

### **3. El cielo de Canarias: una ventana al Universo**

**Ricardo Tanausú Génova Santos y Antonia María Varela**

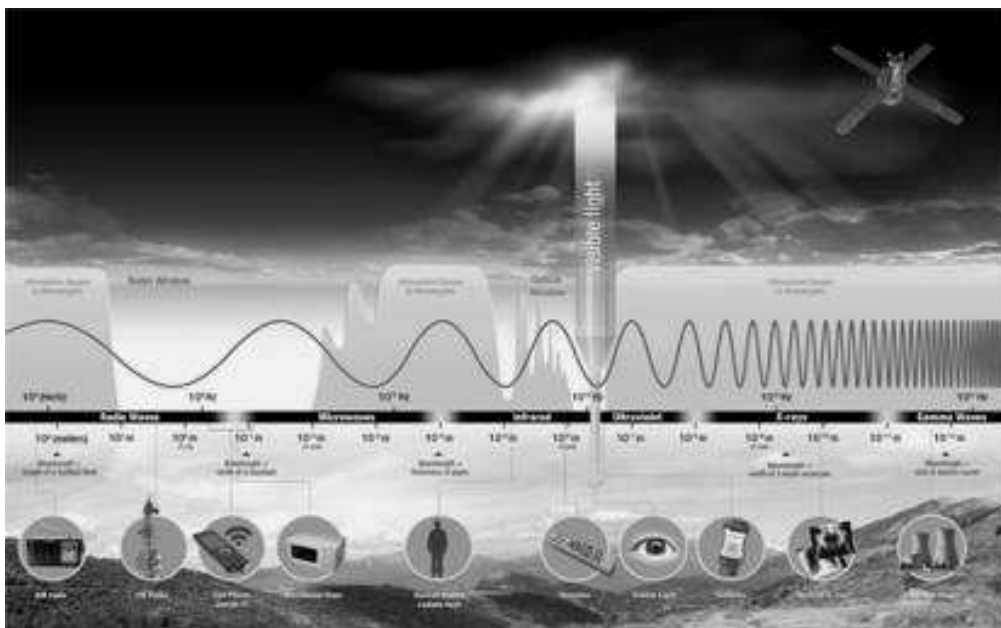
*Investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias  
(IAC)*

*Los telescopios mayores y más avanzados son instalados en lugares especialmente seleccionados por su calidad, y los dos observatorios de Canarias comparten con Mauna Kea en Hawaii (4200 m s.n.m.) y Desierto de Atacama en Chile (5000 m s.n.m.) las condiciones idóneas para observar el cielo, a pesar de su menor altitud (2400 m s.n.m.). Las singulares condiciones específicas de latitud, orografía y clima de Canarias hacen que nuestros observatorios exhiban una calidad comparable. La inversión térmica presente en las cumbres de nuestras islas más altas (Tenerife y La Palma), junto con la presencia de los vientos alisios propicia unas características extraordinarias para las observaciones astronómicas.*

*Desde el siglo XVIII hay evidencias publicadas de la calidad de los cielos de Canarias y las primeras observaciones astronómicas de carácter profesional se deben a Charles Piazzi Smyth en el siglo XIX, seguidas por las de Jean Mascart a principios de siglo XX (Varela, 1997). Alrededor de la década de los 60 del pasado siglo se establece el germen que conduciría a la creación tanto de los observatorios del Teide (Tenerife) y en la década de los 70 el del Roque de los Muchachos (Garafía, La Palma), como del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), oficialmente inaugurados en 1985, resultado de un valioso acuerdo de cooperación internacional. Estas colaboraciones han supuesto un inestimable beneficio que ha permitido el despegue y la consolidación de la Astrofísica española a nivel mundial.*

## El efecto de la atmósfera en las observaciones astronómicas

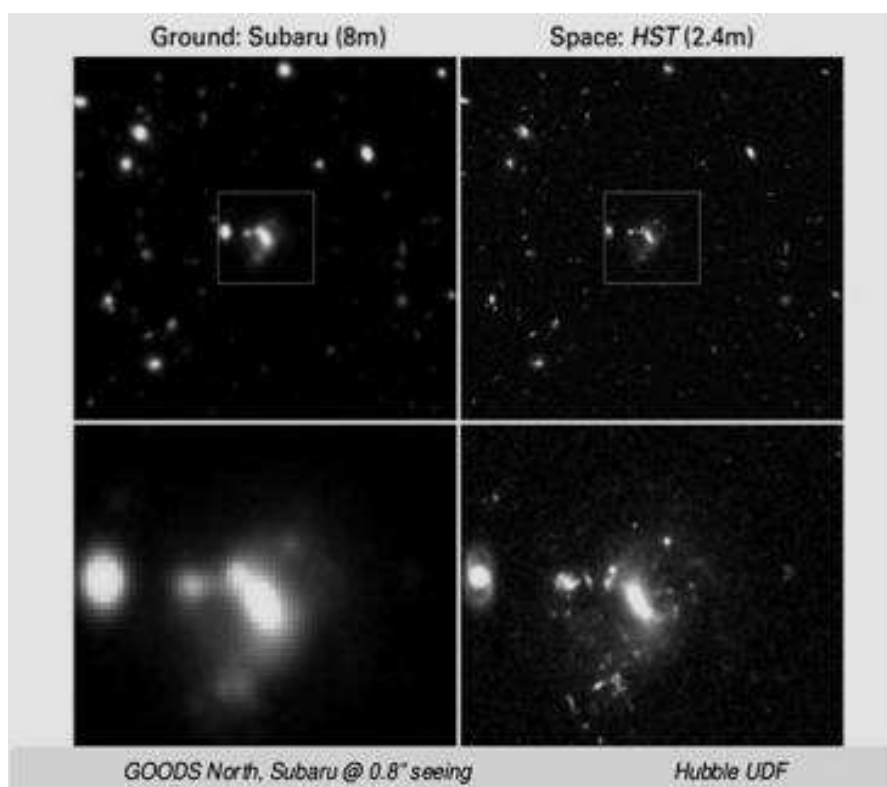
La atmósfera que envuelve nuestro planeta produce un fenómeno conocido como “extinción”, consistente en la absorción y dispersión de los fotones (partículas de luz) procedentes del exterior al interactuar con las partículas que constituyen la atmósfera. Esto da lugar a una atenuación de la intensidad de radiación emitida por los diversos objetos y fenómenos astronómicos, que se manifiesta en todas las longitudes de onda, aunque con diferente intensidad. Este efecto está representado en la figura 1, donde se ve la absorción relativa de la atmósfera en función de la longitud de onda de la radiación incidente, para todo el espectro electromagnético, desde el rango de ondas de radio hasta el rango de rayos gamma. Puede verse con claridad que hay dos regiones donde la atmósfera transmite prácticamente toda la radiación: el rango visible, y el rango de ondas de radio. Es por ello que estas dos zonas del espectro han sido tradicionalmente denominadas las ventanas visible y de radio, respectivamente, dado que en estas longitudes de onda es posible realizar observaciones astronómicas desde Tierra. Nótese que también hay algunas pequeñas bandas en la zona infrarroja del espectro donde la atmósfera es relativamente transparente. Sin embargo, en el resto de longitudes de onda (principalmente en el rango ultravioleta, en rayos X y en rayos gamma) la atmósfera es prácticamente opaca, esto es, bloquea la mayor parte de los fotones que recibe. Es por ello que para realizar observaciones en estas regiones del espectro es necesario desarrollar telescopios a bordo de satélites espaciales.



**Fig. 1.** Absorción atmosférica en función de la longitud de onda de la radiación incidente. Crédito: NASA.

Además de los fenómenos de extinción y absorción, la turbulencia atmosférica afecta de manera notable las observaciones astronómicas. La turbulencia es un fenómeno físico que está asociado a flujos que presentan una alta convección y rápidos cambios (tanto en el espacio como en el tiempo) de la presión y la temperatura del fluido. Lo que ocurre es que las trayectorias de los fotones son distorsionadas (como consecuencia de cambios espaciales en el índice de refracción) al atravesar un flujo turbulento atmosférico, dando como resultado un emborronamiento y disminución de nitidez y calidad de la imagen astronómica tomada.

El efecto se aprecia de manera clara en la figura 2, donde se comparan imágenes tomadas sobre una misma región de cielo (conocida como campo GOODS Norte) con un telescopio en Tierra y con un telescopio espacial. Hay detalles que se pueden visualizar con claridad desde el espacio, a pesar del menor tamaño del telescopio, pero no desde Tierra.



**Fig. 2.** Imagen de una región del cielo (conocida como campo GOODS Norte) observada con el telescopio Subaru (telescopio japonés, de 8 m de diámetro situado en Mauna Kea, Hawaii), y con el telescopio espacial Hubble (HST, con un espejo de 2,4 m de diámetro). Crédito: NASA, Mauro Giavalisco, Lexi Moustakas, Peter Capak, Len Cowie y el equipo GOODS.

