

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL GRUPO DE TELESCOPIOS ISAAC NEWTON

JAVIER MÉNDEZ ALVAREZ^{1*}

RENÉ RUTTEN¹

12 de Julio de 2004

Resumen

El Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING) está constituido por tres telescopios: el William Herschel (WHT) de 4.2 metros, el Isaac Newton (INT) de 2.5 metros y el Jacobus Kapteyn (JKT) de 1.0 metros. El Particle Physics and Astronomy Research Council (PPARC) del Reino Unido, el Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) de Holanda y el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) operan estos tres telescopios. El ING ha ofrecido sus servicios a la comunidad astronómica internacional durante más de dos décadas. En el transcurso de estos años se ha acometido la construcción de un observatorio completamente nuevo entre otros hitos. La historia del ING ha experimentado varios cambios tanto a nivel organizativo como en prioridades científicas, y en la actualidad se encuentra de nuevo en un importante cruce de caminos donde se discute qué dirección seguir en el futuro. En este artículo se describe el contexto histórico y científico de los telescopios del ING, y se ofrece una perspectiva futura para el telescopio William Herschel.

Palabras claves: telescopios, Observatorio del Roque de Los Muchachos, astronomía, historia, astrofísica, Grupo Isaac Newton.

Title: Historical Evolution of the Isaac Newton Group of Telescopes.

Abstract

The Isaac Newton Group of Telescopes (ING) consists of three telescopes: the 4.2-metre William Herschel Telescope (WHT), the 2.5-metre Isaac Newton Telescope (INT) and the

¹ Isaac Newton Group of Telescopes; Apartado de Correos 321; E-38700 Santa Cruz de La Palma; Islas Canarias; Spain.

* Correo electrónico de contacto: jma@ing.iac.es.

1.0-metre Jacobus Kapteyn Telescope (JKT). The telescopes are operated by the Particle Physics and Astronomy Research Council (PPARC) of the United Kingdom, the Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) of the Netherlands and the Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). The ING has delivered its service to the international astronomical community for already over two decades. During these years a completely new observatory site had to be developed among other highlights. The ING has experienced several changes in its organisation and in its scientific direction, and at this point in time the ING again finds itself at an important crossroad where the direction for the future is being defined. This paper describes the historic and scientific context of the ING telescopes, and provides a forward look for the William Herschel Telescope.

Keywords: telescopes, Roque de los Muchachos Observatory, astronomy, astrophysics, history, Isaac Newton Group.

1. La pre-historia

Cuando uno mira la actual y magnífica infraestructura que el observatorio del Roque de Los Muchachos ofrece para la astronomía mundial es fácil pensar que su presencia se da por supuesta en semejante lugar. Sin embargo, lo que se ha construido es el resultado del minucioso y duro trabajo de muchos, junto con una extraordinaria visión de futuro. La historia del observatorio astrofísico del Roque de Los Muchachos se remonta a la década de los sesenta, cuando los astrónomos europeos son conscientes de la necesidad de contar con un observatorio de alta calidad en el hemisferio norte.

En el Reino Unido la astronomía experimentaba un proceso de revitalización, tras los efectos de la Segunda Guerra Mundial. Un aspecto importante para este proceso era la construcción de un telescopio nuevo de importantes dimensiones. La iniciativa dio lugar al telescopio Isaac Newton de 2.5 metros², inicialmente erigido en Herstmonceux, en el sur de Gran Bretaña, en 1967. Debido a que los estándares que definen un lugar de observación

² Los telescopios para uso profesional en astronomía basan su óptica en grandes espejos (también se denominan telescopios reflectores). El mayor de ellos es denominado espejo primario, y es el elemento óptico responsable de reflejar la luz colimada de los objetos celestes hacia el siguiente espejo, o espejo secundario. Cuanto mayor es la superficie reflectante del espejo primario, mayor es la cantidad de luz que se puede recoger de los objetos observados y, por lo tanto, mayor es el límite de brillo (o magnitud, la unidad usual para medir el brillo de un objeto celeste en astronomía) que el telescopio puede detectar. También la resolución espacial de las imágenes depende del tamaño del espejo: para una longitud de onda determinada, aumenta con el diámetro del espejo primario. Los espejos primarios adoptan en la actualidad diferentes formas y grosores dependiendo de la tecnología utilizada. Con el objeto de comparar la superficie colectora de todos ellos, en astronomía es costumbre utilizar el diámetro equivalente, es decir, cuando un telescopio se dice que es de 4.2 metros se está indicando que la superficie del espejo primario equivale a un espejo circular de diámetro 4.2 metros.

astronómica³ de clase mundial estaban cambiando, rápidamente se hizo aparente la necesidad de encontrar un lugar de mejores condiciones⁴.

En otros países europeos también se desarrolló un interés paralelo por un observatorio en el hemisferio norte. Varios países ya habían unido sus esfuerzos para crear el observatorio europeo del hemisferio sur (European Southern Observatory, ESO), creando el observatorio de La Silla en Chile en 1969 (Blaauw, 1991). Pero a pesar de este importante desarrollo en el sur, persistía la necesidad de disponer de acceso a un observatorio situado en el hemisferio norte⁵.

En enero de 1967, Hermann Brück, astrónomo real por Escocia, es el primero en proponer la construcción de un Northern Hemisphere Observatory (NHO) equipado con un telescopio de 150 pulgadas⁶. Exactamente dos años más tarde, un comité bajo la dirección de Fred Hoyle es el encargado de estudiar la viabilidad de tal proyecto y a mediados de 1971 comienza su planificación.

