande el Universo, abrió muchas nuevas interrogantes: ¿qué hace que el Universo se expanda de forma acelerada? ¿cuál es la composición del Universo? ¿cuál es el destino final del Universo?

Hoy, casi 20 años después del descubrimiento de la aceleración de la expansión del Universo, los cielos de Chile siguen siendo el laboratorio donde se trata de resolver este misterio. Varios experimentos, entre los que destaca el instrumento DECam (Dark Energy Camera) el telescopio de 4 metros de Cerro Tololo, usan tecnología de punta para dilucidar la naturaleza de la llamada “Energía Oscura”, la cual se cree estaría detrás de la expansión acelerada del Universo.

## SUPERNOVAS Y EXPANSIÓN DEL UNIVERSO



1. Impresión artística de una supernova tipo antes y después de su explosión. ESO



2. Expansión acelerada del Universo. INSTITUTO MILENIO DE ASTROFÍSICA

<sup>5</sup> En ese momento se pensaba que lo más probable es que la expansión del Universo se estuviera desacelerando.

**D**onde hay una aceleración hay una fuerza. El descubrimiento de la aceleración de la expansión cósmica en 1998, en el cual tuvieron una participación crucial los telescopios del Observatorio de Cerro Tololo instalado en Chile, inauguró un enigma que todavía no se ha resuelto: ¿Cuál es la fuerza que impulsa la expansión del universo y hace que sea cada vez más rápida? Para los cosmólogos se trata de la llamada "energía oscura", porque detrás de una fuerza también puede definirse una energía, que es un principio más elemental desde el cual puede calcularse la fuerza, que a su vez causa la aceleración de la masa. En realidad no sabemos lo que es. No sabemos cuál es el principio actuando detrás de todo esto. Más aún, una fuerza como esa ni siquiera está incluida en el "menú" de opciones del llamado "Modelo Estándar" de la física de partículas. Tenía reservado un lugar paradójico en las ecuaciones de Einstein de la Relatividad General (él la llamó "Constante Cosmológica"), pero, una vez más, eso es sólo un elegante disfraz matemático. Hay experimentos en marcha para tratar de entender un poco mejor de qué se trata, cómo evolucionó a lo largo de la historia del universo, pero todavía estamos en etapas muy básicas de entendimiento conceptual. Lo que no deja de ser lógico. Descubrimos la energía oscura hace menos de 20 años.

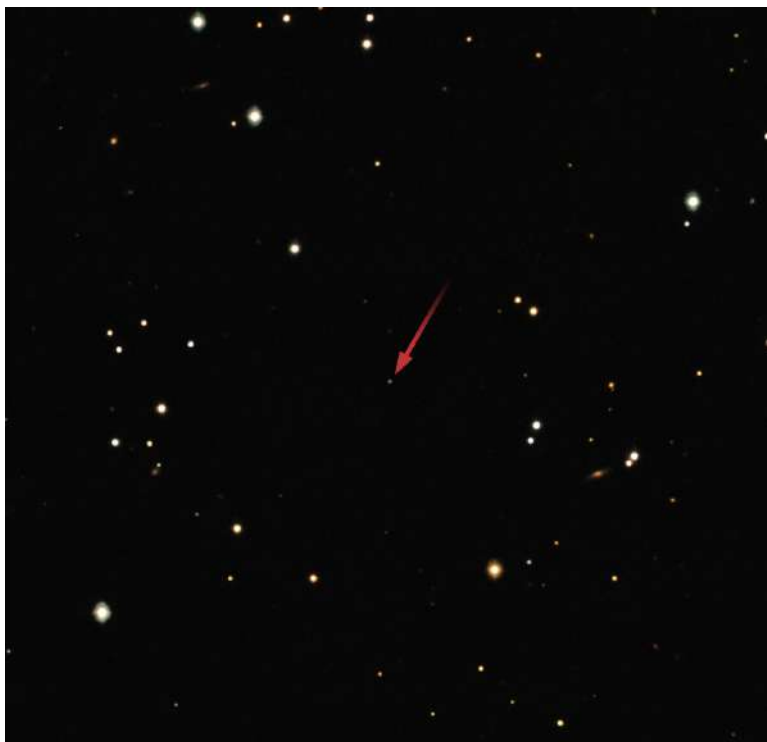


Primeros resultados de un nuevo e inmenso rastreo de materia oscura en los cielos del sur utilizando el VST (VLT Survey Telescope) de ESO, instalado en el Observatorio Paranal, en Chile. El proyecto es conocido como el sondeo KiDS (Kilo-Degree Survey).  
KILO-DEGREE SURVEY COLLABORATION/A. TUDORICA & C. HEYMANS/ESO



### 2.1.4 Brotes de rayos Gamma

También referente al Universo lejano, observaciones realizadas desde el norte de Chile han permitido medir la distancia a la explosión de rayos Gamma más lejana confirmada hasta hoy, para la fuente GRB 090423, emitida solo unos 600 millones de años después del Big Bang. Realizar esta medición requiere combinar los grandes telescopios instalados en el norte de Chile con las excelentes condiciones atmosféricas existentes. En este caso, gracias a las observaciones del Very Large Telescope, se pudo establecer la distancia, siendo el objeto más lejano descubierto hasta ahora.



El 27 de octubre de 2015, el satélite Swift de NASA/ASI/UKSA descubrió su explosión de rayos gamma (GRB, por sus siglas en inglés) número 1000. Este importante acontecimiento fue posteriormente observado y detallado por los telescopios de ESO en los observatorios La Silla y Paranal en el norte de Chile. Esta imagen muestra el resplandor óptico e infrarrojo de este objeto, capturado por el sistema de GROND en el telescopio MPG/ESO de 2,2 metros en el Observatorio La Silla de ESO. Lo que parece una tenue estrella en el centro de la imagen, es en realidad el GRB, el que parece pequeño pero es porque está a mucha distancia. ESO/GROND



Ilustración artística | ESO/A. ROQUETTE



### 2.1.5 Galaxias satélites de la Vía Láctea

Muchos de los instrumentos que forman parte de los observatorios astronómicos instalados en el norte de Chile, además de permitir estudiar el Universo en las escalas más grandes que conocemos, están revolucionando la forma en la que vemos nuestro vecindario local, nuestra galaxia (la Vía Láctea) y los sistemas que la rodean.

Desde Chile se han detectado y estudiado algunas de las galaxias más pequeñas y antiguas del Universo, las que vemos orbitando a la Vía Láctea como pequeños satélites. Estos objetos conservan información fundamental para poder entender cómo se formaron las primeras estrellas en el Universo temprano y cómo la materia se organiza y distribuye por el espacio a lo largo de la historia del Cosmos. Estos estudios han permitido, por ejemplo, descubrir en los cielos de Chile la estrella más antigua jamás observada en nuestra Galaxia y mapear la posición de millones de estrellas en el cielo para así reconstruir la forma que tiene la Vía Láctea con un nivel de detalle nunca antes visto.



En esta fotografía dos galaxias espirales, similares en apariencia a la Vía Láctea, están participando en un ballet cósmico que en unos pocos billones de años terminará en una completa fusión galáctica – las dos galaxias se convertirán en una sola más grande. Esta fotografía fue captada con el Faint Object Spectrograph and Camera de ESO (EFOSC2) a través de tres filtros de banda ancha (B, V, R). EFOSC2 tiene un campo visual de 4,1 x 4,1 arcminutos y está adosado al telescopio de 3,6 metros en el Observatorio La Silla de ESO en Chile. ESO

### 3 • PRINCIPALES OBSERVATORIOS

#### 1 ALMA (Observatorio Atacama Large Millimeter/ submillimeter Array)

Se trata de un radiotelescopio formado por 66 antenas de 12 y 7 metros de diámetro. Ubicado a 5.000 metros sobre el nivel del mar, en el llano de Chajnantor (que en la lengua Kunza significa “lugar de despegue”), en pleno Desierto de Atacama. A diferencia de los telescopios ópticos, los radiotelescopios captan las ondas de radio provenientes del Universo, que son reflejadas en la superficie de su disco. Gracias a su forma parabólica concentra en el punto focal. En este punto focal se encuentra un receptor que recibe las ondas de radio, las amplifica y digitaliza, permitiendo que su información —que incluye la intensidad de las ondas captadas y la posición exacta del punto en el Universo del cual proviene— pueda ser convertida en imágenes (ALMA, s/f).

“ALMA es un interferómetro<sup>6</sup>, que puede funcionar como un único telescopio gigante equivalente a una antena de 16 kilómetros de diámetro” (ALMA, s/f, pág. 12).

#### 2 OBSERVATORIO PARANAL

Observatorio de la Organización Europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Austral (ESO). **Ubicación:** se encuentra sobre el Cerro Paranal, a 2.635,43 msnm, en la Cordillera de la Costa, a 130 km al sur de Antofagasta y a 12 km de la costa. **Telescopios:** Cuatro telescopios de 8,2 m ó Very Large Telescope (VLT). Cuatro telescopios auxiliares para interferometría de 1,8 m. Dos telescopios de campo amplio, VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) de 4m y VST (VLT Survey Telescope) de 2.6 m. **Sitio Web:** <http://www.eso.org/sci/facilities/lpo/>

#### 3 OBSERVATORIO CERRO ARMAZONES

Este Observatorio, propiedad de la Universidad Católica del Norte, ya no se encuentra en operación. En este lugar se ubicará el European Extremely Large Telescope (E-ELT), de ESO, el cual contará con un espejo primario de 39 metros y será el telescopio óptico e infrarrojo cercano más grande del mundo.

#### 4 OBSERVATORIO LAS CAMPANAS

Observatorio operado por Institución Carnegie de Washington. **Ubicación:** Cerro Manqui, cercano al cerro Las Campanas, 160 km al norte de La Serena, entre los

<sup>6</sup> Un interferómetro es un instrumento que utiliza las interferencias de ondas, para medir las longitudes de ondas.



Vía Láctea desde Observatorio Paranal | ESO/H.H. HEYER





límites de las regiones de Atacama y Coquimbo, a 2380 metros sobre el nivel del mar. **Telescopios:** Magallanes I y II, de 6,5 m cada uno; Du Pont de 2,5 m; Swope, de 1 m. **Sitio Web:** [www.lco.cl](http://www.lco.cl)

##### **5 OBSERVATORIO LA SILLA**

Es el primer observatorio de la Organización Europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Austral (ESO). Las observaciones realizadas en La Silla han sido la base de muchos descubrimientos, dando lugar a una gran cantidad de publicaciones anuales. **Ubicación:** se encuentra a 160 km al norte de La Serena, entre los límites de las regiones de Atacama y Coquimbo, a 2400 metros sobre el nivel del mar. **Telescopios:** Tres telescopios de 3,6 m, 3,5 m y 2,2 m operados por el ESO. Dos telescopios de 1,2 m y 1,5 m operados por Suiza y Dinamarca. Y el telescopio Schmidt de 1 metro. **Sitio Web:** <http://www.eso.org/sci/facilities/lpo/>

##### **6 OBSERVATORIO INTERAMERICANO DE CERRO TOLOLO (CTIO)**

Inaugurado en 1967, es el primer observatorio internacional que se construyó en el país. Este observatorio forma parte del National Optical Astronomy Observatory (NOAO), operado por AURA, bajo un acuerdo de cooperación con la National Science Foundation (NSF). **Ubicación:** Cerro Tololo, a 80 km al este de la ciudad de La Serena, Región de Coquimbo, a 2200 metros sobre el nivel del mar. **Telescopios:** 5 telescopios operativos. Blanco de 4 metros, otro de 1,5 metros, uno de 0,9 m, el YALO de 1 m, además del Curtis/Schmidt.

**Página Web:** [www.ctio.noao.edu/](http://www.ctio.noao.edu/)

##### **7 SOUTHERN ASTROPHISICAL RESEARCH (SOAR)**

Se trata de un telescopio de 4,1 m construido por el Ministerio de Ciencias de Brasil, National Optical Astronomy Observatory (NOAO) University of North Carolina at Chapel Hill (UNC), Michigan State University (MSU). **Ubicación:** Cerro Pachón, a 80 km de la ciudad de La Serena, Región de Coquimbo, a 2.700 metros sobre el nivel del mar. **Telescopios:** óptico de 4,1 metros de diámetro y de tipo azimutal. **Sitio Web:** [www.soartelescope.org/](http://www.soartelescope.org/)

##### **8 OBSERVATORIO GEMINI SUR**

Este observatorio es operado por un consorcio de países (Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Australia, Brasil, Argentina y Chile AURA (Association of Universities for Research in Astronomy)). Este consorcio también opera el telescopio Gemini Norte, ubicado en Hawái. **Ubicación:** 80 km de la ciudad de La Serena en el Cerro Pachón, Región de Coquimbo a 2.700 metros sobre el nivel del mar. **Telescopio:** óptico/infrarrojo de 8,1 metros. **Sitio Web:** [www.gemini.edu/](http://www.gemini.edu/)



#### 4 • PROYECTOS EN DESARROLLO: LAS NUEVAS MÁQUINAS DEL TIEMPO

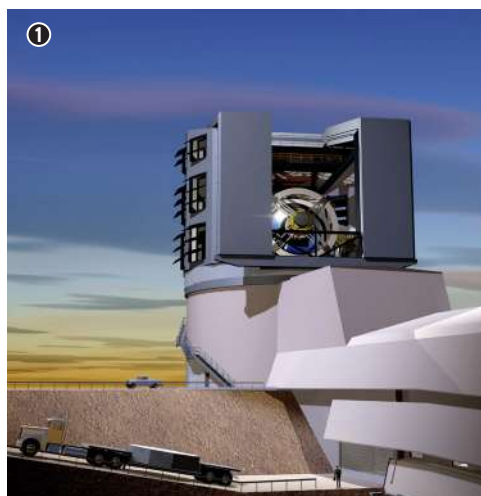
Chile concentra alrededor del 40% de la capacidad de observación astronómica a nivel mundial. Como se ha señalado, este porcentaje aumentará en los próximos años, cuando comiencen a operar los nuevos proyectos, que involucran la instalación de telescopios, los cuales vendrán a revolucionar la observación astronómica y a ubicar a Chile en el centro de este ámbito científico, albergando aproximadamente un 70% de la capacidad de observación astronómica mundial.