Por estos motivos, para observar el cielo en la ventana visible, en la ventana de radio, o en las bandas en el infrarrojo donde la opacidad atmosférica no es muy alta, es necesario acceder a los lugares más altos

posibles, con el fin de minimizar la trayectoria total de los fotones a través de la atmósfera, y así reducir en lo posible los efectos anteriores.

Obviamente, no sólo la altura es importante por el contenido de vapor de agua sino también elegir sitios con poca turbulencia atmosférica, es decir, donde el flujo de aire sea predominantemente laminar. Un flujo laminar es lo contrario a un flujo turbulento, es decir, que presenta suaves variaciones de temperatura y presión. El fluido se mueve en capas laminares, paralelas, sin entremezclarse, de forma ordenada y estratificada. Es algo que suele también producirse en las capas más altas de la atmósfera, en lugares alejados de accidentes geográficos que obstaculicen el flujo del viento dando lugar a una transformación de flujo laminar en flujo turbulento. El efecto de la turbulencia emborronando las imágenes astronómicas es lo que se conoce como nitidez o *seeing*.

De esto ya se dio cuenta Sir Isaac Newton en 1704, cuando en su libro *Opticks* afirmó "... telescopes must be installed where the atmosphere is calm and quiet, rather than at sea level..." (los telescopios deben ser instalados donde la atmósfera sea tranquila y suave, en lugar de a nivel del mar). Se reduce así también la cantidad total de vapor de agua en la atmósfera a lo largo de la línea de visión (lo conocido como "vapor de agua precipitable"), que es uno de los factores más importantes que contribuye a aumentar la opacidad, sobre todo en el rango de radio y en el infrarrojo. Pero el contenido de vapor de agua precipitable no depende solo de la altitud sino de la temperatura, y ello hace que los perfiles de transmisión atmosférica en infrarrojo para Hawaii puedan ser similares a los obtenidos en lugares más cálidos aunque más bajos como en los Observatorios de Canarias (OOC) (Hammersley *et al.*, 2018; García-Lorenzo *et al.*, 2010).

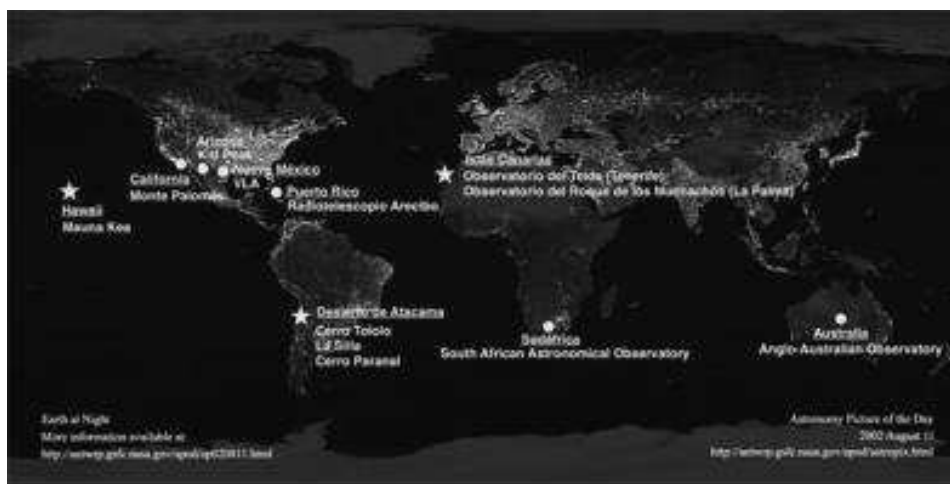
En la actualidad, para corregir los defectos introducidos por la atmósfera se pueden utilizar modernas técnicas de óptica adaptativa (técnicas consistentes en contrarrestar o corregir en tiempo real los efectos de la atmósfera terrestre en las imágenes astronómicas), gracias a las cuales es posible conseguir mejor resolución espacial con grandes telescopios terrestres que la obtenida con los actuales espaciales. Un ejemplo será el telescopio de 30 m (*Thirty Meter Telescope*, TMT), que utilizará un sistema de óptica adaptativa que le permitirá superar la calidad de las imágenes tomadas por el telescopio espacial HST (ver detalles en [www.tmt.org](http://www.tmt.org)). Ambas técnicas seguirán siendo complementarias en las próximas décadas.

Además de los anteriores hay que tener en cuenta otros factores como: la contaminación lumínica (principalmente en el caso de observaciones en el óptico), la radiointerferencia (en el caso de observaciones de radio; producida por comunicaciones de satélite, televisión, telefonía móvil, etcétera), las condiciones del clima (evitar lugares con mucho viento, mucha lluvia, nieve, o alta frecuencia de aparición de nubes), también se tiene en cuenta la presencia de polvo mineral o cenizas volcánicas, la

incidencia de terremotos (que puedan dañar la instrumentación instalada) y la latitud geográfica (el cielo que se ve desde el hemisferio sur y desde el norte son diferentes).

Precisamente el IAC fue pionero en la creación de una ley, la Ley del Cielo 31/1998, para la protección de la contaminación lumínica, radioeléctrica, atmosférica y de rutas áreas en un ámbito extenso en torno a los OOC. Actualmente otras comunidades españolas y otros territorios internacionales, están contemplando la contaminación lumínica como un elemento importante a integrar en las normativas de protección medioambiental y de biodiversidad. En 1992 se crea en el IAC la Oficina Técnica de Protección del Cielo (OTPC) para velar por esta Ley y realizar informes técnicos de alumbrado (ver [www.iac.es/otpc](http://www.iac.es/otpc)).

Por todos los motivos mencionados anteriormente los mejores, mayores y más avanzados telescopios han sido siempre instalados en lugares especialmente seleccionados sobre el globo terráqueo. La figura 3 muestra las localizaciones de los mejores observatorios del Mundo. Los tres lugares que presentan unas mejores condiciones para observar el cielo son Mauna Kea en Hawaii, el Desierto de Atacama en Chile y los dos observatorios en las islas Canarias. Como veremos en el siguiente apartado, las condiciones específicas de latitud, orografía y clima de Canarias hacen que nuestros observatorios, a pesar de su menor altura sobre el nivel del mar (2400 m) en comparación con Mauna Kea (4200 m) o Atacama (5000 m), tengan una calidad comparable.



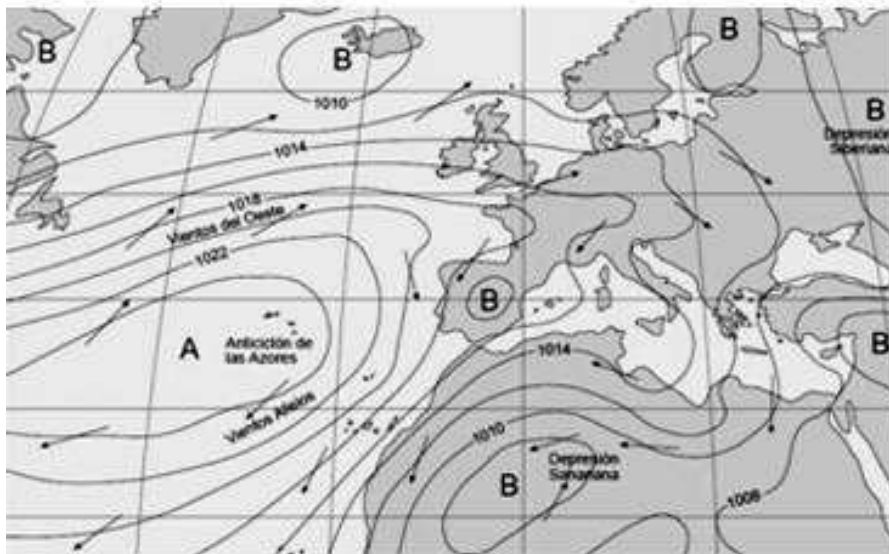
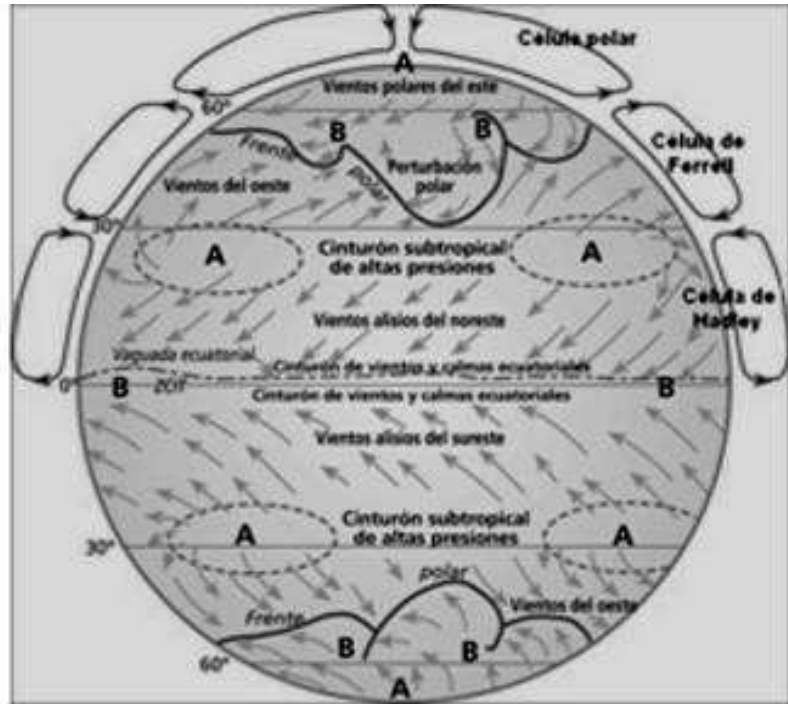
**Fig. 3.** Localización de los mejores observatorios en el Mundo. Las estrellas indican los tres mejores observatorios con las mejores condiciones para observaciones astronómicas (Mauna Kea en Hawaii, el Desierto de Atacama en Chile, y las Islas Canarias). En los tres se han instalado las mejores instalaciones telescópicas que existen en la actualidad, con la instrumentación más avanzada. Los puntos indican algunos otros observatorios. Crédito: NASA, *Astronomy Picture of the Day* (la imagen de fondo corresponde a la que fue seleccionada como *Astronomy Picture of the Day* el 11 de agosto de 2002, y muestra el nivel de iluminación nocturna en la Tierra).