La elección del lugar para el NHO estaba fuertemente influenciada por las investigaciones que Merle Walker del Observatorio Lick de Estados Unidos había realizado de los factores que determinan buenas condiciones de observación. Walker desarrolló la técnica de examinar los trazos de estrellas circumpolares⁷ como medio para medir la estabilidad de la atmósfera terrestre, y realizó este tipo de observaciones en diferentes lugares del planeta. A comienzos de 1971 escribió (extraído de Walker, 1971):

³ Hasta entonces se había prestado más atención a los telescopios e instrumentos que al lugar donde se ubicaban. Por ello muchos observatorios estaban, y todavía algunos están, situados dentro de las propias ciudades. Al principio y a mediados del siglo XX se buscan ubicaciones remotas pero no es hasta la década de los sesenta en que se pone a debate cuáles deben ser las condiciones que debe reunir un lugar para considerarlo excelente para la observación astronómica, dónde están esos lugares, y si realmente la práctica demuestra que son los mejores del planeta.

⁴ En el hemisferio sur, en cambio, el Reino Unido ya disponía de buenos lugares de observación en Sudáfrica, y algo más tarde, en Australia, donde se planeaba construir el telescopio de 3.9 metros Anglo-Australiano.

⁵ Debido a la esfericidad de la Tierra el cielo accesible desde un hemisferio es diferente al del otro, aunque existe cierto grado de solapamiento dependiendo de las latitudes que se comparan (sólo en el caso de los polos los cielos accesibles son completamente diferentes). La importancia de disponer de observatorios en los dos hemisferios radica en que muchos proyectos observacionales no pueden llevarse a cabo si no se puede observar una parte importante del cielo que rodea a nuestro planeta, o si la región en estudio no se encuentra accesible desde la latitud del observatorio en cuestión. Por ejemplo, la determinación de todas las distancias a las estrellas más cercanas a la Tierra no podría llevarse a cabo sólo desde observatorios situados en un único hemisferio, o la observación del centro de la Gran Nube de Magallanes (una galaxia satélite de nuestra propia galaxia, la Vía Láctea) no puede realizarse desde observatorios a 2500 metros sobre el nivel del mar situados al norte de la latitud 23 grados norte.

⁶ Unos 3,8 metros de diámetro.

⁷ Aquellas estrellas que, como la Polar, nunca experimentan un ocaso debido a la latitud del lugar.

The best seeing⁸ occurs at sites on peaks near sea-coasts having cold ocean currents offshore that reduce the height of the [temperature] inversion layer, and where the laminar air-flow set up over the ocean still persists". (...) "Mountain peaks on (small) islands in warm oceans may be good sites, provided that the peaks are sufficiently high to place the observer above the inversion layer.

(Traducción de los autores: El mejor seeing ocurre en lugares con picos cerca de costas marítimas con frías corrientes oceánicas a lo largo de la costa que reducen la altura de la capa de inversión térmica, y donde se conserva el régimen laminar del viento del océano. Picos montañosos en islas pequeñas en océanos cálidos pueden ser buenos sitios si los picos son lo suficientemente altos como para situar al observador por encima de la capa de inversión).

Lo cierto es que ya existían buenos informes de la calidad del cielo de Tenerife provenientes de Piazzi Smith en su expedición de 1856. Sobre la base de sus conclusiones y estas evidencias, Walker publicó una lista de lugares candidatos a ofrecer buenas condiciones de observación: Tenerife, La Palma, Madeira, Creta y Córcega (Walker, 1971).

Como suele ocurrir en la ciencia, varias personas llegan a la misma conclusión simultáneamente, y Walker no era el único que reconocía el potencial de las Canarias para la observación astronómica. En 1971, John Alexandre del Royal Greenwich Observatory (RGO), se encontraba investigando posibles localizaciones en el Mediterráneo cuando su búsqueda le llevó a La Palma en abril de 1971. En el informe que publicó más tarde ese año escribe: "The ideal solution may be an international observatory site on the island of La Palma". (Traducción de los autores: la solución ideal puede ser un observatorio internacional en la isla de La Palma).

Y también los astrónomos solares buscaban un lugar para un observatorio con las mejores condiciones de observación (Brandt & Mattig, 2002). Se habían unido en una asociación denominada Joint Organization for Solar Observations (JOSO) y habían visitado Tenerife en marzo de 1971, y en su segunda visita en noviembre del mismo año sobrevolaron el Roque de Los Muchachos con una avioneta para medir la turbulencia atmosférica con sensores de temperatura. La Palma fue entonces visitada en verano y otoño de 1971 por los miembros del equipo de JOSO y se seleccionó el Roque de Los Muchachos como posible

⁸ El seeing es la medida de la degradación de la calidad de la imagen astronómica de larga exposición como consecuencia del paso de la luz por la atmósfera y hasta su llegada al espejo primario del telescopio. Usualmente el seeing se mide como la anchura a media altura de una gaussiana ajustada al perfil del brillo de un objeto puntual, descontando los efectos de aberración y difracción. Si el seeing es bajo, la calidad de la imagen es buena (la relación entre la señal del objeto y el ruido es alta) y como consecuencia es posible obtener la misma imagen en un tiempo de exposición más corto (o aumentar la magnitud o brillo límite alcanzable) y aumentar la información espacial y espectral que puede obtenerse de las imágenes. De ahí la importancia en astronomía de contar con lugares que ofrezcan un buen seeing en promedio.

lugar de observación. El 2 de julio de 1972 realizaron sus primeras medidas de la calidad del cielo diurno (Hosinsky et al., 1972).