Se trata de instrumentos de avanzada tecnología, que permitirán mirar al pasado, como verdaderas **máquinas del tiempo**.

❶ **Large Synoptic Survey Telescope (LSST):** el 14 de abril de 2015, en la Región de Coquimbo, se dio inicio a la construcción del Gran Telescopio de Exploración Sinóptica, (LSST, por sus siglas en inglés), el que entregará valiosa información para entender la Vía Láctea, la población de asteroides y también contribuir a la comprensión de la energía oscura, que está acelerando la expansión del Universo.

El LSST, se ubicará en el Cerro Pachón y contará con un telescopio de 8,4 metros y una cámara de 1,6 metros y de tres billones de píxeles, mediante los cuales se podrán capturar imágenes de todo el cielo visible, durante 10 años. Se trata de un telescopio que hará posible construir la más completa imagen del Universo, evidenciando cambios o movimientos, así como también identificar asteroides potencialmente peligrosos. Se espera que el telescopio comience a entregar imágenes a partir de 2019 y se encuentre totalmente operativo en 2022.

❷ **Giant Magellan Telescope (GMT):** en noviembre de 2015, se inició el proceso de construcción del Telescopio Gigante de Magallanes, el cual estará emplazado en el Cerro Las Campanas en la Región de Atacama, a 2.400 msnm. El inicio de operaciones está programado para 2021. En dicho momento será el telescopio más grande a nivel mundial y permitirá observar el Universo con una nitidez diez veces superior al Telescopio Espacial Hubble. Será como viajar en el tiempo, permitiendo mirar un poco después de la explosión del Big Bang, cuando se formaron las primeras estrellas y galaxias. Esta alta capacidad y posibilidad de explorar el Universo con una claridad nunca antes vista, permitirá investigar los orígenes de los elementos que constituyen nuestro planeta y al ser humano. Asimismo, buscará rastros de procesos biológicos en planetas fuera de nuestra galaxia.



1. Large Synoptic Survey Telescope (LSST) (obtenido el 4 de marzo de 2016 en <http://www.lsst.org/about>)



2. Giant Magellan Telescope (GMT) (obtenido el 4 de marzo de 2016 en <http://www.gmto.org/gallery/>) | GMTO



**3 European Extremely Large Telescope (E-ELT):** Se ubicará en el Cerro Armazones, en la Región de Antofagasta, a unos 20 kilómetros del Cerro Paranal, donde se ubica el Very Large Telescope, el cual también es operado por la Organización Europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Austral (ESO). Se trata de un telescopio de 39 metros de diámetro, el más grande a nivel mundial. Se espera que cuando comience a operar, en 2024, permita revolucionar la observación astronómica y el conocimiento que actualmente se tiene en esta materia. “El E-ELT recogerá 100.000.000 de veces más luz que el ojo humano, 8.000.000 de veces más que el telescopio de Galileo” (ESO, s.f.). (www.eso.org)

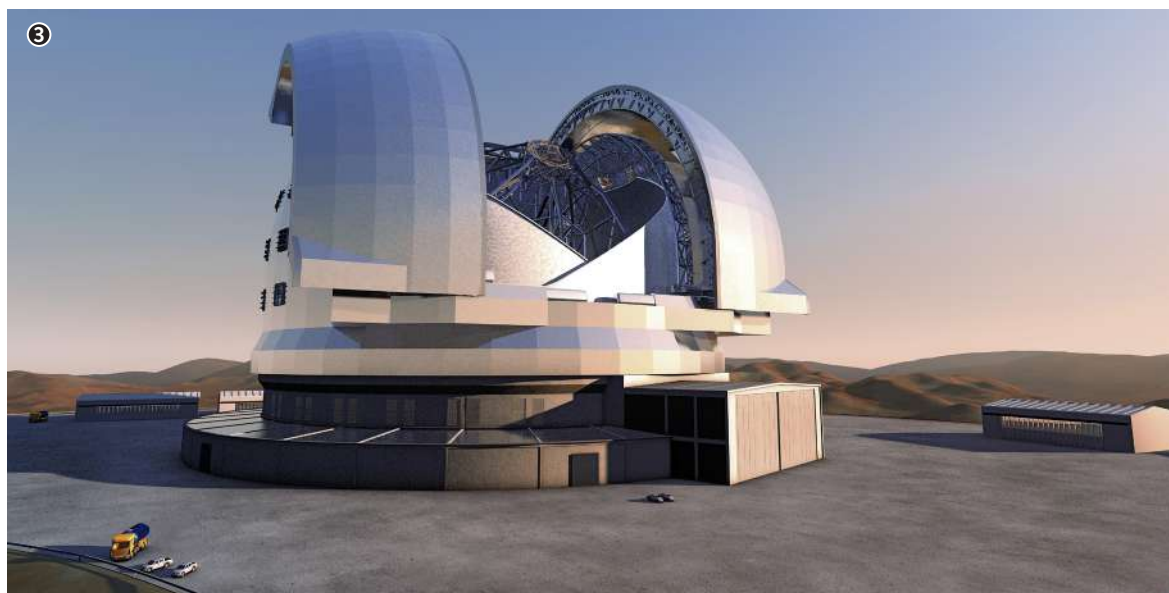
El E-ELT permitirá el avance de la astronomía en temas como la búsqueda de vida en el Universo, el conocimiento de las primeras estrellas y galaxias, así como también respecto a la materia oscura y la energía oscura. Uno de los desafíos más importantes de este telescopio corresponde al estudio del proceso de expansión acelerada del Universo.

“El E-ELT buscará planetas extrasolares, es decir, planetas que orbitan en torno a otras estrellas. Esto incluirá, no solo el descubrimiento de planetas de masas similares a la Tierra a través de mediciones indirectas (como el movimiento de estrellas perturbadas por planetas que las orbitan) sino también la obtención directa de imágenes de planetas más grandes y, posiblemente, incluso la caracterización de sus atmósferas” (ESO, s.f.). (www.eso.org)

#### OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA

En los próximos años Chile contará con instrumentos de avanzada tecnología, que **permitirán mirar al pasado, como verdaderas máquinas del tiempo.**

**La instalación de estos nuevos telescopios, que vendrán a revolucionar la observación astronómica,** ubicarán a Chile en el centro de este ámbito científico, albergando aproximadamente un 70% de la capacidad de observación astronómica mundial.



3. Impresión artística del European Extremely Large Telescope (E-ELT). El E-ELT será el telescopio óptico/infrarrojo de mayor tamaño del mundo — el ojo más grande en el cielo. | ESO

## ASTROTURISMO EN CHILE

**J**unto con el interés científico que despiertan los cielos del norte de Chile, también se ha generado el llamado astroturismo, que comprende a las personas que tienen interés en acercarse a la observación astronómica y a los lugares y observatorios privilegiados para realizarla.

En este contexto, Astroturismo Chile, iniciativa conformada por actores públicos y privados que busca promover y potenciar el turismo astronómico en Chile, desarrolló un estudio sobre demanda en astroturismo del país<sup>7</sup>.

Asimismo, elaboraron la llamada Hoja de Ruta para el Astroturismo en Chile 2016- 2025, mediante la cual se busca mejorar la calidad, el atractivo de la oferta astroturística, de manera sustentable, que permita situar a Chile como el principal destino en este tipo de turismo.

De acuerdo con el diagnóstico realizado por Astroturismo Chile, las regiones que cuentan con la mayor concentración de oferta astroturística son: Coquimbo, Antofagasta y Metropolitana.

En cuanto a las características de los visitantes, de acuerdo a la encuesta, más del 70% corresponde a turistas nacionales.

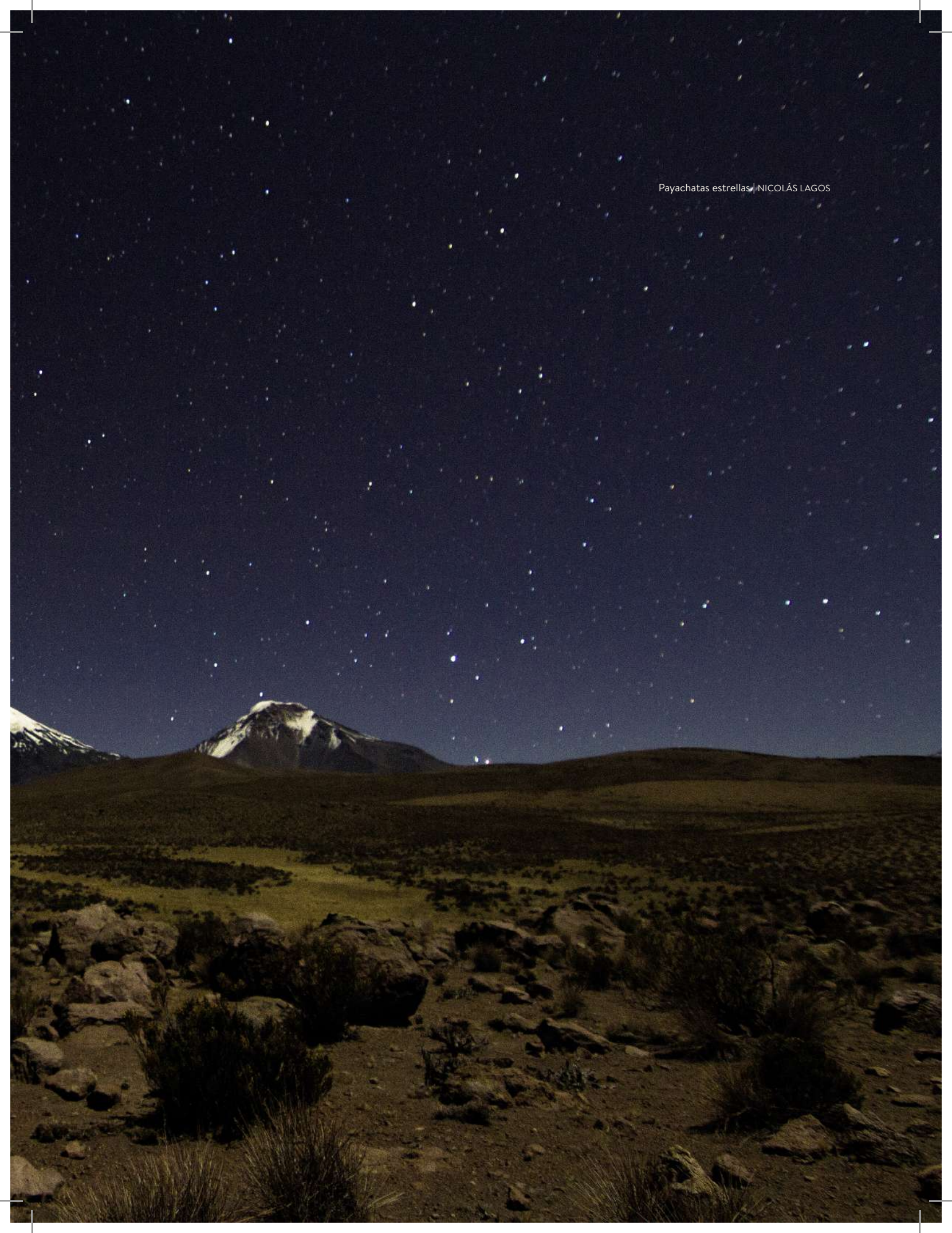
TABLA 01

<b>VISITAS EN 2014, POR TIPO DE OFERENTE ASTROTURÍSTICO</b> Se excluyen visitas escolares			
<b>REGIÓN</b>	<b>CASOS</b>	<b>CANTIDAD DE VISITANTES</b>	<b>% DE VISITAS POR REGIÓN</b>
Antofagasta	10	33.424	13%
Atacama	2	6.500	2%
Coquimbo	25	114.298	44%
Valparaíso	2	5.200	2%
Biobío	5	6.685	3%
L.B.O'Higgins	2	9.100	3%
Metropolitana	10	87.410	33%
<b>TOTAL</b>	<b>56</b>	<b>262.617</b>	<b>100%</b>

Fuente: Astroturismo Chile 2015.

<sup>7</sup> En el marco de los proyectos financiados por la línea de Bienes Públicos para la Competitividad de la Corporación de Fomento de la Producción, CORFO.

Payachatas estrellas | NICOLÁS LAGOS





## 5 • CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Uno de los principales factores que amenazan la calidad para la observación astronómica de los cielos del norte del país es la contaminación lumínica. Se trata de un problema que afecta principalmente a las ciudades y se produce cuando se aumenta el nivel de luz en el ambiente nocturno, producto de iluminación artificial. Esto se genera cuando la luz no es eficientemente dirigida para iluminar el suelo o las construcciones, sino que se dispersa hacia el cielo, afectando la posibilidad de ver las estrellas y el cielo nocturno. Este tipo de contaminación tiene impactos negativos, tanto para la observación astronómica, como para la salud de las personas y la biodiversidad.

La contaminación lumínica tiene como manifestación más evidente el aumento del brillo del cielo nocturno, por reflexión y difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire urbano, de forma que se disminuye la visibilidad de las estrellas y demás objetos celestes (MMA, 2012 ).

### 5.1 Contaminación lumínica en la zona norte

Las condiciones privilegiadas para la observación astronómica de la zona norte de Chile se ven cada vez más en riesgo, debido al crecimiento urbano de las ciudades cercanas a los observatorios. Ante la presencia de líneas de emisión de fuentes de luz artificial, los observatorios requieren más tiempo de exposición para realizar espectroscopia<sup>8</sup> de objetos tenues.

Si bien desde fines de los años 90 el país ha buscado proteger la calidad de los cielos mediante regulaciones a las emisiones, así como mediante directrices sobre instalaciones de luminarias de exterior, ha sido necesario aumentar dichas exigencias normativas, a fin de asegurar el cuidado de este patrimonio.