En las últimas décadas se han implementado numerosos parámetros y técnicas en la lista de factores que determinan la calidad astronómica de un lugar (ver web del Grupo de Calidad de Cielo del IAC [www.iac.es/site-testing](http://www.iac.es/site-testing) y referencias incluidas), muchos de ellos relacionados con la alta resolución espacial y técnicas de óptica adaptativa (que mejoran la calidad de imagen en tiempo real con diseños ópticos). No solo es importante conocer la cantidad de turbulencia sino cómo se distribuye en altura, cuánto de estable es, etc. O el contenido de sodio mesosférico porque con él pueden generarse estrellas láser artificiales, indispensables en los futuros gigatelescopios. También son importantes los modelos de predicción de la meteorología, del vapor de agua y de la nitidez atmosférica o *seeing*. A todo ello se suman aspectos logísticos, culturales, sociales y económicos.

### **Condiciones específicas de la atmósfera y del cielo de Canarias**

En Canarias, las condiciones de la atmósfera, y en general, el clima, están dominados por una combinación de los siguientes factores: su latitud subtropical próxima al Trópico de Cáncer (alrededor de los 28 grados norte), la orografía del terreno, la presencia del anticiclón de las Azores, y la corriente oceánica de El Golfo.

En la figura 4 se muestra la configuración típica de flujos de viento a escala mundial. En el hemisferio norte entre el Trópico de Cáncer y el Ecuador, la circulación del viento a nivel de superficie se produce típicamente de norte a sur. En el hemisferio sur se da la situación inversa y la circulación entre el Trópico de Capricornio y el Ecuador es predominantemente de sur a norte. Esto da como resultado un encuentro de masas de aire húmedo en el Ecuador provenientes de sentidos opuestos. Debido a alta radiación solar en el Ecuador, estas masas de aire se calientan, disminuyen su densidad, y como consecuencia se produce un flujo de aire vertical que desplaza masas de aire a capas altas de la atmósfera. Esto da como resultado una disminución de la presión a nivel de superficie, y por ello en el Ecuador se encuentran normalmente zonas de bajas presiones. Estas masas de aire procedentes de la superficie se desplazan en capas altas desde el Ecuador hacia los polos, dando lugar a un progresivo enfriamiento y aumento de su densidad. Como resultado se produce un descenso a la superficie, a una latitud de  $\approx 30^\circ$ . Posteriormente se produce un desplazamiento hacia el Ecuador a nivel de superficie (los llamados “vientos alisios”), reemplazando en el Ecuador las masas de aire que previamente se habían elevado a capas altas tras su calentamiento, y cerrándose así la denominada “célula de Hadley”. El factor importante aquí



**Fig. 4.** Circulación del viento a escala global (arriba). Mapa en el que se muestra la configuración típica de altas y bajas presiones en el Atlántico norte, y la localización del anticiclón de las Azores, que da lugar a los vientos alisios que inciden en las islas Canarias provenientes del Noreste (abajo). Créditos: <http://cambioclimaticoenergia.blogspot.com/2011/12/la-circulacion-de-walker.html> (arriba) AEMET (abajo).

es que Canarias se encuentra precisamente en una latitud ( $\approx 28^\circ$ ) similar a la de la interfaz entre las células de Hadley y de Ferrel ( $\approx 30^\circ$ ). En estas latitudes ocurre que el aire que desciende de las capas superiores de la atmósfera es comprimido, aumenta su presión y se calienta. Eventualmente

puede alcanzar una temperatura superior a la del aire situado por debajo, dando lugar a lo llamado “capa de inversión térmica por subsidencia”. Mientras que en una atmósfera normal el gradiente térmico es de unos -6,5 grados por kilómetro de ascenso, en esta región la temperatura aumenta. Aunque su altura y grosor varían ligeramente a lo largo del año, en Canarias esta capa de inversión ocurre normalmente a una altura de entre 1400 y 1800 m sobre el nivel del mar, aunque en verano normalmente desciende hasta alturas de 1000 – 1200 m (Font-Tullot, 1956; Luque *et al.*, 2014). Su grosor normalmente está comprendido entre 200 y 500 m. Esta altura media de la capa de inversión está bastante por debajo de la altura de los OOC, ubicados a 2400 m sobre el nivel del mar.

En Canarias este efecto de inversión térmica se combina con la incidencia frecuente de los vientos alisios procedentes del noreste, provenientes del anticiclón de las Azores, como se muestra en la figura 4. Como consecuencia de la fuerza de Coriolis inducida por la rotación terrestre el viento fluye circularmente en sentido horario alrededor de las zonas de altas presiones (anticiclones) en el hemisferio norte, como se muestra en la Figura 4 (sentido antihorario en el hemisferio sur). Como consecuencia de haberse desplazado sobre la superficie del mar, se trata de vientos con un alto nivel de humedad. Cuando interfieren con la cara norte de las islas de mayor relieve ascienden y, justo debajo del nivel donde se produce la capa de inversión térmica, la temperatura suele aproximarse a la temperatura de rocío, con lo que se produce la condensación del vapor de agua contenido en la masa de aire ascendente, formándose una nube. Esto se muestra de manera esquemática en la figura 5. Como la capa de inversión térmica suele tener una altura bien definida y constante espacialmente, esto da lugar a la formación de una extensa capa de nubes a un nivel constante, como se aprecia en las figuras 6 y 7. Esta capa, conocida normalmente como “mar de nubes”, se sitúa normalmente a una altura entre los 1200 y 1600 m, aunque en verano, entre julio y agosto, suele bajar hasta los 800 ó 1000 m.

Este fenómeno determina de manera muy marcada el clima de Canarias: las caras norte de las islas de mayor relieve son húmedas mientras que sus caras sur son secas y con escasa vegetación, mientras que las islas de Lanzarote y Fuerteventura (las más antiguas y erosionadas) no tienen altura suficiente como para que llegue a producirse la condensación y por ello son muy secas y áridas en toda su superficie. Y es precisamente este mismo fenómeno de la inversión térmica junto con la presencia de los vientos alisios el que le confiere a las cumbres de nuestras islas unas características extraordinarias para las observaciones astronómicas. Ocurre que el aire por encima de la capa de inversión térmica es particularmente seco, lo cual es una característica muy importante, en particular para las observaciones en los rangos de radio e infrarrojo, como comentamos en el





**Fig. 5.** Esquema de la formación del “mar de nubes” debido a la combinación de la incidencia de los vientos alisios del Norte y de la presencia de la capa de inversión térmica. Crédito: <http://www.supranubius.es/2014/09/el-mar-de-nubes-i.html>.



**Fig. 6.** Fotografía donde se aprecia con claridad el extenso “mar de nubes” en la cara norte de la isla de Tenerife, que se forma justo debajo de la capa de inversión térmica durante los días de incidencia de los vientos alisios procedentes del Noreste. Crédito: <https://www.traveler.es/>

apartado anterior. Mientras que por debajo de la capa de inversión térmica circulan los vientos alisios inferiores del noreste, por encima normalmente se producen vientos alisios superiores que provienen típicamente del noroeste, siendo éstos secos y calientes.