Los equipos de astrónomos británicos encargados de realizar las observaciones en Canarias salieron para Tenerife y La Palma en 1972 bajo la dirección del Royal Observatory Edinburgh (ROE). El estudio de Tenerife se realizó en el ya existente Observatorio del Teide⁹. Sin embargo, las condiciones en La Palma eran muy diferentes. No existía carretera de acceso y la habitabilidad en el Roque de Los Muchachos era complicada. El sitio que habían escogido era Fuente Nueva, cercano al Roque, ya que existía la creencia entre los astrónomos que el punto más alto de la isla podía presentar turbulencias atmosféricas locales que degradarían la calidad de imagen¹⁰.

El equipo de La Palma realizó observaciones entre agosto y septiembre de 1972. A continuación se reproduce un extracto de la que posiblemente sea la primera publicación con datos del cielo nocturno obtenidos en el Roque de Los Muchachos (extraído de McInnes, 1972):

The main work of the Project in the Canary Islands was done on the island of Tenerife; it seemed desirable to have some information also from the island of La Palma. A visit was made to the island during 1972 July 11 to 14 and decisions were made about the observational work that could easily be done there at that time. Dr Gough and Mr Heath then assembled the necessary equipment in Tenerife for a temporary outstation. They arrived at La Palma on July 28 with the Station 3 Land Rover carrying the equipment; construction work and transportation of the equipment to the site occupied the next few days; the observations began there on August 6 and ended on September 24. The highest point of the island is Roque de Los Muchachos (2,423 metres, 7,949 feet). The site chosen for the observations was a peak called Fuente Nueva, situated about one kilometre north-east of Roque de Los Muchachos (...). This site was selected by Dr Gough in the expectation that there might be a more favourable airflow there than at the higher Roque de Los Muchachos, since the prevailing wind is from the north and there is a fairly uniform slope with a gradient of about 1 in 4 from Fuente Nueva down to the coast, which is about 9 kilometres (5.5 miles) to the north. Observations of the seeing were made using a Lick Polaris Trail Telescope, which was mounted on a pier constructed of concrete blocks and local rocks cemented together. The objective of the Polaris Trail Telescope was about 4 metres (13 feet) above the general ground level. In general, seeing observations were made each hour during the night and meteorological observations were made at the beginning of each seeing observation. The air temperature was read from an accurate sheathed thermometer which was housed in a louvered box. The wind speed was measured with a hand-held anemometer, held at about the height of the telescope objective. The wind direction was obtained from a wind vane which was mounted at about 5 metres (16 feet) above the general ground level. Since there was no road to the site, access was on foot, with mules to carry equipment and supplies, and the observers were housed in small tents. The walk from the nearest vehicle road to the site took between two and three hours.

(Traducción de los autores: El principal trabajo del proyecto en las Islas Canarias se realizó en la isla de Tenerife. Nos pareció también deseable tener alguna información de la isla de La Palma. Se realizó una visita del 11 al 14 de julio de 1972 y se tomaron decisiones acerca del trabajo observacional que

⁹ Situado en Izaña y donde hoy se encuentra uno de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias.

¹⁰ Además, cuando los astrónomos británicos llegaron al Roque probablemente se encontraron con que los astrónomos de JOSO ya estaban instalados en el mismo Roque de Los Muchachos.

fácilmente podía llevarse a cabo allí en aquel momento. El doctor Gough y el señor Heath prepararon el equipo necesario en Tenerife para una expedición temporal. Llegaron a La Palma el 28 de julio con el Land Rover de la estación 3 que llevaba el equipo. El trabajo de construcción y el transporte del equipo al lugar ocuparon los siguientes días. Las observaciones comenzaron el 6 de agosto y finalizaron el 24 de septiembre. El pico más alto de la isla es el Roque de Los Muchachos (2.423 metros, 7.949 pies). El lugar escogido para las observaciones fue un pico llamado Fuente Nueva, a un kilómetro al noreste del Roque de Los Muchachos (...). El lugar fue seleccionado por el doctor Gough esperando que hubiera un flujo de aire más favorable allí que en el más alto Roque de Los Muchachos, ya que el viento predominante es del norte y hay una pendiente bastante uniforme de 1 a 4 desde Fuente Nueva hasta la costa, que se encuentra a 9 kilómetros (5.5 millas) hacia el norte. Las observaciones de seeing se realizaron con el telescopio de trazas polares de Lick, que se montó sobre un pilar construido de bloques de cemento y rocas del lugar cementado todo junto. El objetivo del telescopio de trazas polares se encontraba a 4 metros (13 pies) sobre el nivel del suelo. En general, las observaciones de seeing se hacían cada hora durante la noche y las observaciones meteorológicas antes del comienzo de las observaciones de seeing. La temperatura del aire se leía en un termómetro de precisión que se encontraba protegido con una funda dentro de una caja de láminas. La velocidad del viento se medía con un anemómetro de mano, situado a la altura del objetivo del telescopio. La dirección del viento se obtenía de una veleta montada a 5 metros (16 pies) sobre el nivel del suelo. Ya que no había carretera hasta el lugar, el acceso era a pie y con mulas para llevar el equipo y los suministros, y los observadores se quedaban en pequeñas tiendas. La caminata desde la más cercana carretera para vehículos hasta el lugar llevaba entre dos y tres horas).