### 5.2 Fuentes emisoras

La principal fuente emisora de contaminación lumínica es el alumbrado público y luego el alumbrado publicitario. Asimismo, actividades como la construcción

<sup>8</sup> La espectroscopia es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante. En astronomía, el objeto de estudio es el espectro de la radiación electromagnética, incluida la luz visible, que radia desde estrellas y otros objetos celestes.

### OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS



Panorámica de Observatorio Cerro Tololo |AURA





o la minería, pueden constituir fuentes de contaminación lumínica.

Junto con el alumbrado público, el tipo de fuente de luz utilizado también es una de las condiciones que afecta la calidad de los cielos nocturnos. De la misma forma, la ubicación o la dirección hacia la cual se ubica la iluminación es otra de las causas de la contaminación lumínica.

Las peores fuentes de luz exterior para la astronomía son las incandescentes (como la ampollita común de uso casero), ya que emiten un espectro continuo de muchas bandas de color que bloquean la información espectral proveniente de objetos cósmicos tenues. Las fuentes que emiten luz en bandas características de color son menos dañinas para la observación, pues no contaminan el espectro completo. Sin embargo, algunas de estas pueden ser igualmente dañinas.

**TABLA 02**

<b>DISTANCIA DE LOS OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS con las principales ciudades del norte del País, en km</b>							
<b>NOMBRE</b>	<b>Antofagasta</b> 404 MIL HAB.	<b>Calama</b> 178 MIL HAB.	<b>Copiapó</b> 163 MIL. HAB.	<b>Vallenar</b> 48 MIL HAB.	<b>Coquimbo</b> <b>La Serena</b> 486 MIL HAB.	<b>Ovalle</b> 172 MIL HAB.	<b>Vicuña</b> 24 MIL HAB.
<b>1 TAO</b>	-	135	-	-	-	-	-
<b>2 Paranal</b>	108	-	-	-	-	-	-
<b>3 E-ELT</b>	105	-	-	-	-	-	-
<b>4 Las Campanas</b>	-	-	185	49	115	181	112
<b>5 La Silla</b>	-	-	213	75	93	155	85
<b>6 Tololo</b>	-	-	-	177	55	60	17
<b>7 SOAR</b>	-	-	-	184	62	60	22
<b>8 Gemini Sur</b>	-	-	-	184	62	60	23
<b>9 LSST</b>	-	-	-	185	61	58	23

Fuente: Chile, MMA, 2012.



## 6 • PROTECCIÓN DE LOS CIELOS

La importancia que tiene la observación astronómica para el avance científico ha relevado a un primer plano los lugares que aún cuentan con las condiciones para desarrollar este trabajo.

En este contexto, en la conferencia de contaminación lumínica del año 2007 realizada en La Palma, España, surgió la idea por parte de la Unión Astronómica Internacional (IAU, por sus siglas en inglés), de postular los sitios astronómicos como Patrimonio de la Humanidad. Ello, ante la imposibilidad de inscribir los “cielos” para la observación astronómica como parte de dicho patrimonio.

Posteriormente, el Comité del Patrimonio Mundial de la UNESCO, en su 34ª reunión celebrada Brasilia (Brasil 2010), aprobó el estudio sobre los Sitios Patrimonio de la Astronomía y Arqueoastronomía, elaborado en el marco del Año Internacional de la Astronomía 2009. Dicho estudio identifica ciertos lugares del mundo como patrimonio astronómico, entre los cuales se encuentra el Norte de Chile, Canarias, Hawaii y Namibia, denominados como “Ventanas del Universo”.

De acuerdo con el estudio, “la conservación efectiva de las áreas oscuras requiere el establecimiento de criterios apropiados para su gestión, especialmente en lo que respecta a la mitigación o eliminación de la contaminación lumínica”. (Clive Ruggles and Michel Cotte, 2010).

En este contexto, la Unión Astronómica Internacional creó la Comisión de Patrimonio Mundial, mediante la cual se busca promover la protección de algunos de los más importantes lugares de observación astronómica. En agosto de 2015, durante la XXIX Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional, se convocó a los países participantes a coordinar los esfuerzos para llevar adelante esta iniciativa. En dicha ocasión Chile anunció la creación de una mesa de trabajo “Ventanas al Universo”, como un punto focal de esta iniciativa internacional. Asimismo, durante la asamblea Chile fue elegido como Coordinador de la Red Mundial de Observatorios Astronómicos de Valor Patrimonial.

### 6.1 Mesa “Ventanas al Universo”

La mesa de trabajo Ventanas al Universo de Chile es coordinada por la Dirección de Energía, Ciencia y Tecnología e Innovación del Ministerio de Relaciones Exteriores y la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos (DIBAM). Asimismo participan directores de los observatorios, el Ministerio del Medio Ambiente, la Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile, OPCC, el Consejo de Monumentos Nacionales y la Comisión de la Unesco del Ministerio de Educación.

05

### SITIOS ASTRONÓMICOS COMO PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

**H**ay muy pocos lugares del planeta donde nos encontremos con una combinación única de circunstancias ambientales y naturales: espacios bien conservados con muy poca alteración de la calidad natural del cielo, realmente oscuros, con una gran porcentaje de días con cielos despejados y con una nitidez y transparencia máximas.

Estos sitios excepcionales, incluidos sus componentes naturales, pueden ser considerados como “paisajes de la ciencia y el conocimiento”. Como era de esperar, los mayores observatorios del mundo contemporáneo, verdaderos monumentos científicos, se encuentran en estos lugares y son, en mayor o menor medida, las fuentes históricas de la cultura astronómica nativa. Es el caso de Hawaii, Canarias y el norte de Chile, un conjunto de sitios que, dentro de este contexto, tienen un significado universal excepcional como grupo.

- ❶ Arizona (Mexico - Baja California)
- ❷ Hawaii (Mauna Kea - Haleakala)
- ❸ Islas Canarias (La Palma - Teide)
- ❹ Norte de Chile
- ❺ Sudáfrica



Obtenido el 24 de marzo de 2016 en [http://www.starlight2007.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=171&Itemid=159&lang=es](http://www.starlight2007.net/index.php?option=com_content&view=article&id=171&Itemid=159&lang=es)



Esta mesa de trabajo tiene como objetivo coordinar la estrategia y las acciones necesarias para avanzar en la declaratoria de Monumento Nacional para los sitios astronómicos en Chile, en el marco de lograr la nominación de los mismos como Patrimonio de la Humanidad ante la UNESCO.

## 7 • LA NUEVA NORMA LUMÍNICA

En 1998 Chile promulgó la Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica (Decreto Supremo 686/98 del Ministerio de Economía), con el fin de prevenir la contaminación lumínica y proteger los cielos de la zona norte del país. Si bien la norma implicó un aporte en la reducción de la contaminación lumínica del orden del 30%, además de generar un ahorro energético en las zonas reguladas, paulatinamente se comenzó a evidenciar un cierto estancamiento en el nivel de cumplimiento de la norma, respecto al recambio de luminarias de alumbrado público.

En este contexto, y tras varios años desde la entrada en vigencia de dicha norma, comenzó la revisión de esta regulación. Como resultado de ella en 2013 se publica el Decreto Supremo N°43/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, el cual recoge la experiencia y los estándares internacionales, utilizados en lugares como Italia, España y Estados Unidos, en los cuales se desarrolla observación e investigación astronómica.

La nueva norma establece mayores exigencias para el alumbrado de exteriores, para luminarias de diferente tecnología (incluida la tecnología LED) como para avisos o letreros. En particular, la regulación restringe la emisión de flujo radiante hacia el hemisferio superior, además de restringir ciertas emisiones espectrales de las lámparas, salvo aplicaciones puntuales que expresamente se indican.

### Fuentes emisoras reguladas

De acuerdo con la norma, las fuentes emisoras son las lámparas, cualquiera sea su tecnología, que se instalen en luminarias, en proyectores o por sí solas, que se utilicen en lo que se denomina alumbrado de exteriores. También se incluyen los avisos, letreros luminosos, proyectores u otros dispositivos de iluminación posibles de ser movidos mientras se operan y otros similares.

No se consideran como alumbrado de exteriores, por ejemplo, la iluminación producida por la combustión de gas natural u otros combustibles, la de los vehículos y las luces de emergencia necesarias para la seguridad pública.

### ¿Cuáles son las principales exigencias del D.S. N°43/12 MMA?

- ▶ Restricción completa de flujo radiante emitido hacia el hemisferio superior.
- ▶ Restricción de espectro.
- ▶ Incorporación límite por emisión reflejada en calzada (sobre iluminación)
- ▶ Incorporación de los avisos y letreros luminosos.
- ▶ Eliminación restricciones horarias del D.S. N°686/98 MINECON.
- ▶ Exigencias para lámparas de filamento incandescente, de descarga de alta intensidad y de estado sólido (LED).

## CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La norma implicó un aporte en la reducción de la contaminación lumínica

▼ 30%

Además de generar un ahorro energético en las zonas reguladas, permitirán mirar al pasado, como verdaderas máquinas del tiempo.

## Fiscalización

La fiscalización pasa a ser una atribución de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Asimismo, el control del cumplimiento de estas exigencias, se realiza mediante una certificación de los límites de emisión a cargo de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, previo a la instalación de las lámparas. Una vez instaladas, la SMA verificará la luminancia de los letreros luminosos ya instalados y la correcta instalación de todas las fuentes emisoras, conforme con lo establecido en la norma.

### ¿Cuáles son los plazos de cumplimiento de la nueva norma?

La nueva norma de emisión para la regulación de la contaminación lumínica entró en vigencia el 3 de mayo de 2014. Las fuentes emisoras existentes con anterioridad a la entrada en vigencia, deben cumplir con esta al momento de ser sustituida la fuente o en un plazo máximo de 5 años a contar de la entrada en vigencia. Sin perjuicio de lo anterior, mientras, deben cumplir con las exigencias del D.S. N°686/98 MINECON. Por su parte, las fuentes emisoras nuevas deberán cumplir en el momento que sean instaladas.

### 7.1 Estado de avance de la implementación de la norma.

El DS N°43/12 del Ministerio del Medio Ambiente entró en plena operación mediante la implementación del sistema de certificación de lámparas, a partir de la oficialización de los protocolos de certificación de luminarias y la autorización del primer laboratorio de certificación por parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). Dichos protocolos son los procedimientos estandarizados de medición o ensayo que deben realizarse a las lámparas de modo de certificar el cumplimiento de algunas de las principales exigencias de la norma, protocolos que debieron ser elaborados y validados por una mesa técnica coordinada por la SMA e integrada por la SEC, el Ministerio de Energía y el MMA.

Los protocolos de certificación (tanto para tecnología de descarga, incandescente y LED) fueron aprobados mediante la Res Ex N°731, del 26 de agosto de 2015, por la Superintendencia del Medio Ambiente, SMA y publicados en el Diario Oficial el día 31 de Agosto de 2015.

Si bien incluye nuevos estándares y exigencias para asegurar la protección de los cielos del norte de Chile, el éxito de esta normativa depende, en gran medida, del compromiso y la participación de todos quienes viven o visitan la zona norte del país.

#### ① Aluminado de Exteriores:

El alumbrado ambiental, alumbrado deportivo y recreacional, alumbrado funcional, alumbrado industrial, alumbrado ornamental y decorativo.

**Lámpara:** Dispositivo construido con el fin de producir flujo luminoso.

**Luminaria:** El aparato que sirve para distribuir, filtrar o transformar la luz de la lámpara, o lámparas, y que incluye todas las piezas necesarias para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito de alimentación.

**Letreros luminosos:** Aquellos correspondientes a carteles, anuncios, mobiliario urbano, cabinas telefónicas y similares, iluminados desde su interior o mediante emisión directa, con imágenes estáticas o dinámicas, tales como pantallas de comunicación visual.

**Luminancia:** Es la razón existente entre la intensidad lumínica en dirección a un observador y la proyección en esa misma dirección del área emisora.

**Lumen:** Unidad del Sistema Internacional del Flujo Luminoso emitido en la unidad de ángulo sólido (ester-radián) por una fuente puntual uniforme que tiene una intensidad luminosa de una candela.

**Radiancia Espectral:** Intensidad de energía radiada por unidad de superficie, longitud de onda y ángulo sólido.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA). (s/f). *Manual de Radioastronomía Alma en la escuela*. Disponible en [https://www.eso.org/public/archives/education/pdf/edu\\_0071.pdf](https://www.eso.org/public/archives/education/pdf/edu_0071.pdf)

Asociación Nacional de Investigadores en Postgrado. (ANIP). (2015). *Entrevista a Mario Hamuy*. Obtenida el 18 de diciembre de 2015 en <http://www.anip.cl/?p=12156>

Astroturismo Chile. (2015). *Estudio sobre demanda en astroturismo en Chile*. Disponible en <http://astroturismochile.cl/wp-content/uploads/2015/12/Estudio-de-Demanda-Final.pdf> (Obtenido el 18 de enero de 2016)

Astroturismo Chile. (2016). *Hoja de Ruta para el Astroturismo en Chile 2016-2025*. Disponible en <http://astroturismochile.cl/wp-content/uploads/2016/04/HDR-Resumen-baja.pdf> (Obtenido el 26 de abril de 2016)

Massey, R. (2015). *Ver más allá de las estrellas: la importancia de la astronomía*. Disponible en <http://mexico.cnn.com/tecnologia/2015/03/23/ver-mas-alla-de-las-estrellas-la-importancia-de-la-astronomia> (Obtenido el 27 de noviembre de 2015)

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2012). *Análisis general del impacto económico y social de la Modificación del DS 686/98*. Santiago: MMA.