Un aspecto importante es que la presencia de estas capas de inversión hace que no se produzcan flujos convectivos en dirección vertical, y se da una clara separación entre los vientos alisios inferiores que son normalmente turbulentos, y los vientos alisios superiores, que fluyen siempre en dirección horizontal, de manera ordenada y con un flujo laminar (no turbulento). Como se vio anteriormente, la ausencia de turbulencia es un aspecto de gran importancia para poder realizar observaciones astronómicas de calidad.

El IAC ha sido consciente de la importancia de caracterizar y proteger la calidad de sus cielos, es por ello que crea a principios de los años 90, bajo una acción promovida por Francisco Sánchez y el Comité Científico Internacional (CCI) de los OOC, un Grupo de Calidad del Cielo ([www.iac.es/site-testing](http://www.iac.es/site-testing)), cuya misión es la determinación de los parámetros para la caracterización de los mismos, el diseño de técnicas e instrumentos para medirlos y la difusión de resultados. Esto ha permitido posicionarlos entre los mejores del mundo, atrayendo a los más modernos y potentes instrumentos y telescopios.



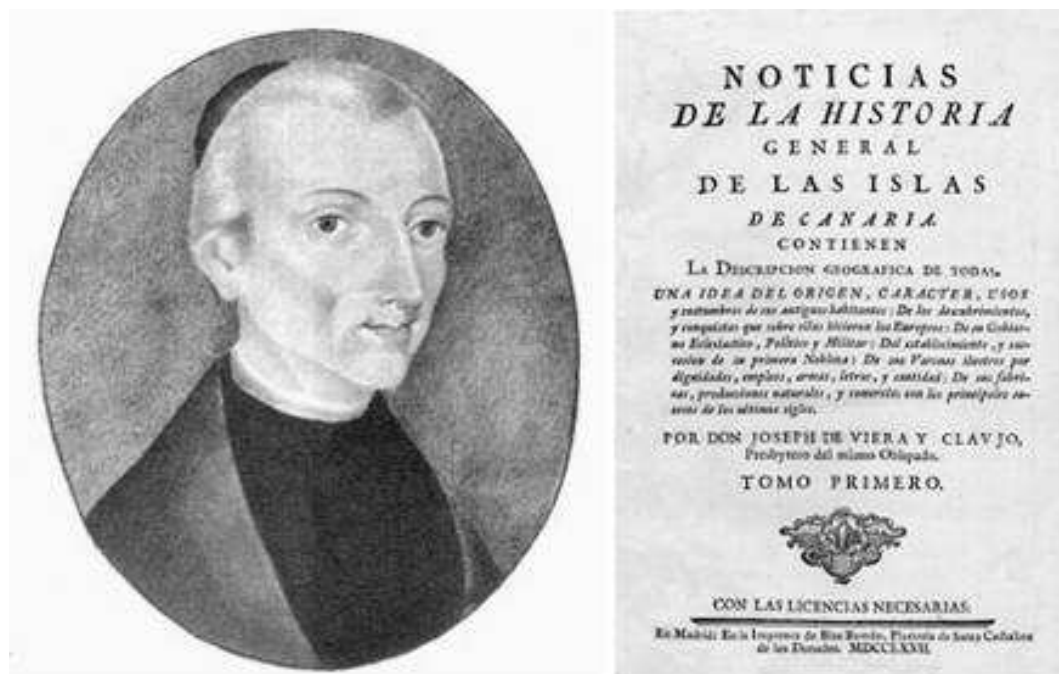
**Fig. 7.** Fotografía espacial, donde se aprecia la formación del característico “mar de nubes” al norte de las cinco islas Canarias más occidentales. Crédito: NASA.

## Los orígenes de la astronomía en Canarias

Las primeras referencias conocidas a la exquisita calidad de los cielos de Canarias para las observaciones astronómicas datan del siglo XVIII. Gilbert-Charles Le Gendre, un general y diplomático francés, marqués de Saint-Ubin (1688-1746) afirmaba en 1733, refiriéndose al Teide: “*Si yo pudiese establecer algunos astrónomos en un observatorio, plantado sobre la cumbre de este monte, tal vez todas las distancias de los planetas y de las estrellas fijas, todas las magnitudes de los globos, toda la forma del universo y la colocación entera de los cielos recibirían una mutación portentosa, por medio de las nuevas observaciones*”. George Glas, un marino y comerciante de origen escocés del siglo XVIII (1725-1765), que visitó varias veces Canarias, estando al mando de un barco mercante que cubría una ruta comercial entre Brasil, África Occidental y Canarias, en su libro *Descripción de las Islas Canarias* (1764) sugirió explícitamente la idea de instalar un observatorio astronómico en el Teide: “*No hay lugar en el mundo más apropiado para un observatorio que la Estancia; si se construyera allí una casa caliente y cómoda, o para instalar astrónomos cuando dura el buen tiempo, o sea todo julio, agosto y septiembre, podrían hacer sus observaciones, tomar nota acerca del viento y del tiempo por encima de las nubes, y observar su naturaleza y propiedades*”, donde *La Estancia* es la zona donde actualmente se encuentra el refugio de Altavista. Poco después, en 1776, José de Viera y Clavijo, erudito e ilustrado canario del siglo XVIII, en su obra *Noticias de la historia general de las Islas de Canarias* (Fig. 8) afirma que “*el destino del Teide ha sido el de ser considerado como el sitio del mundo más a propósito para las observaciones del cielo y de la atmósfera*”.

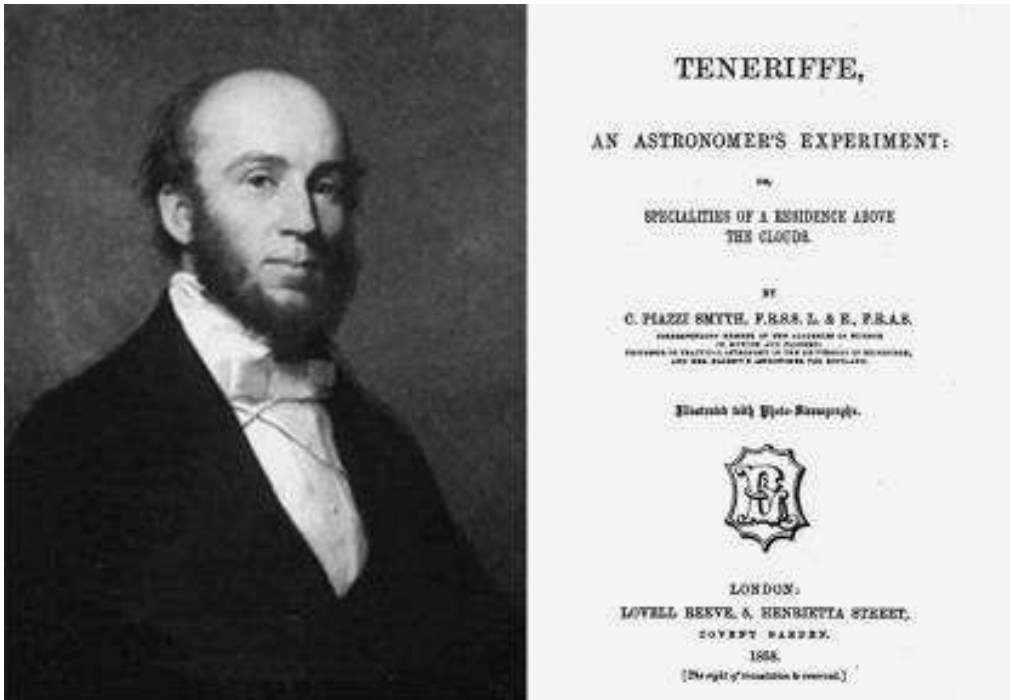
Las primeras observaciones astronómicas de carácter profesional en Canarias tuvieron lugar en el siglo XIX y se deben a Charles Piazzi Smyth (1813-1900), astrónomo escocés, que ocupó el puesto de astrónomo real de Escocia, además de ser Profesor de Astronomía en la Universidad de Edimburgo (Fig. 9). Contó con el apoyo de las autoridades británicas para organizar una expedición a Tenerife, en particular de George Biddell Airy, renombrado matemático y astrónomo que en la época era el astrónomo real británico, y de Robert Stephenson, un afamado ingeniero de ferrocarriles que puso a su disposición su barco, el *Titania*, para que pudiera realizar el viaje. Smyth realizó su visita a Tenerife en 1856, justo después de contraer matrimonio, en lo que se suponía que debía ser su viaje de luna de miel. Partieron de Southampton el 24 de junio, llegando a Santa Cruz el 8 de julio. Después de haber sido recibido por diversas autoridades locales se desplazan al Puerto de La Cruz. Sin más dilación, el 14 de julio empiezan su ascenso a las Cañadas del Teide, siempre acompañado por su esposa Jessie Duncan y llevando consigo su telescopio *Sheepshanks* [llamado así

en honor de su propietario inicial, el reverendo Richard Sheepshanks (1794-1855)], un refractor con un diámetro de 9 cm soportado por una montura ecuatorial.