Los resultados preliminares de esta campaña fueron analizados por McInnes y Walker (1974). Su conclusión fue que, a pesar de que las condiciones en Izaña eran buenas, no eran excelentes, y, por otro lado, los informes de Fuente Nueva indicaban condiciones tan buenas o incluso mejores que las de cualquier otro lugar conocido. Factores adicionales como el número de horas de cielo despejado y la escasa polución lumínica o atmosférica señalaron a La Palma como un lugar excepcional. JOSO llegó a una conclusión similar.

Unos meses después del comienzo de la campaña de 1972, el Science Research Council (SRC)¹¹ envía un aviso urgente a los astrónomos británicos pidiéndoles que se retiren a Tenerife mientras la actividad diplomática de la embajada del Reino Unido en Madrid intentaba obtener un permiso formal para sus actividades. Pronto se dieron cuenta que un acuerdo bilateral entre España y el Reino Unido, incluso sólo para la prolongación del proceso de medición de la calidad del cielo, iba a ser complicado en el estado de las relaciones entre ambos países en aquel momento. Se entendió, por lo tanto, y para el posible beneficio de muchos, que el proyecto tenía que ser multilateral y del todo internacional.

En la sexta reunión del comité de planificación del NHO en mayo de 1973, Sir Martin Ryle expresó su preocupación por la falta de progreso tanto en los aspectos técnicos como internacionales para la elección del lugar. Hasta esa fecha parecía que sólo Hawai era el único sitio posible desde todos los puntos de vista para albergar el NHO. Se decide progresar sin

¹¹ Institución británica con funciones similares a las del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) español.

considerar las localizaciones estudiadas en España y comienza el estudio de Ecumeada Alta en Madeira como alternativa en octubre de 1973.

Parecía claro que la única manera de recuperarse de esta pesimista situación era realizando contactos políticos. En marzo de 1974 el profesor Edwards, director del SRC, y el profesor Walker visitaron el CSIC en Madrid y se reunieron con el profesor Masía, que ya era bien conocido por su ayuda en asuntos científicos internacionales. Walker realizó otra visita en junio. El profesor Francisco Sánchez, director por aquel entonces del observatorio de Izaña en Tenerife, había estado animando al CSIC, a la Universidad de La Laguna y a las autoridades locales a realizar una invitación conjunta para estudiar la calidad del cielo de Tenerife y La Palma, y también el padre Romaña ayudó a solventar los problemas políticos.

En agosto de 1974 se logra que las autoridades españolas emitan una invitación para constituir un Joint Astronomical Site Survey en las Islas Canarias. Se instalan telescopios y estaciones meteorológicas en Izaña y Fuente Nueva y las observaciones comienzan el 25 de noviembre de 1974 por un año. Lo siguiente es un extracto de las notas de uno de los observadores de esta campaña, el estudiante holandés Rein Bakker, hacia finales de 1975 y prácticamente un mes antes de que la campaña se dé por terminada. Sus notas reflejan la dureza de las condiciones:

I arrived at the site on September 28, 1975 together with Donald Kennedy. He came from Edinburgh in Scotland and was a student over there. There were 3 cabins on the site. One was located next to the brick wall (this was the one we slept and lived in), one was about 50-100 meters roughly at the same height in the direction of the telescope. This was used to store things. The third one was on top near the telescope and contained the recorders and was used to store the telescope in bad weather conditions. There were two masts with a length of 12 meters on which the sensors for temperature readings were placed.

Every hour during the night readings were made of the direction and the strength of the wind, of the humidity and of the temperature. In the cabin on top near the telescope there where recorders placed, which kept a constant track of the barometer readings and of the humidity and temperature readings on a second recorder. Besides that every hour a photographic trail was made of the Polar Star and every other night photometric readings where made of 6 high (near the zenith) and 6 low (near the horizon) stars both with and without a red filter.

I had to come to La Palma quite suddenly. I was supposed to change places with a colleague student from the University of Amsterdam (Peter Bouwman) who had returned home right after one night, because he was scared to death by the goats roaming around freely during the night. He left astronomy studies right after that !

On September 30, 1975 the Izaña site on Tenerife was closed down and this was the last day we had contacted by walkie talkie with Tenerife. On October 1, 1975 the telescope which was used there was brought in to Santa Cruz by ship as well as the Land Rover which had been used on Tenerife. (...) We made precautions to prevent the cables being bitten through by the wild goats which were roaming the place at that time.

Because one mast with temperature sensors was located on a spot which was very windy it was brought down on October 3. October was a very windy month on top as you may see further on. On October 3 the wind reached up to 66 miles per hour (...).

On October 6 Paul Cass and Neil Andersen came up to the site and Donald returned with Paul to Los Llanos. Paul was a technician from the University of London and was in charge of the La Palma operation. That night the biggest forest fire in more than 100 years started in the east of the Island.

On October 7 we were enclosed on all sides by the fire, but luckily enough it did not reach us. On October 8 we still could not do any observations on the Polar Star, also because the wind was gusting up to 64 miles per hour. On October 9 the maximum wind was down to a maximum of 58 miles per hour. On October 10 we could restart the observations.

Normally supplies were brought in every 2 or 3 days, but this had been impossible because of the forest fire. During those days we were in contact via walkie talkie 2 times a day. The Los Llanos people drove up to a lookout point in the Caldera de Taburiente to get in touch.

On October 11 Derryck Andrews (from Scotland) came up with parts of the Izaña telescope and Neil went back to Los Llanos. On October 13 new supplies were brought in together with other parts of the telescope. On October 14 the rest of the telescope was brought in (all with mules !). That same day we started to flatten a part of the site for the erection of the second telescope (so the observations were made with 2 telescopes). It was quite near the other telescope.