Observatorio Europeo Austral. (2016). *Comunicado Científico. Se descubre un planeta en la zona habitable que rodea a la estrella más cercana*. Disponible en <http://www.eso.org/public/spain/news/eso1629/> (Obtenido el 15 de octubre de 2016)

Observatorio Europeo Austral (ESO). (s.f). *An Expanded View of the Universe Science with the European Extremely Large Telescope*. Disponible en [https://www.eso.org/public/archives/brochures/pdfsm/brochure\\_0025.pdf](https://www.eso.org/public/archives/brochures/pdfsm/brochure_0025.pdf)

Observatorio Europeo Austral (ESO). (s.f). *E-ELT The European Extremely Large Telescope The World's Biggest Eye on the Sky*. Disponible en [https://www.eso.org/public/archives/brochures/pdfsm/brochure\\_0022.pdf](https://www.eso.org/public/archives/brochures/pdfsm/brochure_0022.pdf)

Observatorio Europeo Austral (ESO). (s.f). *The European Extremely Large Telescope - The World's Biggest Eye on the Sky*. Disponible en [https://www.eso.org/public/archives/handouts/pdf/handout\\_0013.pdf](https://www.eso.org/public/archives/handouts/pdf/handout_0013.pdf)

Ruggles, C y Cotte, M. (2010). *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention*. Francia. International Council on Monuments and Sites and the International Astronomical Union (IAU).

## CIELOS DE CHILE: DESDE LA TIERRA AL UNIVERSO

### TABLAS

**01** VISITAS EN 2014, POR TIPO DE OFERENTE ASTROTURÍSTICO SE EXCLUYEN VISITAS ESCOLARES. **22**

---

**02** DISTANCIA DE LOS OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS CON LAS PRINCIPALES CIUDADES DEL NORTE DEL PAÍS, EN KM. **25**

---

### BOX

**01** PRÓXIMA CENTAURI B: PROBABILIDAD DE VIDA FUERA DE LA TIERRA **10**

---

**02** SUPERNOVAS **13**

---

**03** ENERGÍA OSCURA **15**

---

**04** ASTROTURISMO EN CHILE **22**

---

**05** SITIOS ASTRONÓMICOS COMO PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD **26**



# CHILEAN SKIES: FROM EARTH TO THE UNIVERSE







# CHILEAN SKIES: FROM EARTH TO THE UNIVERSE



The content of this document is part of the Second State of the Environment Report, 2016 ([www.sinia.cl](http://www.sinia.cl)), which every four years provides an overview of the state of the different components of Chile's environment and is a legal obligation of the Ministry of the Environment, MMA. This report is prepared by the Department of Environmental Information of the MMA.

The publication of this text, in separate in its Spanish and English versions, is in line with the interest of the Ministry of the Environment and the National Commission of Scientific and Technological Research to contribute to the knowledge of the value of the skies of northern Chile, highlight the importance of protecting them and explain how people can help when they learn about and comply with the Emission Standard for Regulating Light Pollution.

**LEADER:**

Marcela Ponce, Department of noise, light pollution and odour, MMA.

**CONTRIBUTORS**

Mario Hamuy, President of the Council of Conicyt

Manuela Zoccali, Director of the Millennium Institute for Astrophysics (MAS by its acronym in Spanish)

Guillermo Blanc, Department of Astronomy, Faculty of Physical and Mathematical Sciences of the Universidad de Chile

Juan Carlos Beamin, Researcher at the Universidad de Valparaíso, Millennium Institute for Astrophysics (MAS by its acronym in Spanish)

Ezequiel Treister, Department of Astronomy of the Universidad de Concepción. President of the Chilean Astronomical Society (SOCHIAS by its acronym in Spanish)

Igor Valdebenito, Department of noise, light pollution and odour, MMA.

**DESIGN AND LAYOUT**

Sebastián Pablo Neira

[www.tursitasdiseno.cl](http://www.tursitasdiseno.cl)

Alejandro Armendariz

Rubí Cohen

**TRANSLATION AND LAYOUT**

Marcela Torres

Paula Torres

[www.torresasociadosltda.com](http://www.torresasociadosltda.com)

**COVER PHOTOGRAPHY**

Aura/CTIO, Daniel Munizaga

**PHOTOGRAPHS**

José Gerstle

GMTO

Nicolás Lagos

Instituto Milenio de Astrofísica

LSST

Daniel Munizaga

Ministry of the Environment 2018

Chilean SKIES: From Earth to the Universe

Second Edition

ISBN: 978-956-7204-72-4



# CHILEAN SKIES: FROM EARTH TO THE UNIVERSE

---

## CONTENT

---

<b>INTRODUCTION</b>	6
<b>1 • BACKGROUND INFORMATION</b>	6
<b>2 • CHILE, GLOBAL CENTER FOR ASTRONOMICAL OBSERVATION</b>	7
2.1 Great discoveries made from Chile	9
<b>3 • MAIN OBSERVATORIES</b>	18
<b>4 • PROJECTS UNDER DEVELOPMENT: NEW TIME MACHINES</b>	20
<b>5 • LIGHT POLLUTION</b>	24
5.1 Light Pollution in Northern Chile	24
5.2 Emissions sources	25
<b>6 • SKY PROTECTION IN NORTHERN CHILE</b>	26
6.1 “Windows to the Universe” Working group	26
<b>7 • NEW LIGHT STANDARD</b>	27
7.1 Progress on the implementation of the Standard	28
<b>REFERENCES</b>	29

---

## FOREWORD

During the next decade, Chile will become in the world reference center on astronomical observation. In fact, when the construction of new telescopes is complete, our country will be the host of 70% of the world's infrastructure for astronomical observation. Furthermore, two of the three mega telescopes that will exist in the world, will be located in northern Chile. Certainly, it is a tremendous opportunity and responsibility for our country.

Our skies will be the main protagonists for explorations of the universe, with the best existing technology to answer all the great questions that forever have occupied the debate, reflection and imagination of all human beings.

As we know, besides having privileged skies, we also have the responsibility to protect them, to maintain their astronomical quality and ensure the fundamental scientific work that impacts the whole world.

In this context, Chile has an Emission Standard for the Regulation of Light Pollution since 1998, in order to avoid one of the main threats to astronomical observation.

This standard, regulates outdoor lighting in the regions of Antofagasta, Atacama y Coquimbo, it was revised in 2012, in order to incorporate greater requirements. It is our duty now to help implement it, so we can ensure compliance and avoid light pollution.

Today we put this publication at your disposal: a document that through a collaborative work between the Ministry of Environment and prominent astronomers of our country details some important findings and answers that have been possible thanks to the work done in our country. A work that, in addition to contributing to know our universe and our origins, has allowed the development and technological advancement in the best interest of society.

Our interest is to help assess and understand the important role played by our skies in scientific work worldwide, a unique natural heritage that needs to be taken care of by all.

We invite you to read this publication, to enjoy their images and to be part of the challenge of protecting our skies.

Carolina Schmidt Zaldívar  
Minister of Environment



## FOREWORD

Science is an engine that drives the development of a country. The constant technological challenges to build tools that help to observe and analyze the phenomena around us become true triggers of solutions to improve people's lives. The benefits range from the invention of the internet to techniques for radiology imaging, from vegetables prepared to grow in areas with scarce water to constructive solutions that dissipate seismic energy.

Within the scientific areas, astronomy has earned a special place in Chile. The vision of the cosmos of our ancestors in the north and south of the country, generated theories and sought answers, deciphering the sky and interpreting the constellations. Over time, the arrival of observatories and the birth of a national scientific community active in the discoveries that reveal little by little the secrets of the universe, have put us in a privileged place.

In the next decade, questions on fundamental issues about our origins and destination will be answered from Chile, with the launch of the world's largest telescopes in the north of our country. This great opportunity is open, not only to the astronomical community, but also to the great number of scientific disciplines and associated professions, such as engineering, natural and computer sciences. But, above all, we want to reach all those who live in our territory with the lessons learned from our skies, especially the new generations, the Chileans of the future.

The latter gives us a great responsibility: to protect our natural resource. Little by little, we have been understanding the effects of light pollution, not only for astronomy, but also for flora and fauna, which obviously includes us. The interruption of the circadian cycle or "biological clock" has negative effects on the health of the population, transforming light pollution into a public health issue. The consequences of a sleep cycle interrupted by an excess or bad lighting are just being studied.

The Emission Standard for the Regulation of Light Pollution is a great step to compromise the different edges involved in the care of the skies: research, health and safety. However, the rapid evolution of the available technologies to illuminate and the recent irruption of the health issue in this dynamic, make it necessary to review and constantly improve said regulation in order to maximize its benefits for the entire population.

My invitation is to become aware of the benefit of caring our skies as a natural laboratory, to ensure the advancement of science and progress in Chile and, with it, to care for all who lives in this privileged nation.

Mario Hamuy  
President of the Council  
National Commission of Scientific and Technological Research

## INTRODUCTION

The privileged sky conditions of northern Chile have allowed it to become a window from which scientists improve their understanding of the place and time in the Universe that we are living in. The important astronomical capacity already installed in the northern regions of the country, which will increase over the next decade to 70 percent of the total global existing capacity, is evidence of the need to value and protect this heritage, which is not only Chilean, but of humanity.

This publication seeks to contribute to the understanding and the recognition of the importance that the scientific work on astronomy being developed in Chile has for everyone. In a collaborative endeavor, without borders, it has been possible to unveil areas of the Universe that were unthought of and provide answers to several questions that have accompanied humans since our origins.

## 1 • BACKGROUND INFORMATION

Observing beyond our sky and knowing that we are witnesses of the past is part of the knowledge that has been reached thanks to scientific work and astronomical observation.

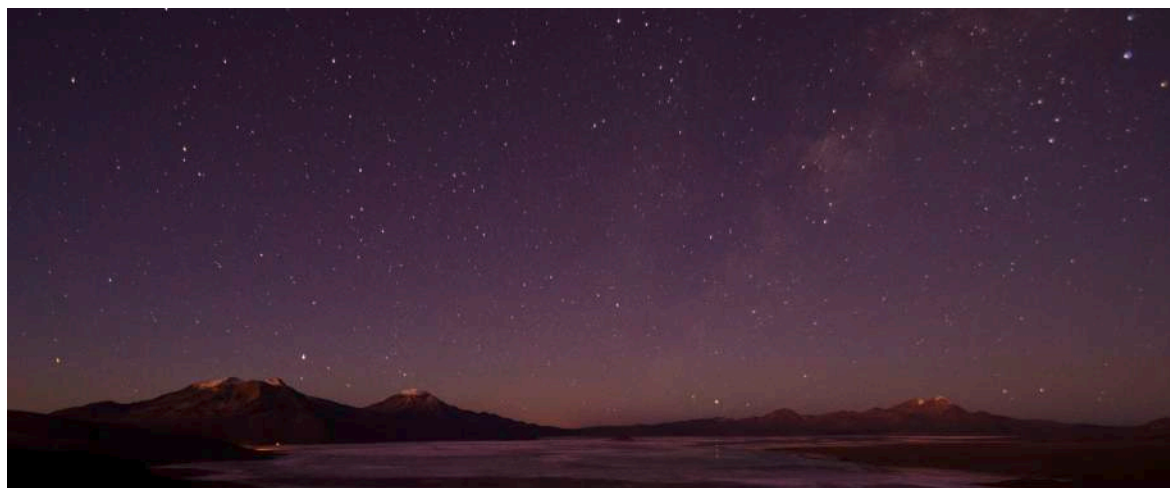
Conserving the skies of northern Chile through the control of light pollution and the use of appropriate lighting technologies and practices is a responsibility of all Chileans with humanity. Thus, this document seeks to show the main contributions made by astronomical observatories located in Chile, as well as the efforts being made by the country to ensure that the skies of the northern regions of the country continue to be a window to the Universe<sup>1</sup>.

“Our roots can be found above, in the Cosmos, each one of the atoms that make up our body were formed during the Big Bang 13.7 billion years ago. More specifically, the hydrogen that composes water, which forms most of our body, and the other chemical elements such as calcium, iron, and the oxygen that we breathe, come from within the heart of these stars” (Mario Hamuy, National Science Prize Winner 2015, interview in ANIP, 2015 ).

## THE UNIVERSE FROM CHILE

The privileged sky conditions of northern Chile are, without a doubt, a national heritage (and to many a world heritage) that must be safeguarded. This is a task to which all of us can contribute.

<sup>1</sup> Just as it is done in astronomy and in science in general, this chapter is the result of the contribution of several people. In this case, thanks to the coordination of the Chilean Millennial Institute of Astrophysics. The following astronomers participated in its development: Mario Hamuy; Manuela Zoccali; Guillermo Blanc; Juan Carlos Beamin and Ezequiel Treister, all of whom, from their experience and knowledge, open an important space to spark the reflection and curiosity to learn more about our Universe.





## 2 • CHILE, GLOBAL CENTER FOR ASTRONOMICAL OBSERVATION

Over the past twenty years, the skies in Chile have provided a natural laboratory in which thousands of Chilean and foreign astronomers have studied the mysteries of the Cosmos and have found answers to some of the most fundamental questions we have asked ourselves. Questions and answers that bring us closer to understanding the origin and the place of humans in the Universe.

In northern Chile, there are currently seven out of the 18 largest optical telescopes in the world, with a diameter greater than 6 meters. This situation also repeats itself in other wavelengths, for example in the millimeter and sub-millimeter<sup>2</sup> with the ALMA radio telescope complex being the most powerful and modern on the planet.

These instruments have played an essential role in practically all astronomical discoveries made in the past few years. With the arrival of the new generation of giant telescopes to Chile, such as the Giant Magellan Telescope (GMT), located in Las Campanas, and the European Extremely Large Telescope (E-ELT), on Armazones hill, it will be possible to detect and study many other planets in detail and see atmospheric signals in increasingly smaller planets, making progress to answer one of the most important questions of humankind throughout history: Is there life beyond Earth? It is possible that the answer to this question could be known in the following years from the top of a mountain in northern Chile.

<sup>2</sup> It is a band on the electromagnetic spectrum that allows observations that do not require the emission of visible or infrared light.



Inside the Large Magellanic Cloud (LMC), the ESO's Very Large Telescope in the Paranal Observatory, in Chile, enabled capturing this view of the LHA 120-N 44 nebula, around the NGC 1929 star cluster. ESO/MANU MEJIAS

Full field perspective above the La Silla Observatory | P. HORÁLEK/ESO







## 2.1 Great Discoveries made from Chile

### 2.1.1 Extrasolar Planets, Atmospheres and the First Image of an Exoplanet

Researching the presence of planets around other stars posed tremendous technical challenges. The quantity of light emitted by a star is about a million times greater than that of the light that is reflected by a giant planet such as Jupiter. Due to the complexity of being able to detect a planet in a direct manner, at the end of the 20th century astronomers began thinking about several indirect ways this could be achieved, such as the periodic measurement of the velocity of the stars (radial velocity methods).