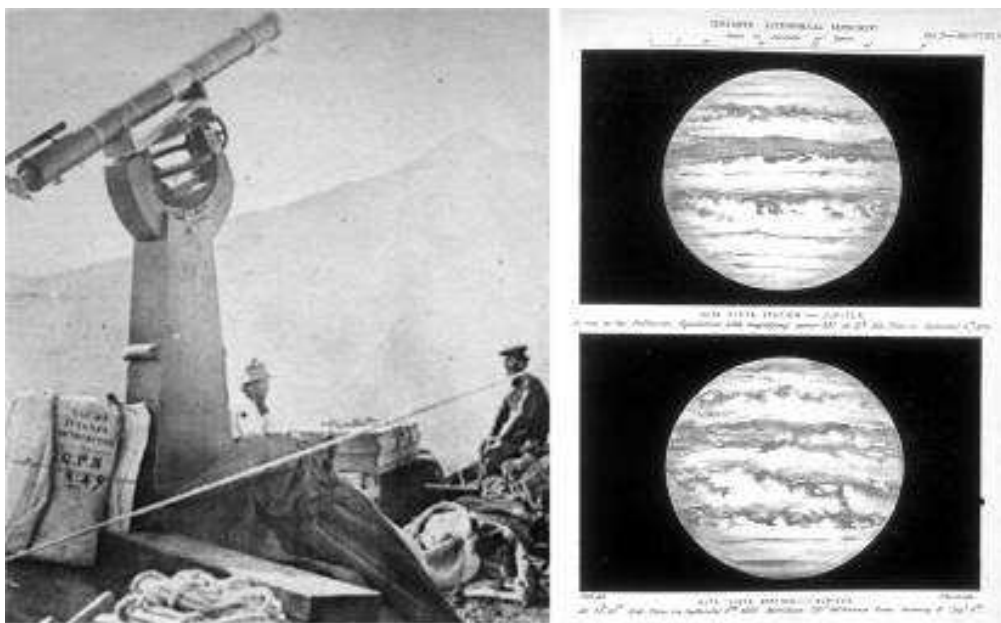


**Fig. 8.** Retrato de José de Viera y Clavijo (1731-1813), y portada del primer tomo de su famosa obra “Noticias de la historia general de las Islas de Canarias”, que fue publicada en tres tomos entre 1772 y 1776.

Se instalaron primero en lo alto de la montaña de Guajara (2715 m s.n.m.; véase la figura 10), y posteriormente en la zona del Teide que ahora ocupa el refugio de Altavista (3264 m s.n.m.). Entre los dos sitios permanecieron un total de 65 días. Durante este tiempo Smyth y sus colaboradores llevaron a cabo un gran número de observaciones, incluyendo las primeras observaciones de la Luna en el infrarrojo, observaciones de planetas (véanse las imágenes de Júpiter en la Figura 10), de estrellas dobles, de la luz zodiacal, luz solar ultravioleta y medidas meteorológicas. Smyth enseguida quedó absorto por las excelentes cualidades atmosféricas que le brindaba el lugar, y por la calidad de las imágenes que tomaba. Tras su regreso a Gran Bretaña, Smyth presentó sus resultados ante al Gobierno Británico y ante a la Royal Society, y también en el libro *Teneriffe, an astronomer's experiment*, que publicó en 1858. En este libro dice textualmente: “... cuando la noche cae y nuestra última visión del Pico permanece aún alta en el cielo, nos preguntamos por cuánto tiempo el mundo ilustrado retrasará la instalación allí de una estación que tanto promete para el mejor avance de la más sublime de las Ciencias...”.



**Fig. 9.** Retrato de Charles Piazzi Smyth (1813-1900), renombrado astrónomo de origen escocés, y uno de los pioneros en la instalación de telescopios en lugares situados en altura. Realizó una expedición a Tenerife en 1856, durante la cual comprobó las excepcionales cualidades de las cumbres de esta isla para las observaciones astronómicas. Los resultados y conclusiones de sus observaciones las publicó en el libro cuya portada se muestra a la derecha.



**Fig. 10.** Telescopio Sheepshanks, instalado en lo alto de la montaña de Guajara (izquierda). Imágenes de Júpiter, tomadas el 4 y 5 de septiembre de 1856 (derecha). Crédito: *Teneriffe, an astronomer's experiment*. Charles Piazzi Smyth. Londres, 1858.

En honor a la expedición de P. Smyth los Montes Tenerife y el Monte Pico (refiriéndose al Teide) son nombres de montañas lunares, cerca del cráter Plato (Varela, 1997).

La siguiente expedición de carácter astronómico a Tenerife ocurrió al principio del siglo XX, en 1910, y en ella participó astrónomo y meteorólogo francés Jean Mascart (1872-1935), afiliado al Observatorio de París. La expedición estaba organizada por el médico y biólogo alemán Gotthold Th. Pannwitz, y tenía un programa científico muy amplio que, además de observaciones astronómicas, incluía la realización de experimentos de fisiología en la zona del Teide, como por ejemplo el estudio de la influencia de algunos factores climáticos sobre distintos órganos humanos. Esta expedición fue auspiciada por la Asociación Internacional contra la Tuberculosis. Mascart se instaló en lo alto de la montaña de Guajara, aprovechando los muros erigidos 50 años antes por Piazzzi Smyth (Fig. 11). Uno de sus objetivos principales era realizar observaciones del cometa Halley, que tenía su paso previsto para los días 18 y 19 de mayo de 1910 (véase la imagen que tomó en la Figura 11), además de estudiar las condiciones climáticas del Teide para observaciones astronómicas y meteorológicas. Sus resultados, publicados en 1910 en el libro *“Impressions et observations dans un voyage à Ténérife”*, corroboraban la excelente calidad de la atmósfera de Tenerife. Mascart llegó a proponer la creación de un observatorio internacional en la montaña de Guajara. De esta forma, Smyth y Mascart deben ser considerados entre los científicos más relevantes de los inicios de la astronomía en Canarias en cuanto a que fueron los principales valedores de la isla de Tenerife como punto estratégico para la observación del cosmos. También hubo otras expediciones como la de los astrónomos de Postdam, de cuyas observaciones del cometa Halley se dice que el famoso físico, astrónomo y



**Fig. 11.** Jean Mascart con su telescopio en lo alto de la montaña de Guajara (izquierda). Imagen del cometa Halley (derecha). Crédito: *Impressions et observations dans un voyage à Ténérife*, 1910, Ed. Flammarion, París.

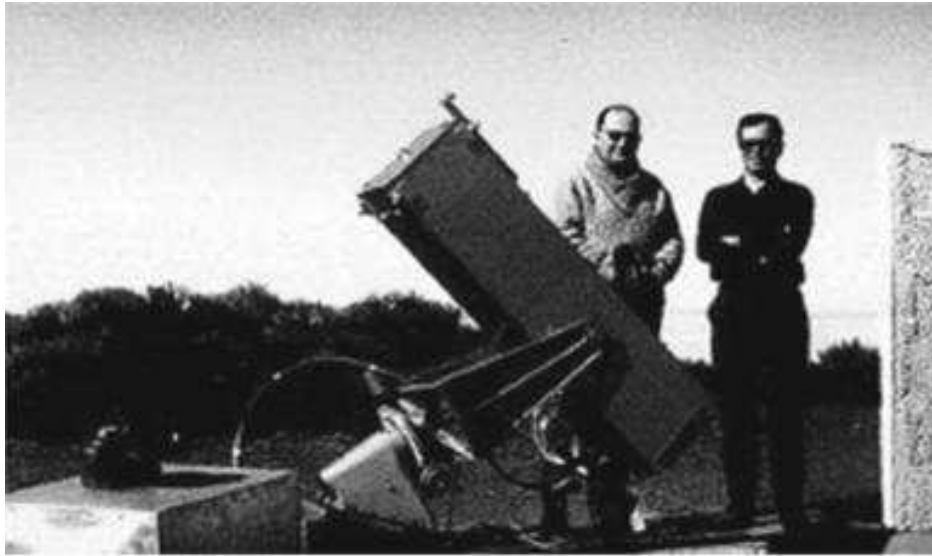
matemático alemán Schwarzschild dedujo el decrecimiento en intensidad de la cola del cometa.

Recientemente ha sido publicada por investigadores del IAC (Vázquez-Abeledo & Sánchez Almeida, 2018), la historia de un astrónomo canario, Juan de Valderrama y Aguilar, completamente desconocido en la historia oficial que conocemos, y que también hizo aportaciones científicas importantes a partir de observaciones astronómicas obtenidas en Santa Cruz de Tenerife.