On October 18 night the wind reached a maximum of 83 miles per hour.

(Traducción de los autores: Llegué al lugar el 28 de septiembre de 1975 junto con Donald Kennedy. Él venía de Edimburgo en Escocia y era estudiante. Había tres cabañas en el lugar. Una se encontraba cerca de la pared de piedras, donde dormíamos y vivíamos, otra estaba a unos 50 ó 100 metros aproximadamente en la misma altura en la dirección del telescopio. Se usaba para guardar cosas. La tercera se encontraba en lo alto y contenía los grabadores [de datos] y también se utilizaba para guardar el telescopio cuando hacía mal tiempo. Había dos mástiles con una altura de 12 metros donde se situaban los sensores de temperatura.

Cada hora durante la noche se leía la dirección y fuerza del viento, la humedad y la temperatura. En la cabaña cercana al telescopio se mantenía una lectura constante de la presión, la humedad y la temperatura en un segundo lector. Además cada hora se obtenía una fotografía de la traza de la Estrella Polar y otras noches se obtenían lecturas fotométricas de seis estrellas altas (cercanas al cenit) y seis estrellas bajas (cercanas al horizonte) ambas con y sin filtro rojo.

Tuve que venir a La Palma súbitamente. Se suponía que tenía que reemplazar a un colega de la Universidad de Amsterdam (Peter Bouwman) que había vuelto a casa después de una noche porque se llevó un susto de muerte con las cabras salvajes que vagaban libremente por allí durante la noche. ¡Dejó la astronomía después de aquello!.

El 30 de septiembre de 1975 el campamento de Izaña en Tenerife se cerró y fue el último día que contacté mediante walkie talkie con Tenerife. El 1 de octubre de 1975 el telescopio que se estaba utilizando allí se trajo para Santa Cruz así como el Land Rover. (...) Tomamos precauciones para evitar que las cabras salvajes se comieran los cables.

Uno de los mástiles con sensores de temperatura que se encontraba en un punto muy ventoso se bajo el 3 de octubre. Octubre fue un mes muy ventoso como podrá ver más adelante. Ese mismo día el viento alcanzó 66 millas por hora [106 kilómetros por hora] (...).

El 6 de octubre Paul Cass y Neil Andersen llegaron al campamento y Donald volvió con Paul a Los Llanos. Paul era un técnico de la Universidad de Londres y estaba encargado de las operaciones en La Palma. Aquella noche comenzó en el este de la isla el mayor fuego de los últimos 100 años.

El 7 de octubre nos encontrábamos rodeados por el fuego, pero afortunadamente no nos alcanzó. El 8 de octubre todavía no podíamos comenzar con las observaciones, y además el viento alcanzaba rachas de

64 millas por hora [103 kilómetros por hora]. El 9 de octubre el viento máximo era de 58 millas por hora [93 kilómetros por hora]. El 10 de octubre comenzamos a observar de nuevo.

Normalmente los suministros se traían cada 2 ó 3 días, pero debido al fuego había sido imposible. Durante esos días contactábamos vía walkie talkie dos veces al día. El grupo de Los Llanos conducía hasta un lugar de observación en la Caldera de Taburiente para mantenerse en contacto con nosotros.

El 11 de octubre Derryck Andrews (de Escocia) llegó con piezas del telescopio de Izaña y Neil volvió a Los Llanos. El 13 de octubre llegaron suministros junto con más piezas del telescopio. El 14 de octubre el resto del telescopio llegó (¡todo con mulas!). Ese mismo día empezamos a aplanar el terreno para erigir el segundo telescopio (por lo tanto, las observaciones podían hacerse con 2 telescopios). El lugar elegido se encontraba muy cerca del otro telescopio (...).

La noche del 18 de octubre el viento alcanzó una velocidad máxima de 83 millas por hora [133 kilómetros por hora].

Los representantes¹² de los países involucrados acuden a una reunión en Tenerife en diciembre de 1974 por invitación del Rector de la Universidad de La Laguna y los presidentes de los Cabildos de Tenerife y La Palma para discutir la planificación del programa de medición de la calidad del cielo. Se lleva a estos representantes a que vean el Roque de Los Muchachos desde una avioneta. Smith del Reino Unido escribe entonces (Smith, 1985):

A small hut with the waving figures of two site testers was the only sign of human activity on what is now a major European observatory. The weather was good and we were assured that this was typical. Everyone felt that this must be the site for the new observatory.

(Traducción de los autores: Una pequeña cabaña con las figuras ondulantes de dos chequeadores del lugar era el único signo de actividad humana en el que es hoy el mayor observatorio europeo. El tiempo era bueno y nos aseguraron que aquello era típico. Todos sentimos que aquel tenía que ser el lugar para el nuevo observatorio).

Desde ese momento se acelera la planificación del NHO, trabajando en tres frentes: medición de la calidad del cielo en Fuente Nueva, el diseño de los telescopios y la preparación de los acuerdos internacionales necesarios. También en la reunión de diciembre de 1974 se muestra la intención de que las autoridades españolas se hagan cargo de las instalaciones básicas como la carretera, suministro eléctrico y de agua para el nuevo observatorio. El proyecto tenía que ser desde sus inicios una colaboración, con los participantes extranjeros ofreciendo tiempo de observación en los futuros telescopios y entrenamiento para astrónomos como contrapartida al uso del observatorio y sus instalaciones.