The use of this method had its first breakthrough in 1995, when the discovery of the 51 Pegasi b was announced. A giant gas type planet -such as Jupiter- orbiting a star similar to the Sun but in an orbit that is extremely close to its star, much closer than the orbit that Mercury follows around the Sun.

Since then, new planets have been discovered using this same method. Hundreds of them have been discovered since 2003, through a telescope located at La Silla Observatory, in the Coquimbo Region of northern Chile, more specifically the 3.6-meter telescope along with its stable and precise High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher (HARPS).

The Gliese 581 system stands out among those discoveries, particularly the planet Gliese 581 g, whose mass is only 2.2 times that of our Earth and which has an orbit in what is known as a habitable zone, that is, the temperature of said planet could allow the existence of water in its liquid state on the surface.

But there are other ways of finding extrasolar planets. One of them is the constant observation of the stars in the sky, with the aim of detecting changes in the quantity of light that we receive from the star. In 1999, a team of astronomers discovered the first planet using this technique.

In April 2005, the European Southern Observatory (ESO) announced that, for the first time, a direct image of an extrasolar planet had been taken from the Very Large Telescope (VLT) Observatory on Paranal hill (Antofagasta). These observations made in northern Chile traveled the world, announcing the beginning of a new era in the search and study of extrasolar planets (**Image 1**).

Successful projects are currently being carried out in the observatories located in northern Chile, some alongside with observatories in different parts of the world, that continue finding planetary systems, such as in the case of the HAT-South, which has identified fifteen new extrasolar planets.

## OBSERVATIONS FROM CHILE

Hundreds of the planet discoveries made since 2003 have been made, and continue to be made, from a telescope located in the La Silla Observatory, in the Coquimbo Region.

In August 2016, the existence of an exoplanet orbiting the star Proxima Centauri was confirmed. This is the closest one to Earth (located a little over 4 light years away). It is the planet Proxima Centauri b, which presents similar characteristics to those of the Earth. In fact, its temperature allows thinking that there might be liquid water on its surface and, therefore, opens up the possibility that it might also hold life.

This discovery was possible thanks to the collaborative work under the framework of the Pale Red Dot project. The observations of this project began in January 2016, and were carried out with the High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher (HARPS) installed in the 3.6-meter telescope of the European Southern Observatory (ESO) at the La Silla Observatory. In addition, the project had the support of the Burst Optical Observer and Transient Exploring System (BOOTES), along with the Las Cumbres Observatory Global Telescope (LCOGT). The results of this project, in addition to previous observations, helped determine the existence of this exoplanet.

Although many exoplanets have been discovered, the main relevance of Proxima Centauri b is its similarity to Earth. It has rocky characteristics, it possesses a mass 1.3 times greater than that of our planet, it is calculated that its temperature is approximately 4 C° and it is located in the habitable zone of Proxima Centauri.

Photo Credit: ESO/Pale Red Dot

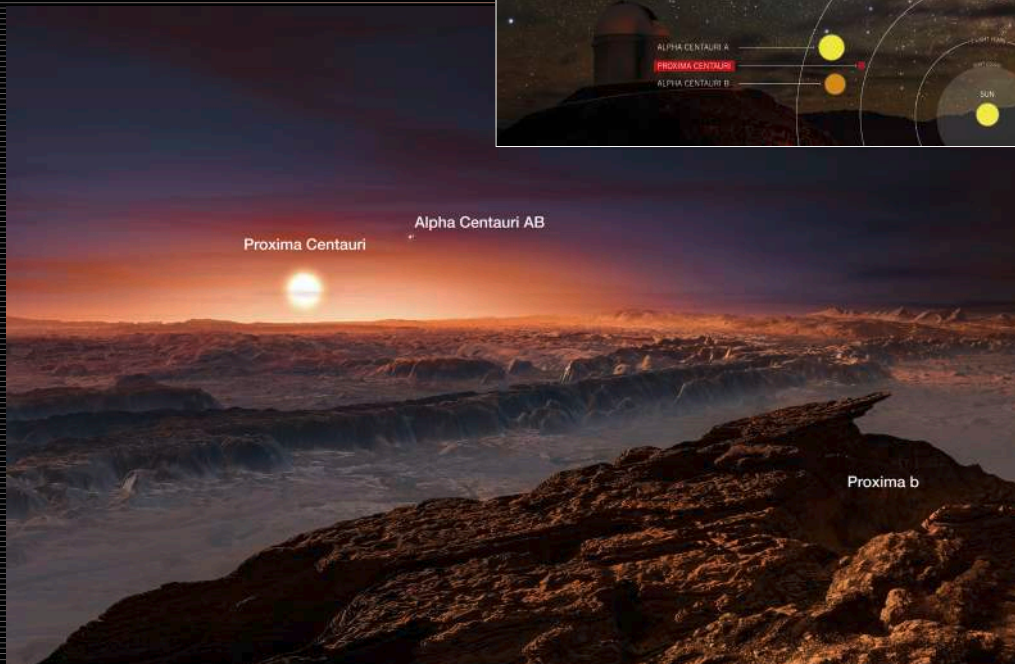
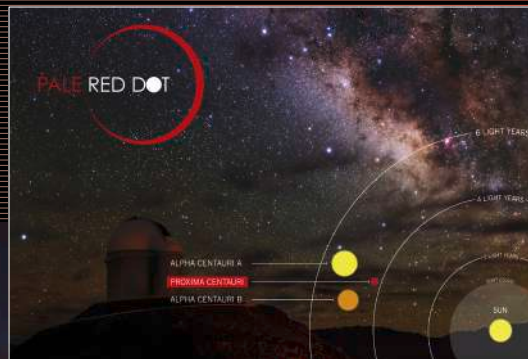


Photo Credit: ESO/M. Kornmesser



Towards the end of 2014, the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) installed in the Chajnantor plain, in the Atacama Desert, took an image of a planetary system under formation. A gas and dust disk around a young star, which showed empty straps due to the presence of proto-planets that have incorporated, through gravity, all of the particles and fragments in orbit at the same distance from the star. Thus, now there is important confirmation of the Solar System formation models and its faraway equivalents (**Images 2 and 3**).

Also, during 2014 and 2015 at the Las Campanas Observatory, at Gemini South and VLT, three dedicated and optimized instruments began their observations to enable the detection of extrasolar planets in a direct manner as well as planets under formation. These instruments possess unique characteristics to achieve images with high contrast and incredible spatial resolution, allowing a better understanding of how planetary systems are formed and what fraction of the stars have gas giants in very large orbits<sup>3</sup>.

An era in which discovering more and more planets is almost a routine in the astronomical arena has been reached, but there are new challenges, such as learning about the type of atmosphere of extrasolar planets. Thanks to instruments such as FORS2 or HAWK-I at VLT and IMACS at Las Campanas, it is possible to detect cloud signals and some elements such as Sodium in the atmospheres of said planets.

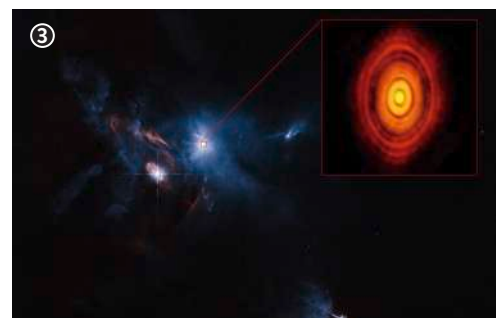
**OBSERVATION FROM CHILE**



1. This composed image shows an exoplanet (the red dot below towards the left), orbiting the brown dwarf 2M1207 (in the center). 2M1207 is the first direct image of an exoplanet discovered orbiting a brown dwarf. It was taken for the first time by the VLT in 2004. Its identity and planetary characteristics were confirmed after a year of observations in 2005. ESO.



2. This clear image shows the protoplanetary disk that surrounds the young HL Tauri star. This is the first ALMA image that exceeds the usual sharpness that Hubble images usually reach. ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



3. Composition of images that show the young HL Tauri star and its surroundings, based on data from ALMA (enlarged in the top right corner) and the Hubble Space Telescope (HST) of the NASA/ESA (the rest of the image). ALMA (ESO/NAOJ/NRAO/NASA/ESA)

<sup>3</sup> In VLT (SPHERE), at Las Campanas (Mag AO) and at Gemini South (GPI).

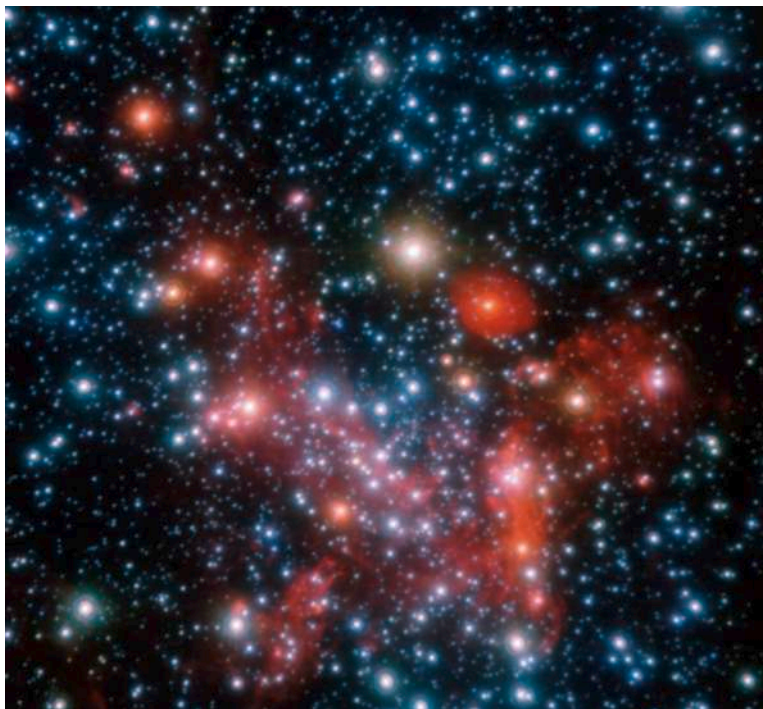
### 2.1.2 A Supermassive Black Hole in the Center of our Galaxy

At the core of the Milky Way there is a supermassive black hole, known as Sagittarius A\* (SgrA\*), which would be the closest one to Earth and would be at an approximate distance of 26,000 light years away. This black hole is being studied from Chile.

With the arrival to the country of new infrared detectors with higher resolution, greater sensitivity and groundbreaking observation techniques, at the beginning of the 1990s it was possible to identify a group of stars very close to SgrA\*. Through the New Technology Telescope (NTT), located at the La Silla Observatory, images of the galactic core were taken, achieving unprecedented details in this region. Towards the mid-1990s, the first movements of some stars were already available.

In 2002, an article was published based on data from different telescopes and instruments, almost all of them from the ESO at La Silla or Paranal, which included details about a specific orbit. A star named S2 had traveled two-thirds of its orbit trajectory since its observation had begun, an orbit of only 15.2 years that passed at only 17 light years from the point in which it was orbiting (close to 3.5 times the distance between Neptune and the Sun). The result was clear: the trajectory showed that it orbits an object, which is approximately 3.5 million times the mass of the Sun. This confirmed that at the core of the Milky Way there is a supermassive black hole.

Today, there is GRAVITY, an instrument that was initially tested at the VLT (Paranal Observatory) and enables the observation of orbits of stars closer to the black hole, with unprecedented precision.



The core parts of our galaxy, the Milky Way, observed in the near infrared with the NACO instrument of ESO's VLT. Following the movements of the star closer to the core for 16 years, astronomers were able to determine the mass of the supermassive black hole that lies inside it. ESO/S. GILLESSEN ET AL.



### 2.1.3 Supernovae and the Accelerated Expansion of the Universe

One of the most relevant questions posed by astronomy towards the end of the 20th century was how fast or how slowly was the Universe coming to a halt. When Edwin Hubble discovered that the Universe was expanding<sup>4</sup>, the logical conclusion was that, before this, the Universe was smaller. Going back in time would show that the entire Universe was a single spot. The theory explained the origin of the Universe through a large explosion that became known as the Big Bang, but if said Universe had been born from an explosion and is still expanding, logic and common sense indicated that that expansion should become slower, that is: the expansion of the Universe would be coming to a halt.

During the 1990s, a Chilean-American team of scientists under a collaboration named Project Calán-Tololo, aimed to search for supernovae in the southern hemisphere and to research their usefulness as luminous patterns. After four years, nearly 50 supernovae were observed, and some of the best measurements of the brightness variation (light curves) obtained until then were achieved. At the time, the importance of that property to measure distances and, thus, contribute to the current understanding of the Universe was unforeseeable.