Tras estas expediciones iniciales de Smyth y Mascart, el germen de la creación posterior de los observatorios del Teide (Tenerife) y del Roque de los Muchachos (La Palma), y del Instituto de Astrofísica de Canarias, se sitúa en la década de los 60 del siglo XX. En este proceso jugaron un papel fundamental el Profesor José María Torroja (Universidad Complutense de Madrid), el Dr. Antonio Romañá (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) y el Profesor Alberto Navarro (Universidad de La Laguna), tres de los principales impulsores de la creación de un observatorio astrofísico en Tenerife. En 1960 contratan a Francisco Sánchez (justo después de terminar su licenciatura en Física en la Universidad Complutense de Madrid) con el objetivo de realizar un exhaustivo estudio de las condiciones astronómicas en la zona de Izaña. El Prof. Sánchez basó su estudio en una serie de datos tomados entre 1944 y 1966 en el Observatorio Atmosférico de Izaña, y publicó sus conclusiones en diferentes artículos entre 1967 y 1970, que una vez más confirmaron las excelentes cualidades de la zona. Para más detalles consultar “*Francisco Sánchez Almeida. La Facultad de las Estrellas*”, una biografía del Prof. Sánchez recientemente publicada (Navarro, 2018).

Desde principios de los 60 el Prof. Sánchez se dedicó de manera activa a dar a conocer a los astrofísicos europeos las bondades de los cielos de Canarias. Esta labor dio sus frutos con la instalación en Izaña del “telescopio Burdeos” (Fig. 12) en 1964, el primer telescopio profesional que fue instalado en Canarias de forma permanente. Construido en el Observatorio de Burdeos, este telescopio tenía como objetivo el estudio de la luz zodiacal (luz dispersada por la materia interplanetaria en el Sistema Solar), y para ello necesitaba una localización con unos estrictos requerimientos de latitud, altitud, pureza atmosférica y oscuridad del cielo. Los responsables del proyecto finalmente se decantaron por Tenerife, en lo que ayudó sin duda la mediación del Prof. Sánchez. Este telescopio realizó observaciones de forma regular entre 1964 y 1975, y logró resultados importantes sobre la caracterización de la luz zodiacal. Esto impulsó la creación del primer grupo de Astrofísica (“Alta Atmósfera y Medio Interplanetario”) en España, y la explotación científica de los datos de este telescopio dio lugar a las primeras publicaciones de artículos y comunicaciones a congresos sobre temas astrofísicos en nuestro país, así

como a la realización de las primeras tesis doctorales (la de R. Dumont en 1965 y la de F. Sánchez en 1969).



**Fig. 12.** El telescopio Burdeos, instalado en la montaña de Izaña. Crédito: <http://www.astro-digital.com/5/iac.html>

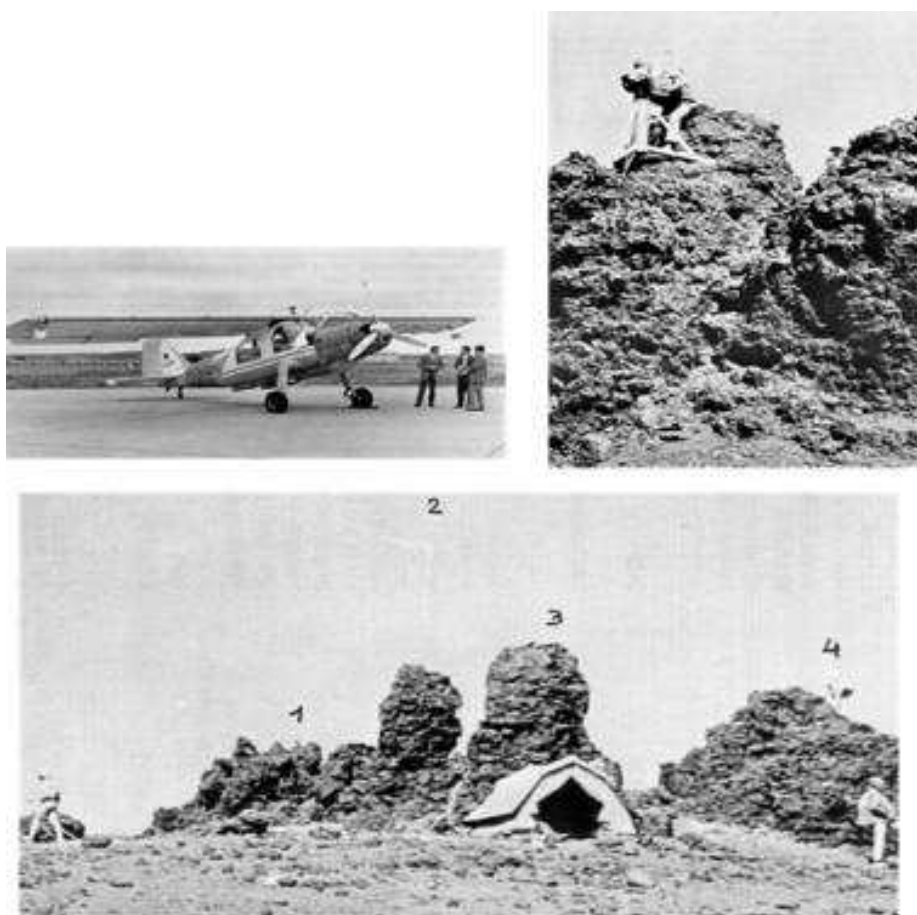
En la década de los 1970 crece el interés en la comunidad internacional por la posibilidad de realizar observaciones astrofísicas desde Canarias, y varios equipos de diversos países realizan campañas de prospección de la calidad del cielo. Es en esta época cuando se realizan por primera vez prospecciones y observaciones desde la isla de La Palma. En 1971 astrónomos solares del *Joint Organisation for Solar Observations* (JOSO) sobrevolaron el Roque de los Muchachos con una avioneta para medir la turbulencia atmosférica y las variaciones de temperatura (Fig. 13). El 2 de julio de 1972 se realizaron las primeras observaciones astronómicas (solares) desde el Roque de los Muchachos (por Göran Hosinsky, Lars Staveland y Hubertus Wöhl).

En 1972 entra en funcionamiento en el Observatorio del Teide un telescopio infrarrojo de 1,5 m de diámetro (en aquellos momentos el mayor telescopio infrarrojo del mundo), propiedad entonces del Imperial College de Londres y hoy cedido al IAC y conocido como “Telescopio Carlos Sánchez”, en honor al Profesor Carlos Sánchez Magro, cuya tesis doctoral, presentada en 1972, y realizada bajo la supervisión del Prof. Sánchez, fue la primera tesis sobre Astrofísica realizada en la Universidad de La Laguna. A fecha de hoy (agosto de 2018) han sido defendidas en La Universidad de La Laguna en total unas 320 tesis doctorales.

En el año 1973 se crea el Instituto Universitario de Astrofísica, del que pasa a depender el Observatorio del Teide. El nacimiento oficial del



Instituto de Astrofísica de Canarias hay que fecharlo en 1975, tras el acuerdo entre la Universidad de La Laguna, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y la Mancomunidad Interinsular de Cabildos de la provincia de Santa Cruz de Tenerife. En él queda integrado el Instituto Universitario de Astrofísica. El inicio de la internacionalización de los observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos hay que datarla en 1979, tras la firma de España con Dinamarca, Suecia y el Reino Unido, del “Acuerdo y Protocolo de Cooperación en Astrofísica” suscrito por ocho países y posteriormente se firmaron acuerdos similares con Alemania (1983), Finlandia (1986), Noruega (1986) y Francia (1988). Estos acuerdos se gestionan a través del Comité Científico Internacional (CCI). En medio, en 1985, tiene lugar la inauguración oficial del Instituto de Astrofísica de Canarias y de los observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos, contando este acto con la presencia de monarcas y miembros de familias



**Fig. 13.** Distintos instrumentos instalados en el Roque de los Muchachos, a principios de los 1970 para medir las propiedades del cielo, y avioneta utilizada por el equipo de JOSO (*Joint Organisation for Solar Observations*) con el objetivo de sobrevolar el Roque para medir la turbulencia atmosférica y las variaciones de temperatura. Los puntos 1 al 4 sobre la figura inferior indican la ubicación de diferentes instrumentos y sensores meteorológicos. Crédito: Javier Méndez (ING), <http://www.ing.iac.es/PR/tour/beginnings.html>

reales de cinco países (España, Dinamarca, Reino Unido, Países Bajos y Suecia) y de jefes de estado de otros dos países (Alemania e Irlanda) ([www.iac.es/acerca.php](http://www.iac.es/acerca.php)). Entre las instalaciones del IAC hay que destacar también la creación del Centro Astrofísico de La Palma (CALP) con oficinas y despachos para astrónomos y personal, así como talleres, laboratorios y almacenes.