¹² El profesor Kiepenheuer (Alemania), el profesor Wyller (Suecia), el doctor Gyldenkerne (Dinamarca) y los profesores Brück y Smith (Reino Unido).



Telescopio “Polaris Trail” utilizado en la campaña de 1974 a 1975 para medir la calidad del cielo nocturno de La Palma (arriba a la izquierda). Se encontraba en la zona conocida como Fuente Nueva¹³ y a escasos metros de donde hoy se encuentra el telescopio Jacobus Kapteyn. Fotografía de Rein Bakker, octubre de 1975.



Campamento de los astrónomos. Fotografía de Rein Bakker, octubre de 1975.

¹³ La Fuente Nueva se encuentra hacia el norte ladera abajo y a algunos metros del telescopio Isaac Newton, en las proximidades de la carretera que conecta el observatorio con Mirca.

Dos años más tarde se prepararon los acuerdos formales necesarios para ratificar los derechos y las responsabilidades de los participantes internacionales, en una reunión que tuvo lugar en Madrid, por invitación del profesor Primo, presidente del CSIC, a los representantes de los institutos científicos de los varios países involucrados.

Después del análisis de los datos de la intensa campaña de 1974 a 1975, se confirma que La Palma tiene unas fantásticas condiciones para la observación (McInnes, 1981). El análisis muestra claramente que Mauna Kea en Hawai y Fuente Nueva eran los mejores lugares conocidos para la observación astronómica. La diferencia entre ambos lugares era muy pequeña. Por ejemplo, el seeing era mejor que 1 segundo de arco el 36% de las noches en Mauna Kea y el 40% en La Palma. Sin embargo, Hawai se encontraba casi en el otro lado del globo terrestre.

Desde la perspectiva de las observaciones solares no parecía que hubiera mucha diferencia en la calidad del cielo entre Tenerife y La Palma, pero para las observaciones nocturnas, La Palma tenía (y todavía tiene) la ventaja de disponer de un cielo más oscuro, lo cual no es de extrañar si tenemos en cuenta la infraestructura urbanística de La Palma. Por estas razones se decidió que la construcción de los telescopios del ING se llevara a cabo en La Palma a pesar de los importantes problemas de acceso que tanto a la isla como al Roque de Los Muchachos existían en aquellos días.

El observatorio de La Palma se localizó cerca del punto más alto de la isla, el Roque de Los Muchachos a 2.426 metros sobre el nivel del mar, y de ahí que adoptara su nombre. El observatorio disfruta de buen tiempo la mayoría del año. Los vientos alisios ofrecen un flujo de aire estable, mientras que la capa de inversión térmica se encuentra frecuentemente por debajo de la altura del observatorio, impidiendo que el mar de nubes alcance los telescopios, y permitiendo además disponer de un aire seco y bajo en aerosoles. A pesar de que en ocasiones llega a La Palma polvo en suspensión transportado desde el desierto del Sahara, se ha determinado que su influencia en las observaciones astronómicas no es relevante (Guerrero et al., 1998).

Estas condiciones junto con la orografía del terreno provocan un alto grado de estabilidad atmosférica, resultando en un seeing con frecuencia muy bueno para las observaciones astronómicas (Wilson et al., 1999).

Un factor importante en la toma de la decisión final para la elección del lugar fue el apoyo entusiasta recibido del, por aquel entonces, pequeño grupo de astrónomos que se encontraba en Tenerife bajo la dirección del profesor Francisco Sánchez. En Tenerife se crea

en 1975 el Instituto de Astrofísica de Canarias el cual tomaría la responsabilidad de operar tanto el observatorio de Izaña en Tenerife como el del Roque de Los Muchachos en La Palma.

Y finalmente el Acuerdo Internacional en Materia de Astrofísica¹⁴ se firma entre España, Dinamarca, Suecia y el Reino Unido el 26 de mayo de 1979 en el Cabildo Insular de La Palma, y es publicado en el Boletín Oficial del Estado el 6 de julio de 1979. Este acuerdo internacional describía las obligaciones y las normas para la construcción y uso de instalaciones científicas en los observatorios de Tenerife y La Palma. También bajo este acuerdo España asumía la responsabilidad de poner en marcha las infraestructuras generales de los observatorios y a cambio recibía el 20% del tiempo de observación en todos los telescopios. También se acordaba que un 5% se destinara para programas científicos de carácter internacional, tiempo asignado por el CCI, bajo la condición de haber siempre un investigador español en cada programa.

Las condiciones del Acuerdo eran obviamente muy atractivas para todas las partes firmantes. El acceso a instalaciones punteras para la observación astronómica y la posibilidad de establecer colaboraciones científicas provocó el importante crecimiento de la astrofísica en España en las últimas décadas (para más información sobre el desarrollo histórico de los observatorios en Canarias véase Sánchez, 1985, 2004).

En lo que respecta al Reino Unido, que se encontraba desarrollando sus planes para la construcción de varios telescopios en La Palma, y en particular, uno de 4 metros de altas prestaciones, encontraron beneficioso, tanto desde el punto de vista financiero como científico, llegar a acuerdos con otras comunidades interesadas.