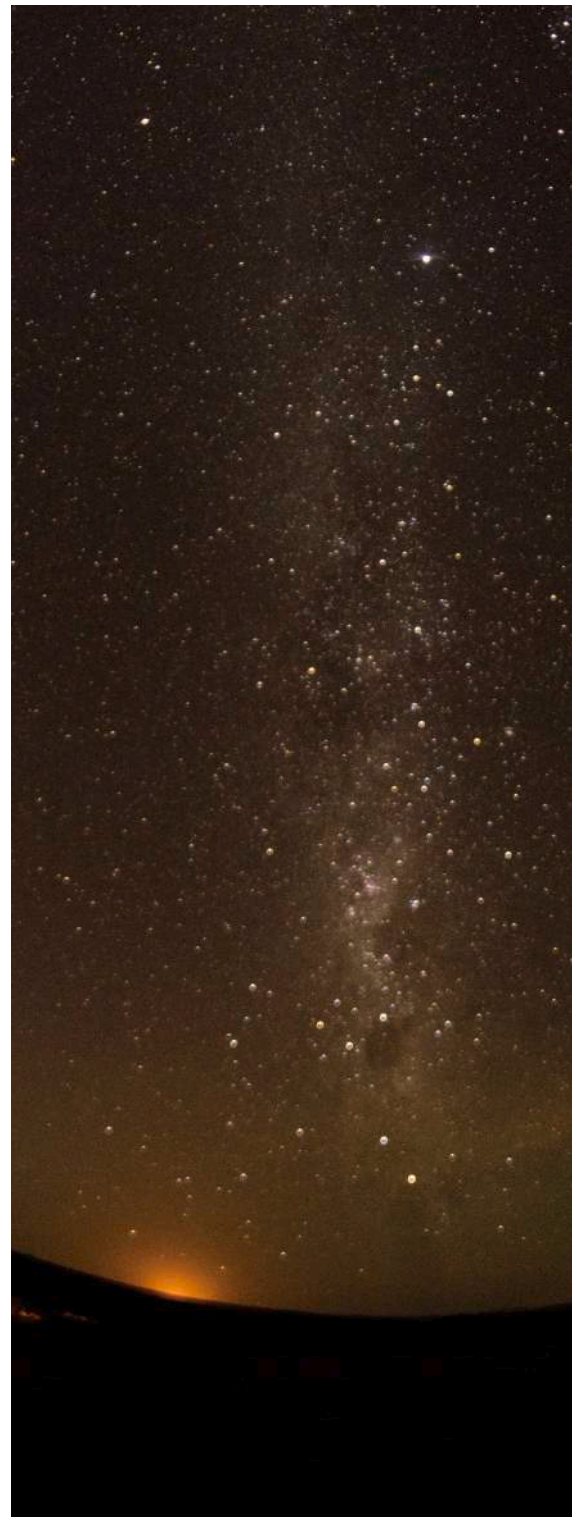
02

#### SUPERNOVAE

**S**upernovae are highly energetic phenomena produced by the complete or partial explosion of a star, towards the final phase of its life. Depending on whether the star is isolated or can be found within a binary system, there can be two types of Supernovae. Both become as bright as the entire galaxy where they are produced. However, the light emitted by them has different characteristics.

The great brightness of the Supernovae makes it possible for them to be seen from huge distances, as far as thousands of million light years away and, since light travels at a finite velocity, the further the observation, the further back in time it is. With the Supernovae, it is possible to see the Universe when it was very young.

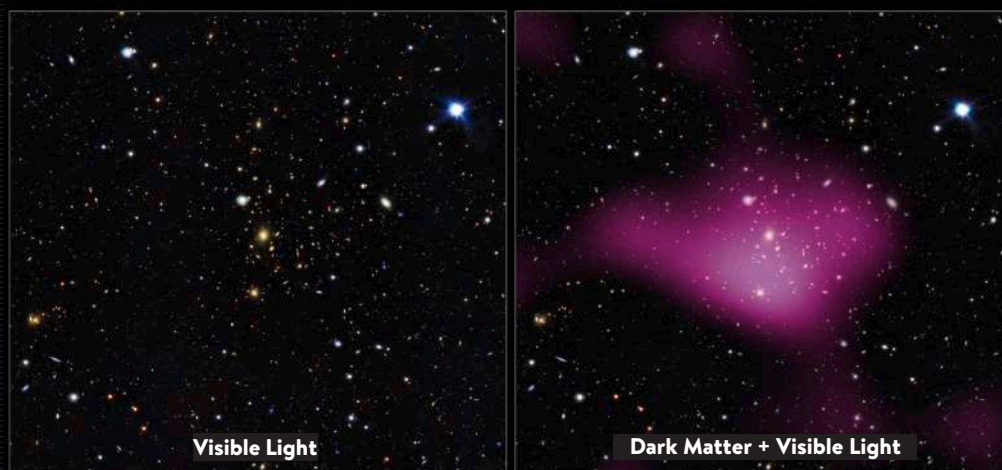
<sup>4</sup> In 1929, Edwin Hubble revolutionized cosmology by discovering that the Universe is expanding.



Sky | JOSE GERSTLE



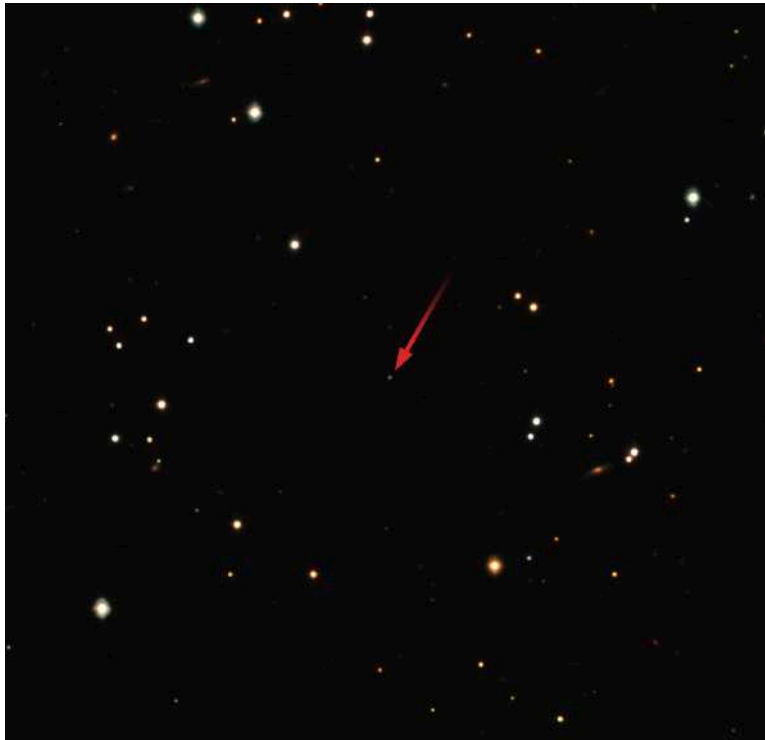
**W**here there is an acceleration, there is a force. The discovery of the accelerated cosmic expansion in 1998, in which the telescopes from the Tololo Hill Observatory installed in Chile played a crucial role, posed an enigma that has yet to be solved: What is the force that drives the expansion of the Universe and makes it faster every time? For cosmologists it is the “dark energy”, because behind a force an energy can also be defined. This is the most elementary principle from which force can be calculated, which, at the same time, causes the acceleration of mass. Actually, no one knows what it is. The principle acting behind all of this is unknown. Furthermore, such a force is not even included on the “menu” of options of the “Standard Model” of particle physics. There was a paradoxical place reserved for it in Einstein’s General Relativity equations (he called it “Cosmological Constant”). But, once again, this is only an elegant mathematical disguise. There are experiments underway to try to understand a little better what it is about, how it evolved throughout the history of the Universe. But it is still at the very basic stages of conceptual understanding, which is also logical. Dark energy was discovered less than twenty years ago.



First results of the new and immense tracking of dark matter carried out in the southern skies using ESO’s VLT Survey Telescope (VST), installed in the Paranal Observatory in Chile. The project is known as the Kilo-Degree Survey (KiDS). KILO-DEGREE SURVEY COLLABORATION/A. TUDORICA & C. HEYMANS/ESO

### 2.1.4 Gamma-Ray Burst

Also related to the far Universe, observations made from northern Chile have enabled the measurement of the distance to the farthest gamma-ray burst confirmed to date, for the GRB 090423 source, emitted approximately 600 million years after the Big Bang. Carrying out this measurement requires combining the large telescopes installed in northern Chile with the excellent existing atmospheric conditions. In this case, it was possible to establish the distance, thanks to the observations of the Very Large Telescope, making it the farthest object discovered to date.



On October 27, 2015 the NASA/ASI/UKSA Swift satellite discovered its number 1,000 gamma-ray burst (GRB). This important event was later observed and detailed by ESO's telescopes at the La Silla and Paranal Observatories in northern Chile. This image shows the optic and infrared brightness of this object, captured by the Gamma-ray Burst Optical/Near-infrared Detector (GROND) system through the MPG/ESO 2.2-meter telescope at ESO's La Silla Observatory. What seems like a faint star in the center of the image is actually the GRB, which only seems small because it is very far away. ESO/GROND



Artistic illustration | ESO/A. ROQUETTE





### 2.1.5 Satellite Galaxies of the Milky Way

Many of the instruments that are part of the astronomical observatories installed in northern Chile, in addition to enabling the study of the Universe at the greatest scales known to date, are also revolutionizing the way in which our local neighborhood is observed, our own galaxy (the Milky Way) and the systems that surround it.

Some of the smallest and most ancient galaxies in the Universe have been detected and studied from Chile, the ones seen orbiting the Milky Way as small satellites. These objects hold essential information to be able to understand how the first stars of the early Universe were formed and how matter is organized and distributed in space throughout the history of the Cosmos. These studies have allowed, for example, the discovery in Chilean skies of the most ancient star ever observed in our Galaxy and the mapping of the position of millions of stars in the sky to be able to reconstruct the shape of the Milky Way with an unprecedented level of detail.



This photograph shows two spiral galaxies, similar in appearance to the Milky Way, which are participating in a cosmic ballet that in a few billion years will end in a complete galactic fusion -both galaxies will become one larger one. This photograph was taken with the ESO's Faint Object Spectrograph and Camera (EFOSC2) through three broad-band filters (B, V, R). The EFOSC2 has a visual field of 4.1 x 4.1 arcminutes and it is attached to the 3.6-meter telescope at ESO's La Silla Observatory. ESO

### 3 • MAIN OBSERVATORIES

#### 1 ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array Observatory)

It is a radio telescope composed of 66 high-precision antennas, each with 12-meter and 7-meter diameters. It is located 5,000 meters above sea level, in the Chajnator plain (which in Kunza tongue means “launch site”), in the middle of the Atacama Desert. In contrast to optical telescopes, radio telescopes capture the Universe’s radio waves, which are reflected on the surface of its dishes. Thanks to their parabolic shape, they concentrate on the focal point, where a receptor receives the radio waves, amplifies them and digitizes them, enabling their information -which includes the intensity of the waves captured and the exact position of the spot in the Universe they come from- to be converted into images (ALMA, n.d.)

“ALMA is an interferometer<sup>6</sup> that can operate as a single huge telescope equal to a 16-kilometer diameter antenna” (ALMA, n.d., p. 12)

#### 2 PARANAL OBSERVATORY

Observatory of the European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere(ESO). **Location:** It sits on top of Paranal hill, at 2,635.43 meters above sea level, in the Coastal Mountain Range, 130 kilometers south of Antofagasta and 12 kilometers from the coast. **Telescopes:** Four Unit Telescopes with main mirrors of 8.2 meters diameter or Very Large Telescope (VLT). Four movable 1.8 meters diameter Auxiliary Telescopes for interferometry. Two broad range telescopes, VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy), with a main mirror of 4.1 meters, and 2.6-m VST (VLT Survey Telescope). **Website:** <http://www.eso.org/sci/facilities/lpo/>

#### 3 ARMAZONES HILL OBSERVATORY

This Observatory of the Northern Catholic University, has ceased operations, but the ESO’s European Extremely Large Telescope (E-ELT) will be at the same location. With a 39-primary meter mirror, it will be the largest telescope in the world to observe in the visible and near-infrared light ranges.

#### 4 LAS CAMPANAS OBSERVATORY

Observatory operated by the Carnegie Institution of Washington. **Location:** Manqui hill, close to Las Campanas hill, 160 kilometers north of La Serena, between the

<sup>6</sup> An interferometer is an instrument that uses wave interferences to measure wavelengths.

#### REGIONS IN NORTHERN CHILE



Milky Way from the Paranal Observatory | ESO/H.H. HEYER





borders of the Atacama and Coquimbo regions, at 2,380 meters above sea level. **Telescopes:** The twin 6.5-meter Magellan I and II telescopes; 2.5-meter Irénée du Pont telescope; and the 1-meter Swope Telescope. **Website:** [www.lco.cl](http://www.lco.cl)

#### 5 LA SILLA OBSERVATORY

It is the first observatory of the European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere (ESO). The observations made at La Silla have provided the bases for several discoveries, giving way to a large amount of annual publications. **Location:** It is located 160 kilometers north of La Serena, between the borders of the Atacama and Coquimbo regions, at 2,400 meters above sea level. **Telescopes:** Three 3.6-meter, 3.5-meter, and 2.2-meter telescopes operated by the ESO. Two 1.2-meter and 1.5-meter telescopes operated by Switzerland and Denmark, respectively, and the 1-meter Schmidt telescope.

**Website:** <http://www.eso.org/sci/facilities/lpo/>

#### 6 CERRO TOLOLO INTER-AMERICAN OBSERVATORY (CTIO)

Inaugurated in 1967, it is the first international observatory built in the country. This observatory is part of the United States National Optical Astronomy Observatory (NOAO), operated by AURA, under a cooperation agreement with the National Science Foundation (NSF). **Location:** Tololo hill, 80 kilometers east of La Serena, in the Coquimbo Region, at 2,200 meters above sea level. **Telescopes:** Five operational telescopes. CTIO operates the 4-meter Blanco telescope on Tololo hill, the CTIO 1.5-meter, 1.3-meter and 0.9-meter telescopes, and the Yale 1.0-meter telescope are being operated by the SMARTS Consortium, in addition to the Curtis/Schmidt telescope. **Website:** [www.ctio.noao.edu/](http://www.ctio.noao.edu/)

#### 7 SOUTHERN ASTROPHISICAL RESEARCH (SOAR)

It is a 4.1-meter telescope built by the Ministério da Ciencia e Tecnologia of the Federal Republic of Brazil (MCT), the United States National Optical Astronomy Observatory (NOAO), the University of North Carolina at Chapel Hill (UNC), and Michigan State University (MSU). **Location:** Pachón hill, 80 kilometers away from La Serena, in the Coquimbo Region, at 2,700 meters above sea level. **Telescopes:** Optical and azimuth 4.1-meter diameter telescope. **Website:** [www.soartelescope.org/](http://www.soartelescope.org/)

#### 8 GEMINI SOUTH OBSERVATORY

This observatory is operated by a partnership of five countries: The United States, the United Kingdom, Canada, Brazil, Argentina and Chile AURA (Association of Universities for Research in Astronomy). This consortium also operates the Gemini North telescope, located in Hawaii. **Location:** Pachón hill, 80 kilometers away from La Serena, in the Coquimbo Region, at 2,700 meters above sea level. **Telescope:** 8.1-meter diameter optical/infrared telescope. **Website:** [www.gemini.edu/](http://www.gemini.edu/)



#### 4 • PROJECTS UNDER DEVELOPMENT: NEW TIME MACHINES

Chile concentrates nearly 40 percent of the global astronomical observation capacity. As mentioned before, this percentage will increase over the next few years, when new projects begin operations, which will involve setting up telescopes that will come to revolutionize astronomical observation and will place Chile at the core of this scientific field, harboring approximately 70 percent of the world's astronomical observation capacity.