Estos acuerdos firmados inicialmente con esta serie de países se encargaron de regular la colaboración entre España y otros países interesados en instalar su instrumentación astronómica en nuestros observatorios, y como aspecto fundamental establecieron que de manera general España cede sus observatorios con sus infraestructuras a cambio de obtener un determinado porcentaje del tiempo de observación en las instalaciones telescópicas de esos otros países. En la actualidad hay instrumentos de más de 75 instituciones de 25 países. Estos acuerdos han sentado las bases para otros posteriores, y de hecho en la actualidad se siguen estableciendo acuerdos bajo las mismas directrices generales. España ha obtenido sin ninguna duda un gran beneficio de estas colaboraciones, que han permitido el despegue y la posterior consolidación de la Astrofísica española a nivel mundial.

### **El instituto de Astrofísica de Canarias y sus observatorios en la actualidad**

Todo el proceso descrito en el apartado anterior ha desembocado en la consolidación del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), junto con sus observatorios (el Observatorio del Teide, OT, y el Observatorio del Roque de los Muchachos, ORM), como uno de los centros de referencia a nivel mundial en investigación astrofísica, y en desarrollo de tecnología para llevar a cabo proyectos en esta área. En el IAC trabajan actualmente unas 400 personas, de las cuales aproximadamente 200 son investigadores (de plantilla, contratados postdoctorales y estudiantes de doctorado), unos 140 trabajan en el departamento de instrumentación haciendo desarrollo tecnológico para telescopios e instrumentos (la mayoría de ellos destinados a uno de nuestros dos observatorios, pero también para otros observatorios, o incluso para satélites espaciales), y unos 60 son personal de gestión, de divulgación, y de administración.

En paralelo, y de manera conjunta con el Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna, se ha consolidado un importante programa de doctorado que recibe anualmente estudiantes de todo el mundo que deciden venir a desarrollar sus estudios de doctorado aquí, bajo la supervisión de investigadores del IAC. Precisamente en julio de 2019 celebraremos en La Laguna un congreso conmemorativo de la primera tesis

de Astrofísica que se desarrolló en Canarias (la del Profesor Francisco Sánchez, en 1969). Desde entonces se han completado un total de ~320 tesis en el IAC, lo que supone un promedio de ~6 al año.

Se podría decir, sucintamente, que los objetivos del IAC por orden de prioridad son: i) realizar investigación en Astrofísica, ii) desarrollar instrumentación que lo haga posible, iii) formar y iv) divulgar. De manera más específica, los cometidos del IAC son: 1) desarrollar investigación de primer nivel en los campos más importantes de la Astrofísica, 2) consolidar las Islas Canarias como una “reserva astronómica” de relevancia internacional, 3) promover e incentivar la instalación de instrumentación astronómica de primer nivel en nuestros observatorios, 4) fomentar un ambiente estable que facilite las colaboraciones internacionales, 5) contribuir a que la sociedad perciba la importancia de la investigación científica y de una economía basada en el conocimiento, 6) fomentar la formación y el entrenamiento de investigadores y tecnólogos en sus primeras etapas de desarrollo profesional.

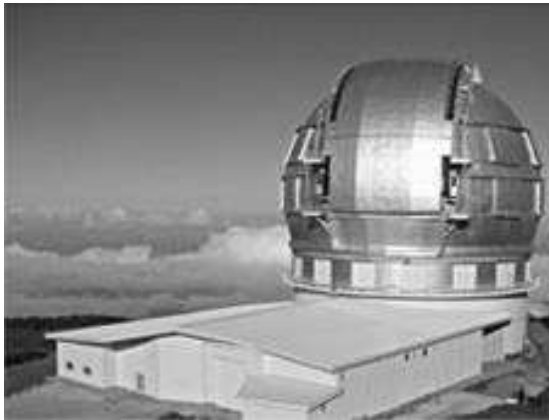
No cabe duda de que en todo lo anterior ha jugado un papel fundamental las excelentes condiciones que proporciona Canarias para la observación del cielo, siendo esto algo ampliamente reconocido por la comunidad internacional. Esto ha hecho que numerosas instituciones internacionales hayan apostado por Canarias para instalar sus instrumentos y telescopios, y lo sigan haciendo en la actualidad. En paralelo también España ha invertido en el desarrollo de instrumentación propia de primer nivel, siendo el ejemplo más claro el Gran Telescopio Canarias, inaugurado en el año 2009.

El IAC gestiona dos observatorios: el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM; en isla de La Palma) y el Observatorio del Teide (OT; en isla de Tenerife). Los dos observatorios cuentan con condiciones muy similares; de hecho se encuentran a la misma altura sobre el nivel del mar. Una diferencia importante entre ambos es debida al menor número de población de la isla de La Palma, lo que hace que la contaminación lumínica sea notablemente menor. Es por ello que los principales telescopios nocturnos se encuentran en el ORM. También hay algunos telescopios nocturnos en el OT, pero los más avanzados son telescopios solares y de radio (que no son afectados por la contaminación lumínica nocturna). En las figuras 14-34 pueden verse los principales telescopios instalados en la actualidad en estos dos observatorios.

Los principales telescopios en el Observatorio del Roque de los Muchachos ([www.iac.es/or](http://www.iac.es/or)m) son:

- **Gran Telescopio Canarias (GTC):** se trata de un telescopio de espejo segmentado (36 secciones individuales con forma hexagonal),

con un diámetro total de 10,4 m, lo que lo convierte en el mayor telescopio óptico-infrarrojo del mundo. Es de propiedad española prácticamente en su totalidad, con una participación del 90%, distribuyéndose la participación restante entre el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE, Mexico), con un 5%, y la Universidad de Florida (EEUU), con otro 5%. Incorpora la instrumentación más avanzada en el campo, como OSIRIS (una cámara y espectrógrafo en el rango óptico) y EMIR (un espectrógrafo infrarrojo), desarrollados ambos en España. Fue inaugurado en el año 2009 (Fig. 14).



**Fig. 14.** Gran Telescopio Canarias (GTC).

- **William Herschel Telescope (WHT):** telescopio de 4,2 m de diámetro, operativo en el ORM desde 1987, en su época estuvo entre los telescopios más grandes y avanzados del mundo, y en la actualidad sigue produciendo ciencia competitiva. Pertenece al consorcio llamado *Isaac Newton Group of Telescopes* (ING), del que forman parte institutos de investigación del Reino Unido y de Países Bajos, junto con el IAC (Fig. 15).



**Fig. 15.** William Herschel Telescope (WHT).

- **Isaac Newton Telescope (INT):** telescopio de 2,5 m de diámetro. Tuvo su primera luz en 1967 en Reino Unido y, para aprovechar las mejores condiciones de su cielo, fue trasladado al ORM en 1985. Actualmente utiliza la mayor parte del tiempo una cámara de gran campo (*Wide Field Camera*) como instrumento principal. También pertenece al ING (Fig. 16).



**Fig. 16.** Isaac Newton Telescope (INT).

- **Nordic Optical Telescope (NOT):** telescopio óptico/infrarrojo de 2,6 m de diámetro, perteneciente a un consorcio de países nórdicos (Dinamarca, Finlandia, Noruega, Suecia e Islandia). Fue inaugurado en 1989 (Fig. 17).



**Fig. 17.** Nordic Optical Telescope (NOT).

- **Telescopio Nazionale Galileo (TNG):** telescopio óptico/infrarrojo de 3,6 m de diámetro. Perteneciente al INAF (Istituto Nazionale de Astrofísica, de Italia). Actualmente tiene en funcionamiento cuatro instrumentos diferentes, cubriendo longitudes de onda en el óptico y en el infrarrojo. Fue inaugurado en 1996 (Fig. 18).



**Fig. 18.** Telescopio Nazionale Galileo (TNG).

- **Telescopio Liverpool:** telescopio completamente robótico, de 2 m de diámetro, inaugurado en 2003, y perteneciente a la Liverpool John Moores University (Fig. 19).



**Fig. 19.** Telescopio Liverpool.

- **Telescopio Mercator:** telescopio de 1,2 m de diámetro, inaugurado en 2001, y perteneciente a la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica) y al Observatorio de Ginebra (Suiza). Funciona de manera prácticamente robótica, y la mayor parte del tiempo es utilizado para observar fenómenos astrofísicos de carácter transitorio, como los estallidos de rayos gamma, estrellas variables, lentes gravitatorias o núcleos activos de galaxias (Fig. 20).

- **Torre Solar Sueca:** telescopio solar con un espejo de 1 m de diámetro. Fue en su momento el mayor telescopio solar de Europa, y el mejor del mundo en lo que respecta a resolución espacial. Perteneció al Instituto de Física Solar de la Real Academia de Ciencias Sueca y fue inaugurado en 2002 (Fig. 21).