El director del observatorio de Dunsik (Irlanda), el profesor Wayman, introdujo uno de estos acuerdos. Sucedió por aquel entonces que el acuerdo con Irlanda para el uso del Observatorio Boyden en Sudáfrica estaba expirando y también que los astrónomos de Dunsik estaban especialmente interesados en la astronomía que podía realizarse con un telescopio de 1 metro. El resultado fue que en 1979 se llegó a un acuerdo entre, por una parte, el SRC del Reino Unido, y por otra, el Irish National Board of Science and Technology y el Dublin Institute for Advanced Studies de Irlanda. Por este acuerdo, Irlanda se comprometía a

¹⁴ A los países firmantes del Acuerdo Internacional en Materia de Astrofísica se le concede una participación efectiva en la adopción de decisiones en los observatorios de La Palma y Tenerife a través del Comité Científico Internacional (CCI). Los acuerdos del CCI requieren la unanimidad de los órganos firmantes. El CCI puede crear subcomités para ser asesorado en cuestiones específicas. El Acuerdo se estructuró en tres niveles, el primer nivel correspondía a los documentos firmados entre los respectivos gobiernos. Los organismos de cada país que firman el segundo nivel constituyen los llamados organismos firmantes y las organizaciones científicas que firman con el IAC el tercer nivel de los acuerdos reciben el nombre de instituciones usuarias, como el Grupo de Telescopios Isaac Newton.

contribuir financieramente tanto a la construcción de las instalaciones proyectadas como al mantenimiento del telescopio de 1 metro a cambio de 27 noches de observación por año en este telescopio. Aunque la contribución irlandesa era sólo una pequeña fracción, lo cierto es que el hecho de que su comunidad de astrónomos se involucrara en el desarrollo de las instalaciones trajo como consecuencia que creciera una sólida colaboración científica y que astrónomos irlandeses se convirtieran también en asiduos usuarios de los telescopios Isaac Newton y William Herschel.

Las negociaciones con los astrónomos holandeses condujeron a un acuerdo para la operación y el desarrollo de los telescopios de La Palma, así como también para el telescopio submilimétrico James Clerk Maxwell, en Hawái. El arquitecto de este acuerdo fue el profesor van der Laan. Fue en la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional de 1977 en Montreal donde se pusieron las bases para el acuerdo de cooperación en astronomía entre el Reino Unido y Holanda, el cual firmaron en 1981 el SRC británico y el Netherlands Organization for Pure Research (ZWO) holandés. Esta colaboración implicaba que Holanda contribuía al 20% del costo inicial y de la operación anual del NHO y a cambio obtenía una fracción proporcional de tiempo de observación. Pero esta contribución no sólo era financiera sino también de recursos humanos, lo cual aseguró que ambas comunidades se vieran completamente involucradas en el observatorio y que se desarrollaran lazos científicos y tecnológicos. Con los acuerdos internacionales entre España y el Reino Unido, y entre este último con Holanda e Irlanda, se sentaban unas bases firmes y prósperas para la explotación científica del cielo palmero.

El observatorio del Roque de Los Muchachos fue inaugurado el 29 de junio de 1985 con la presencia de siete jefes de estado, o sus representantes. Entre ellos se encontraban el rey Juan Carlos I, la reina Beatriz de Holanda, la reina Margarita de Dinamarca, el rey Gustavo de Suecia, los presidentes de Alemania Occidental e Irlanda, y el Duke de Gloucester en representación de la reina Isabel II del Reino Unido. Después de los actos que tuvieron lugar el 28 de junio en Tenerife, la comitiva real y los invitados volaron a La Palma en la mañana del 29 de junio, en un día de fantástico tiempo. Los jefes de estado se desplazaron de uno a otro telescopio para su inauguración. El principal acto de inauguración del observatorio tuvo lugar en un gran auditorio al aire libre donde concurrieron los huéspedes reales, astrónomos, ingenieros, premios nobeles, autoridades nacionales y locales, el personal del observatorio, funcionarios, militares y representantes de los medios de comunicación. Por la tarde se inauguraba la exposición de instrumentos y mapas astronómicos hispano-árabes en el



Inauguración del telescopio Isaac Newton (INT). Después de descubrir una placa, el duque de Gloucester (a la derecha) abre la cúpula del INT siguiendo las instrucciones de Alec Boksenberg (a su derecha). Fotografía procedente del archivo del RGO.



Templete erigido en las inmediaciones del INT y diseñado por el artista canario César Manrique para que las autoridades dirigiesen sus discursos protocolarios a la audiencia. Fotografía procedente del archivo del RGO.

convento de San Francisco en Santa Cruz de La Palma, algunos de los cuales habían sido donados por el antiguo Royal Observatory de Greenwich.

Después de la firma de los acuerdos internacionales pronto se advirtió que La Palma se convertiría en el sitio preferido para muchas otras instalaciones astronómicas y creció el interés por conservar su calidad. Un buen ejemplo lo constituye una nota a todo el personal que construía los telescopios del ING en 1982 donde se escribe (extraído de Gietzen, 1982):

One of the reasons for selecting La Palma as the site for the installation of the UK's major optical telescopes was the comparatively minor interference with the quality of the night sky by urban lighting and over flying aircraft. Any increase in either of these factors will lead almost inevitably to a reduction in the observational utility of the site (...). I would like co-operation in identifying 'early warnings' in order that action may in some instances be started sooner: 1) I would like to be informed of any reports, whether in newspapers or elsewhere, of possible future increases in the level of artificial lighting in the island; 2) I would also like to start a record of the incidence of aircraft vapour trails in the vicinity of the site.