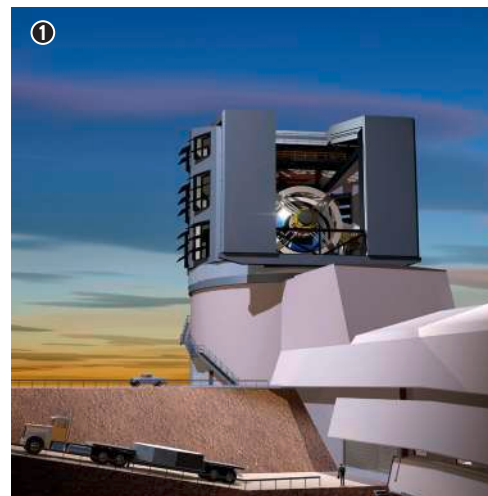
These are advanced-technology instruments that will allow looking into the past, like true **time machines**.

❶ **Large Synoptic Survey Telescope (LSST):** the construction of the Large Synoptic Survey Telescope (LSST) began on April 14, 2015, in the Coquimbo Region. This telescope will provide valuable information to understand the Milky Way, the asteroids population and will contribute to the understanding of dark energy, which is accelerating the expansion of the Universe.

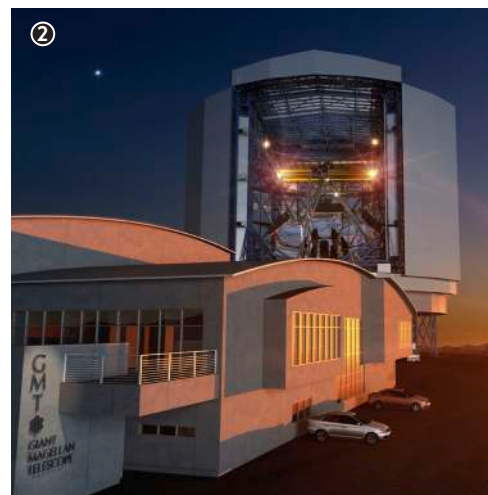
The LSST will be located on Pachón hill and will have an 8.4-meter telescope and a 1.6-meter and 3,200-megapixel camera, both of which will enable capturing images from the entire visible sky for 10 years. It is a telescope that will make it possible to build the most complete image of the Universe, revealing changes or movements, as well as to identify potentially dangerous asteroids. It is expected that the telescope will begin providing images starting in 2019 and that it will be fully operational by 2022.

❷ **Giant Magellan Telescope (GMT):** The construction of the Giant Magellan Telescope began in November 2015. It will be located on Las Campanas hill in the Atacama Region, at 2,400 meters above sea level. It is planned to begin operations in 2021. At that time, it will be the largest telescope in the world and will enable observing the Universe with a clarity ten times greater than the Hubble Space Telescope. It will be like traveling in time, taking a peak a little after the Big Bang explosion, when the first stars and galaxies were formed. This high capacity and possibility of exploring the Universe with a clarity never seen before will allow researching the origins of the elements that make up our planet and humans. Likewise, it will search for traces of biological processes in planets beyond our galaxy.

❸ **European Extremely Large Telescope (E-ELT):** It will be located on Armazones hill, in the Antofagasta Region, approximately 20 kilometers away from Paranal hill, where the Very Large Telescope is located, which is also operated by the European Organisation for Astronomical Research in the Sou-



1. Large Synoptic Survey Telescope (LSST) (Retrieved March 4, 2016 from <http://www.lsst.org/about>)



2. Giant Magellan Telescope (GMT) (Retrieved March 4, 2016 from <http://www.gmto.org/gallery/>) | GMTO



thern Hemisphere (ESO). It is a 39-meter diameter telescope, the largest in the world. It is expected that, when it begins operations, in 2024, it will revolutionize astronomical observation and current knowledge on the matter. “The ELT will gather 100 000 000 times more light than the human eye, 8 000 000 times more than Galileo’s telescope” (ESO, n.d.). ([www.eso.org](http://www.eso.org))

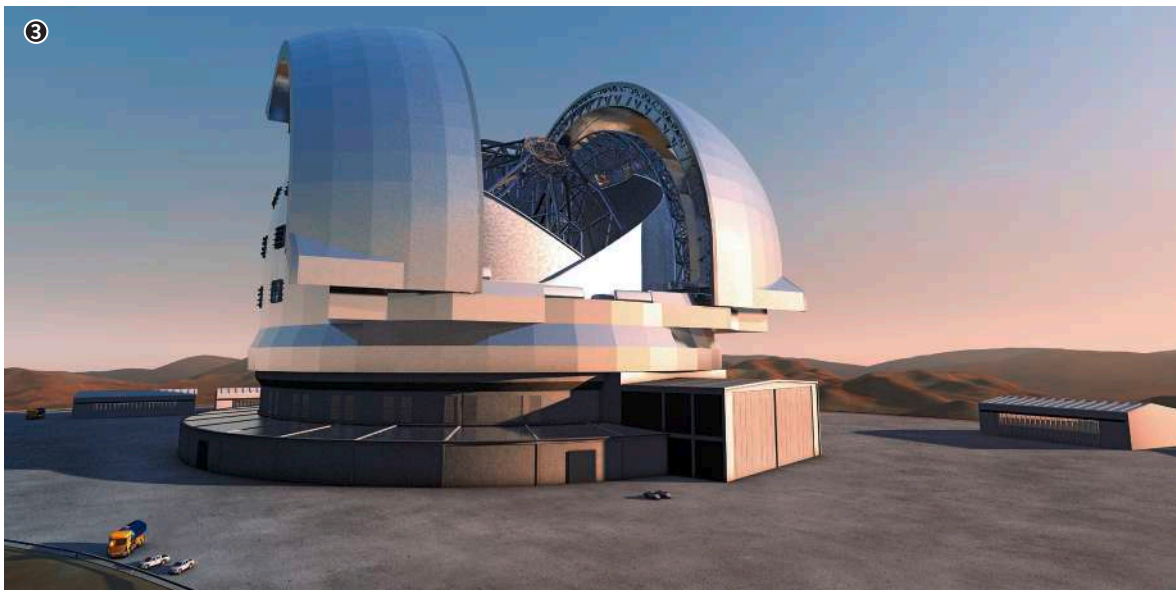
The E-ELT will enable progress in astronomy in topics such as the search for life in the Universe, learning about the first stars and galaxies, and probing the nature of dark matter and dark energy. One of the most significant challenges for this telescope is the study of the process of accelerated expansion of the Universe.

“The ELT has embraced the quest for extrasolar planets – planets orbiting other stars. This will include not only the discovery of planets down to Earth-like masses through indirect measurements of the wobbling motion of stars perturbed by the planets that orbit them, but also the direct imaging of larger planets and possibly even the characterization of their atmospheres” (ESO, n.d.). ([www.eso.org](http://www.eso.org))

#### ASTRONOMICAL OBSERVATION

Over the next few years, Chile will have cutting-edge technology instruments that **will enable looking into the past, like actual time machines.**

**These new telescopes, which will come to revolutionize astronomical observation, will place Chile at the core of this scientific field, harboring approximately 70 percent of the global astronomical observation capacity.**



3. Artistic impression of the European Extremely Large Telescope (E-ELT). The E-ELT will be the largest optical/near-infrared telescope in the world -the world’s biggest eye on the sky. | ESO

## ASTROTURISM IN CHILE

**A**long with the scientific interest awakened by the skies of northern Chile, interest has also been generated for astrotourism, which comprises people who want to get closer to astronomic observation and the best places and observatories to do so.

In this context, Astotourism Chile, an initiative made up by public and private stakeholders that seeks to promote and boost astronomic tourism in Chile, developed a study on the demand for astrotourism in the country<sup>7</sup>.

This initiative also prepared the Roadmap for Astrotourism in Chile 2016-2025, which seeks to improve the quality and attractiveness of the astrotourism offer in a sustainable manner, in order to allow Chile to position itself as the main destination for this type of tourism.

According to the diagnosis performed by Astrotourism Chile, the regions that possess the greatest concentration of the astrotourism offer are: Coquimbo, Antofagasta and Santiago Metropolitan.

Regarding the characteristics of visitors, according to the survey, more than 70 percent of them are national tourists.

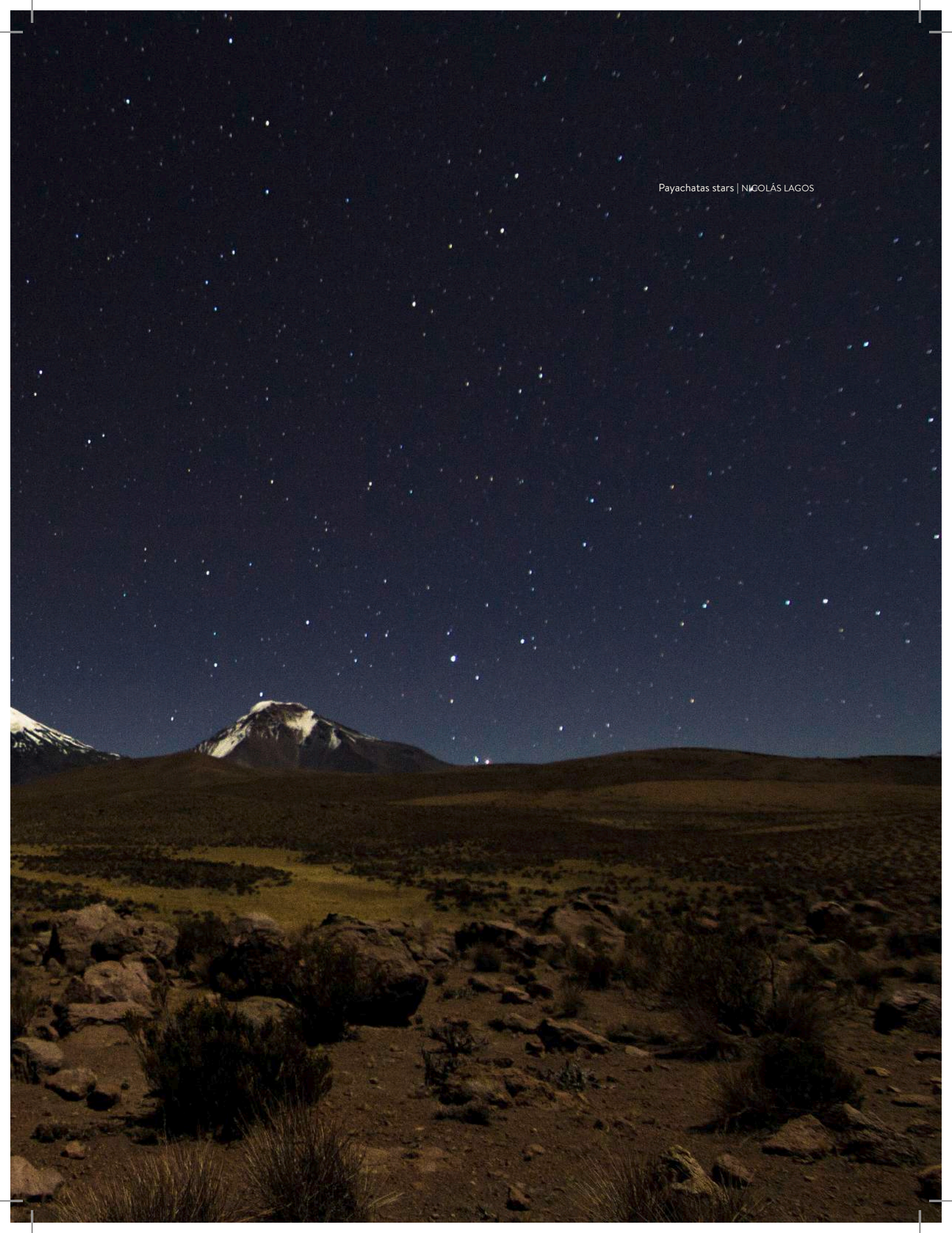
TABLE 01

VISITS IN 2014, BY TYPE OF ASTROTURISM OFFER PROVIDER Student visits are excluded			
REGION	CASES	NUMBER OF VISITORS	% OF VISITS PER REGION
Antofagasta	10	33,424	13%
Atacama	2	6,500	2%
Coquimbo	25	114,298	44%
Valparaíso	2	5,200	2%
Bíobio	5	6,685	3%
L.B.O'Higgins	2	9,100	3%
Santiago Metropolitan	10	87,410	33%
<b>TOTAL</b>	<b>56</b>	<b>262,617</b>	<b>100%</b>

Source: Astroturismo Chile 2015.

<sup>7</sup> Under the framework of the projects funded by the Public Works for Competitiveness line of the Chilean Economic Development Agency (CORFO by its acronym in Spanish).

Payachatas stars | NICOLÁS LAGOS



## 5 • LIGHT POLLUTION

One of the main factors that threatens the quality of astronomical observation in the skies of northern Chile is light pollution. It is a problem that mainly affects the cities and it occurs when the level of evening environmental light level, derived from artificial lighting, increases. This occurs when light is not efficiently aimed at illuminating the ground or buildings, but rather it is pointed upwards towards the sky, affecting the possibility of watching the stars and the night sky. This type of pollution has negative impacts for astronomic observation, as well as for human health and biodiversity.

Light pollution is most evidently manifested as the increase in the brightness of the night sky, through the reflection or diffusion of the artificial light among the gases and particles of the urban air, in a way that reduces the visibility of stars and other celestial objects (MMA, 2012).