**Fig. 20.** Telescopio Mercator.



**Fig. 21.** Torre Solar Sueca.

- **Telescopios MAGIC:** se trata de una pareja de telescopios de 17 m de diámetro, de un tipo muy particular pues están dedicados a observar la radiación en el rango de rayos gamma, a través de la radiación de tipo Cherenkov que se produce al interaccionar con la atmósfera terrestre. Pertenece a un consorcio de países europeos, y se encuentra operativo desde el año 2004 (Fig. 22).



**Fig. 22.** Telescopios MAGIC.

Por su parte, los principales telescopios actualmente operativos en el Observatorio del Teide ([www.iac.es/ot](http://www.iac.es/ot)) son:

- **Telescopio Carlos Sánchez (TCS):** telescopio infrarrojo de 1,52 m de diámetro. Fue construido en el Reino Unido, y operativo en ese país desde 1972. En el año 1982 fue transferido al IAC, y desde entonces ha realizado observaciones desde el OT. Su nombre está dedicado a la memoria del Profesor Carlos Sánchez Magro, fallecido en 1985 (Fig. 23).



**Fig. 23.** Telescopio Carlos Sánchez (TCS).

- **Telescopio IAC80:** telescopio de 82 cm de diámetro, íntegramente diseñado y construido en el IAC. Su construcción comenzó en 1980 y fue finalmente instalado en el OT en 1991. Actualmente sigue en funcionamiento, siendo utilizado para algunos proyectos científicos que no requieren telescopios de gran tamaño, y por lo general sí un gran número de horas de observación (Fig. 24).



**Fig. 24.** Telescopio IAC80.



- **Optical Ground Station (OGS):** telescopio de 1 m de diámetro, perteneciente a la Agencia Espacial Europea (ESA), y utilizado principalmente para comunicaciones con satélites. También se utiliza para proyectos relacionados con identificación de basura espacial (restos de satélites) y, en una tercera parte del tiempo de observación, para proyectos de carácter exclusivamente científico. Fue inaugurado en 1995 (Fig. 25).



**Fig. 25.** Optical Ground Station (OGS).

- **Telescopio Solar Gregor:** telescopio solar con 1,5 m de diámetro, perteneciente a un consorcio de institutos alemanes. Fue inaugurado en 2012 (Fig. 26).



**Fig. 26.** Telescopio Solar Gregor.

- **Torre de Vacío (VTT):** telescopio solar de 40 cm de diámetro, perteneciente al mismo consorcio alemán que el telescopio Gregor. Fue instalado en el OT en 1986 y posteriormente, en 1988, comenzó su operación científica (Fig. 27).



**Fig. 27.** Torre de Vacío (VTT).

- **Themis:** telescopio solar de 90 cm de diámetro, perteneciente a una colaboración entre el Consejo Nacional de Investigación francés y Instituto Nacional de Astrofísica italiano. En la actualidad se utiliza para hacer espectropolarimetría de alta precisión de la superficie solar y también para obtener imágenes monocromáticas de alta resolución espacial. Tuvo su primera luz en 1996, y en el año 1999 fue abierto a la comunidad internacional (Fig. 28).



**Fig. 28.** Themis.

- **Laboratorio Solar:** conjunto de seis instrumentos para observar y estudiar el Sol, pertenecientes al IAC. La mayoría de ellos operan de manera continua (durante el día), y alguno de ellos lo ha hecho durante más de 25 años. El primero de estos experimentos fue instalado en el OT en 1976 (Fig. 29).
- **Mons:** telescopio de 50 cm de diámetro, utilizado para divulgación y formación. Fue construido en 1972 por la Universidad de Mons (Bélgica), y posteriormente instalado en el IAC (Fig. 30).



**Fig. 29.** Laboratorio Solar.



**Fig. 30.** Mons.

- **Quijote:** telescopio de microondas, perteneciente a un consorcio liderado por el IAC. Está dedicado a un objetivo científico muy específico que es el estudio de la radiación del Fondo Cósmico de Microondas, generada justo tras el Big Bang. Comenzó a observar en 2012, y en la actualidad se están desarrollando nuevos instrumentos que mejoraran su rango de cobertura espectral (Fig. 31).



**Fig. 31.** Quijote.

- **Pirate y COAST:** son dos pequeños telescopios robóticos, pertenecientes a la Open University (Reino Unido), y utilizados principalmente para formación (los estudiantes de la mencionada universidad hacen prácticas con ellos) (Fig. 32).



**Fig. 32.** Pirate y COAST.

- **Stella:** pareja de telescopios robóticos de 1,2 m de diámetro, pertenecientes a la Universidad de Potsdam (Alemania). Está dedicado principalmente a observar estrellas frías (Fig. 33).



**Fig. 33.** Stella.

- **SONG:** pequeño telescopio, de 1 m de diámetro, inaugurado en 2006, y perteneciente a las universidades de Aarhus y Copenhague (Dinamarca). Pertenece a una red de telescopios localizados en varias partes del mundo, y dedicados a observar estrellas y sistemas planetarios alrededor de estrellas (Fig. 34).



**Fig. 34.** SONG.

Mientras que la lista anterior se refiere a telescopios actualmente operativos, en el IAC se sigue trabajando en el desarrollo de nueva instrumentación y telescopios, y también en tratar de atraer grandes proyectos internacionales, que aseguren el mantenimiento de España en la élite de la astrofísica mundial durante las próximas décadas. En particular se debería mencionar los grandes proyectos de próxima generación como el *Cherenkov Telescope Array* (actualmente en construcción en el ORM), el *Thirty Meter Telescope* (el consorcio que gestiona este proyecto ha elegido el ORM como emplazamiento alternativo, en caso de que no pueda llevarse a cabo su construcción en Hawaii), y el *European Solar Telescope* (que debería ser construido en el OT o en el ORM a partir de 2022).

Además, en ambos observatorios hay instaladas varias estaciones meteorológicas automáticas que proporcionan datos de interés para la operación de los telescopios y el Grupo de Calidad de Cielo del IAC dispone de monitores de *seeing*, estaciones meteorológicas y otros equipos para la caracterización permanente de la calidad de los mismos.

### **Bibliografía**

- FONT-TULLOT, I. (1956). *El tiempo atmosférico en las islas Canaria*. Technical Report Publ. Ser. A26, Servicio Meteorológico Nacional.
- GARCÍA-LORENZO, B.M., A. EFF-DARWICH, J. CASTRO-ALMAZÁN, N. PINILLA-ALONSO, C. MUÑOZ-TUÑÓN & J.M. RODRÍGUEZ-ESPINOSA (2010). Infrared astronomical characteristics of the Roque de los Muchachos Observatory: precipitable water vapour statistics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 405: 2683.
- GLAS, G. (1764). *A description of the Canary Islands*. London. [George Glas - Descripción de las Islas Canarias 1764, traducción de Constantino Aznar de Acevedo. Instituto de Estudios Canarios, La Laguna, Tenerife, 1976].
- HAMMERSLEY, P.L. (1998). Infrared Quality of the Canarian Skies. *New Astronomy Reviews* 42: 533.
- LUQUE, A., J.L. MARTÍN, P. DORTA & P. MAYER (2014). Temperature trends on Gran Canaria (Canary Islands). An example of global warming over the subtropical Northeastern Atlantic. *Atmospheric and Climate Sciences* 4: 20-28.

- MASCART, J. (1910). *Impressions et observations dans un voyage à Ténérife*. Ed. Flammarion. París.
- NAVARRO GARCÍA, J.B. (2018). *Francisco Sánchez Almeida. La Facultad de las Estrellas*. Ed. Centro de la Cultura Popular Canaria. ISBN 978-84-7926-661-5.
- SMYTH, C. PIAZZI (1858). *Teneriffe, an astronomer's experiment: or, Specialities of a residence above the clouds*. Lovell Reeve. London
- VARELA, A.M. (1997). Canarias: un lugar privilegiado para la astronomía. Misterios del Cosmos y otros ensayos, p.157, ISBN 84-88594-13-5.
- VÁZQUEZ-ABELED, M. & J. SÁNCHEZ-ALMEIDA (2018). *Juan Valderrama y Aguilar, Pionero de la Astronomía Canaria (1869 - 1912)*. Eds. Organismo Autónomo de Museos del Cabildo de Tenerife e IAC. ISBN-13: 978-84-88594-87-7
- VIERA Y CLAVIJO, J. DE (1772-1776). *Noticias de la historia general de las Islas de Canarias*. 3 tomos. Imprenta Blas Román. Madrid.

Páginas web:

Grupo de calidad del cielo: [www.iac.es/site-testing](http://www.iac.es/site-testing)

IAC: [www.iac.es](http://www.iac.es)

Isaac Newton Group: [www.ing.iac.es](http://www.ing.iac.es)

Oficina Técnica de Protección del Cielo: [www.iac.es/otpc](http://www.iac.es/otpc)