### 5.1 Light Pollution in Northern Chile

The privileged conditions for astronomical observation in northern Chile are increasingly more at risk, due to the urban growth of the cities close to the observatories. When facing the presence of lines of artificial light emission sources, the observatories require more exposure time to carry out spectroscopy<sup>8</sup> of faint objects.

Although towards the end of the 1990s the country had sought to protect the quality of the skies through emission standards, as well as through guidelines on outdoor luminaires, it has been necessary to increase said regulatory requirements, in order to ensure the care of this heritage.

<sup>8</sup> Spectroscopy is the study of the interaction between electromagnetic radiation and matter, with the absorption or emission of radiant energy. In astronomy, the subject matter is the spectrum of electromagnetic radiation, including visible light, that radiates from stars and other celestial objects.



Panoramic of the Cerro Tololo Observatory |AURA







### 5.2 Emission sources

The main emission source of light pollution is public lighting, followed by advertisement lighting. Also, activities such as construction or mining, can also be emission sources for light pollution.

Along with public lighting, the type of light source used is one of the conditions that affects the quality of night skies. Also, the location and direction in which the lighting is located is another cause of light pollution.

The worst sources of outdoor light for astronomy are incandescent lights (such as the lightbulbs commonly used in homes), since they emit a continuous spectrum of many bands of color that block the spectral information originating from faint cosmic objects. The sources that emit light in color band characteristics are less damaging for observation, since they do not pollute the full spectrum. However, some of them can also be just as damaging.

TABLE 02

DISTANCES OF THE ASTRONOMICAL OBSERVATORIES in relation with the main cities of northern Chile, in km							
NAME	Antofagasta 404,000 INHABITANTS	Calama 178,000 INHABITANTS	Copiapó 163,000 INHABITANTS	Vallenar 48,000 INHABITANTS	Coquimbo La Serena 486,000 INHABITANTS	Ovalle 172,000 INHABITANTS	Vicuña 24,000 INHABITANTS
1 TAO	-	135	-	-	-	-	-
2 Paranal	108	-	-	-	-	-	-
3 E-ELT	105	-	-	-	-	-	-
4 Las Campanas	-	-	185	49	115	181	112
5 La Silla	-	-	213	75	93	155	85
6 Tololo	-	-	-	177	55	60	17
7 SOAR	-	-	-	184	62	60	22
8 Gemini South	-	-	-	184	62	60	23
9 LSST	-	-	-	185	61	58	23

Source: Chile, MMA, 2012.



## 6 • SKY PROTECTION IN NORTHERN CHILE

The importance of astronomical observation for scientific progress has given prominence to places that still possess the conditions to develop this type of work.

In this context, during the light pollution Starlight Conference of 2007 carried out in La Palma, Spain the International Astronomical Union (IAU) presented the idea of proposing these astronomical sites as Human Heritage. This, since “skies” for astronomical observation cannot be registered as part of said heritage.

Later, UNESCO’s the World Heritage Committee, in its 34th session carried out in Brasilia (Brazil, 2010) approved the study on “Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the World Heritage Convention: A Thematic Study”, developed under the framework of the International Year of Astronomy 2009. This study identifies certain places of the world as astronomical heritage, among which are Northern Chile, the Canary Islands, Hawaii and Namibia, all of them denominated as “Windows to the Universe”.

According to the study, “the effective preservation of dark areas requires the establishment of appropriate criteria for their management, especially with regard to the mitigation or elimination of light pollution” (Clive Ruggles and Michel Cotte, 2010).

In this context, the IAU created the World Heritage Commission, which seeks to promote the protection of some of the most important places for astronomical observation. In August 2015, during the XXIX General Assembly of the IAU, participating countries were called upon to coordinate the efforts to carry forth this initiative. In said occasion, Chile announced the creation of the “Windows to the Universe” working group, acting as focal point for this international initiative. Furthermore, during the assembly Chile was elected as coordinator of the Global Network of Astronomical Observatories with Heritage Value.

### 6.1 “Windows to the Universe” Working group

The working group Windows to the Universe of Chile is coordinated by the Energy, Science and Technology and Innovation Directorate of the Ministry of Foreign Affairs and the Library, Archives and Museums Directorate (DIBAM by its acronym in Spanish). Also participating in this initiative are the directors of the observatories, the Minister of the Environment, the Office for the Protection of the Quality of the Skies in Northern Chile (OPCC by its acronym in Spanish), the National Monuments Council and the UNESCO Commission of the Ministry of Education.

The objective of this working group is to coordinate the necessary strategy and actions to make progress in declaring astronomical sites in Chile as National Monuments, under the framework of achieving their nomination on the UNESCO Astronomy and World Heritage Initiative (AWHI).

05

### ASTRONOMICAL SITES AS WORLD HERITAGE

**T**here are several places in the world where a unique combination of environmental and natural circumstances can be found; spaces that are well conserved with little disturbance of the natural quality of the sky, really dark, with a large percentage of days with clear skies and with maximum sharpness and transparency.

These exceptional sites, including their natural components, can be considered as “landscapes of science and knowledge”. As can be expected, the largest observatories of the contemporary world, true scientific monuments, can be found in these places and are, to a greater or lesser extent, historical sources of the native astronomical culture. This is the case of Hawaii, the Canary Islands and Northern Chile, a group of sites that, within this context, have an exceptional universal significance as a group.

- ❶ Arizona (Mexico - Baja California)
- ❷ Hawaii (Mauna Kea - Haleakala)
- ❸ Canary Islands (La Palma - Teide)
- ❹ Northern Chile
- ❺ South Africa



Retrieved on March 24, 2016 from <https://www3.astronomicalheritage.net/index.php/show-theme?idtheme=21>



## 7 • NEW LIGHT STANDARD

In 1998, Chile enacted the Emissions Standard for the Regulation of Light Pollution (Supreme Decree N° 686/1998, Ministry of Economy), with the aim of preventing light pollution and protecting the skies of northern Chile. Although the standard implied a contribution in the reduction of light pollution of approximately 30%, in addition to generating an energy saving in the regulated areas, it slowly began to show a halt in the level of compliance with the regulation, regarding the change of public luminaires.

In this context, and after several years of the entry into force of the regulation, it came under review. As a result, in 2013, Supreme Decree N° 43/2012 of the Ministry of the Environment was published, compiling international experience and standards, using places such as Italy, Spain and the United States, where astronomical observation and research are developed.

The new regulation establishes greater requirements for ambient light, for luminaires with different technologies (including LED technology) for advertisements or signs. The regulation specifically restricts the emission of radiant flux towards the upper hemisphere, as well as certain spectral emissions of lamps, except in specific applications that are explicitly indicated.

### Regulated Emission Sources

According to the regulation, emission sources are lamps, whichever their technology that are installed in luminaries, in projectors or by themselves, that are used in what is known as ambient light. This also includes signs, digital signage displays, projectors or other illumination devices that can be moved while being operated and similar ones.

The following are not considered as ambient light, for example, the illumination caused by the combustion of natural gas or other fuels, from vehicles and emergency lights necessary for public safety.

### What are the Main Requirements of the Supreme Decree N° 43/ 12 of the MMA?

- ▶ Complete restriction of the radiant flux emitted towards the upper hemisphere.
- ▶ Spectrum restriction.
- ▶ Incorporation of limits for emission reflected on the road (on illumination).
- ▶ Incorporation of advertisement and digital signage displays.
- ▶ Elimination of the scheduled restrictions of Supreme Decree N° 686/98 MINECON.
- ▶ Requirements of incandescent-filament lamps, high intensity discharge lamps and solid-state lamps (LED).

## LIGHT POLLUTION

The standard implied a contribution to the reduction of light pollution by

▼ **30%**

In addition to generating energy savings in regulated areas, **they will enable looking into the past, like actual time machines.**

## Supervision

The Superintendency for the Environment (SMA by its acronym in Spanish) is in charge of supervising. Likewise, the control of the compliance of these requirements is carried out through a certification of the emission limits in charge of the Superintendency for Electricity and Fuels (SEC by its acronym in Spanish), prior to the installation of lamps. Once they have been installed, the SMA will verify the luminescence of the digital signage displays that are already installed and the correct installation of emission sources, according to what is established in the regulation.

### What are the timeframes to comply with the new standard?

The new emission standard to regulate light pollution entered into force on May 3, 2014. The emission sources in existence prior to its entry into force, must comply with this regulation once they change the source or within a maximum timeframe of five years since the entry into force of the standard. Nevertheless, in the meantime they must comply with the requirements of Supreme Decree N° 686/98 MINECON. On the other hand, new emission sources must comply with this standard once they are installed.

### 7.1 Progress on the implementation of the Standard

Supreme Decree N° 43/12 of the Ministry of the Environment became fully operational through the implementation of the lamp certification system, starting with the officialization of the certification protocols for luminaries and the authorization of the first certification laboratory by the Superintendency for Electricity and Fuels (SEC by its acronym in Spanish). Said protocols are the standardized procedures for the measurement or trial that must be done to lamps in order to certify the compliance of some of the main requirements of the regulation, the protocols had to be developed and validated by a working group coordinated by the SMA and made up by the SEC, the Ministry of Energy and the Ministry of the Environment.

The certification protocols (for discharge, incandescent and LED technologies) were approved through Exempt Resolution N° 731, dated 26 August 2015, by the Superintendency for the Environment (SMA by its acronym in Spanish) and published by the Official Gazette on August 31, 2015.

Although it includes the new standards and requirements to ensure the protection of the skies of northern Chile, the success of this regulation depends largely on the commitment and participation of everyone who lives or visits the northern zone of the country.

#### **Ambient Light:**

Outdoor, sport and recreational lighting, functional lighting, industrial lighting, ornamental and decoration lighting.

#### **Digital Signage Displays:**

Signs, advertisements, urban furniture, phone booths and alike, illuminating from inside or through direct emission, with static or dynamic images, such as visual communication screens.

**Lamp:** Device built with the aim of producing a luminous flux.

**Luminaire:** The device that serves to distribute, filter or transform the light from a lamp or lamps, which includes all the necessary parts to position, protect and connect them to the power supply.

**Luminance:** The ratio between the luminous intensity in the direction of an observer and its projection in that same direction of the emission area.

**Lumen:** Unit of the Luminous Flux System emitted within a solid angle unit (steradian) by a specific uniform source with the luminous intensity of one candela.

**Spectral Radiance:** Intensity of the energy radiated by surface unit, wavelength and solid angle.



## REFERENCES

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA). (n.d.). *Radio Astronomy Manual ALMA at School*. Retrieved from [http://www.almaobservatory.org/wp-content/uploads/2016/11/edu\\_0072.pdf](http://www.almaobservatory.org/wp-content/uploads/2016/11/edu_0072.pdf)

Asociación Nacional de Investigadores en Postgrado (ANIP). (2015). *Interview with Mario Hamuy*. Retrieved December 18, 2015 from <http://www.anip.cl/?p=12156>

Astroturismo Chile. (2015). *Estudio sobre demanda en astroturismo en Chile*. Retrieved January 18, 2016 from <http://astroturismochile.cl/wp-content/uploads/2015/12/Estudio-de-Demanda-Final.pdf>

Astroturismo Chile. (2015). *Hoja de Ruta para el Astroturismo en Chile 2016-2025*. Retrieved April 26, 2016 from <http://astroturismochile.cl/wp-content/uploads/2016/04/HDR-Resumen-baja.pdf>

European Southern Observatory. (ESO). (2016). *Comunicado Científico. Se descubre un planeta en la zona habitable que rodea a la estrella más cercana*. Retrieved October 15, 2016 from <http://www.eso.org/public/spain/news/eso1629/>

European Southern Observatory. (ESO). (n.d.). *An Expanded View of the Universe Science with the European Extremely Large Telescope*. Retrieved from [https://www.eso.org/public/archives/brochures/pdfsm/brochure\\_0025.pdf](https://www.eso.org/public/archives/brochures/pdfsm/brochure_0025.pdf)

European Southern Observatory. (ESO). (n.d.). *E-ELT The European Extremely Large Telescope The World's Biggest Eye on the Sky*. Retrieved from [https://www.eso.org/public/archives/brochures/pdfsm/brochure\\_0022.pdf](https://www.eso.org/public/archives/brochures/pdfsm/brochure_0022.pdf)

European Southern Observatory. (ESO). (n.d.). *The European Extremely Large Telescope - The World's Biggest Eye on the Sky*. Retrieved from [https://www.eso.org/public/archives/handouts/pdf/handout\\_0013.pdf](https://www.eso.org/public/archives/handouts/pdf/handout_0013.pdf)

Massey, R. (2015). *Ver más allá de las estrellas: la importancia de la astronomía*. Retrieved November 27, 2015 from <http://mexico.cnn.com/tecnologia/2015/03/23/ver-mas-alla-de-las-estrellas-la-importancia-de-la-astronomia>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2012). *Análisis general del impacto económico y social de la Modificación del DS 686/98*. Santiago: MMA.

Ruggles, C. and Cotte, M. (2010). *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention*. France: International Council on Monuments and Sites and the International Astronomical Union (IAU).

## CHILEAN SKIES: FROM EARTH TO THE UNIVERSE

### TABLES

<b>01</b> VISITS IN 2014, BY TYPE OF ASTROTOURISM OFFER PROVIDER. STUDENT VISITS ARE EXCLUDED.	<b>22</b>
--	-----------

<b>02</b> DISTANCES OF THE ASTRONOMICAL OBSERVATORIES IN RELATION WITH THE MAIN CITIES OF NORTHERN CHILE, IN KM	<b>25</b>
---	-----------

### BOXES

<b>01</b> PROXIMA CENTAURI B: PROBABILITY OF LIFE OUTSIDE OF EARTH	<b>10</b>
--	-----------

<b>02</b> SUPERNOVAE	<b>13</b>
----------------------	-----------

<b>03</b> DARK ENERGY	<b>15</b>
-----------------------	-----------

<b>04</b> ASTROTOURISM IN CHILE	<b>22</b>
---------------------------------	-----------

<b>05</b> ASTRONOMICAL SITES AS WORLD HERITAGE	<b>26</b>
--	-----------