(Traducción de los autores: Una de las razones por las cuales se escogió La Palma como el lugar para instalar los mayores telescopios ópticos del Reino Unido fue la comparativamente menor interferencia del alumbrado urbano y los sobrevuelos de aviones con la calidad del cielo. Cualquier incremento de cualquiera de estos dos factores llevará inevitablemente a la reducción de la utilidad del lugar (...). Me gustaría ver cooperación para emitir 'avisos rápidos' que permitan que la acción pueda tomarse en algunos casos antes: 1) me gustaría ser informado de cualquier informe en periódicos o cualquier otro lugar que indique el futuro incremento del nivel de luz artificial en la isla; 2) también me gustaría comenzar a registrar la incidencia de trazas de vapor originadas por aviones en la cercanía al observatorio).

Con el objeto de preservar el atractivo de la calidad de los cielos de Tenerife y La Palma, el IAC puso en marcha la importante iniciativa de proteger el cielo de cualquier forma de contaminación. Esto llevó a la aprobación de la Ley del Cielo por el gobierno español en 1988¹⁵. Esta ley protege el cielo en cuatro áreas específicas, y en concreto, regula la instalación de luminarias exteriores en La Palma y la parte de Tenerife que puede afectar al cielo palmero. La aplicación de la ley es supervisada por una oficina técnica. La Ley del Cielo sirve como ejemplo en otros observatorios (ver, por ejemplo, Schwarz, 2003). El éxito de la aplicación de la ley fue comprobado experimentalmente en 1995, cuando todas las luces de La Palma se apagaron y las medidas del brillo del fondo del cielo mostraron que la influencia del alumbrado público era insignificante, excepto en algunas longitudes de onda concretas¹⁶ (Benn y Ellison, 1998).

¹⁵ Ley 31/1988 publicada en el BOE el 3 de noviembre de 1988 y Real Decreto 243/1992 publicado en el BOE el 21 de abril de 1992.

¹⁶ Aquellas donde emiten las lámparas de vapor de sodio de baja y alta presión, ambas lámparas permitidas por la Ley del Cielo, y que representan un porcentaje del 70% de alumbrado público de exteriores en La Palma (Benn y Ellison, 1998).



Vista actual de los telescopios del Grupo Isaac Newton desde el Roque de Los Muchachos. La cúpula de mayor tamaño a la izquierda corresponde al telescopio William Herschel, y las dos últimas cúpulas a la derecha son los telescopios Isaac Newton (izquierda) y Jacobus Kapteyn (derecha). Fotografía de Nik Szymanek.

2. Diseño y construcción de los telescopios del ING

La correcta elección de los telescopios e instrumentos era tan importante como la elección del sitio, y de ahí que se pusiera un enorme interés en diseñar el equipamiento del NHO incluso antes de haber tomado una decisión sobre el lugar. Uno de los primeros aspectos que se tuvo en cuenta era que los telescopios de gran tamaño eran muy demandados por los astrónomos y que, sin embargo, ciertos proyectos de observación podían realizarse en telescopios de menor diámetro. Por lo tanto, desde un comienzo se abandonó la idea de disponer de un único telescopio grande, a favor de la construcción de varios de diferentes aperturas.

El gran telescopio, sin embargo, debía ser versátil y para ello dispondría de diferentes instrumentos. Teniendo en cuenta que instrumentos como los espectrógrafos¹⁷ son de dimensiones cada vez mayores a medida que aumenta el diámetro del espejo primario, se decidió escoger 4.5 metros como el tamaño óptimo y nominal.

La espectroscopía es una técnica observacional muy demandada por los astrónomos. Se pueden obtener diferentes resoluciones con telescopios menores de 4.5 metros. En concreto, un telescopio de 2.5 metros sería muy útil, y de ahí que se tomara la decisión de utilizar el ya en funcionamiento telescopio Isaac Newton y trasladarlo de Herstmonceux en el Reino Unido a La Palma, reemplazando su espejo primario por uno de Zerodur, mejorando la montura¹⁸ y construyendo un gran espectrógrafo Coudé¹⁹.

El tercer y menor telescopio del NHO debía ser un reflector de 1 metro de doble propósito y diseño original. El papel principal del JKT debía ser en el campo de la astrometría, con la utilización de placas fotográficas. El grano de las películas disponibles en los años 70 y las condiciones de seeing previstas para el observatorio del Roque de Los Muchachos fueron elementos de consideración a la hora del diseño óptico. Pero también debía ofrecer la posibilidad de hacer espectroscopía e imagen CCD. La óptica fue diseñada por Charles Harmer y Charles Wynne del RGO. Con un espejo secundario esférico y lentes correctoras de campo, el telescopio puede observar hasta 1.5 grados de campo plano no distorsionado ideal para el trabajo fotográfico y astrométrico. Quitando las lentes correctoras

¹⁷ Un espectrógrafo es un instrumento que dispersa la luz en sus diferentes longitudes de onda o *colores*. El estudio de la cantidad de luz por longitud de onda o color permite a los astrónomos conocer datos como la distancia, composición química, temperatura, estado físico, etc. del objeto emisor. Los espectrógrafos pueden ser de muchos tipos diferentes, algunos más versátiles que otros, y hacen uso de diferentes técnicas para obtener una gran variedad de resoluciones y rangos espectrales, y coberturas espaciales. Esta última cualidad del diseño de los espectrógrafos permite aislar la luz de una parte del objeto observado (espectrógrafos de rendijas), un área (espectrógrafos de área), de varios objetos al mismo tiempo (espectrógrafos multiobjeto) o del campo completo (espectrógrafos de tipo prisma).

¹⁸ Se denomina montura al elemento mecánico responsable de soportar el telescopio, y permitirle tanto apuntar a un objeto celeste concreto como seguirlo en el cielo tanto tiempo como sea necesario. Esta última tarea requiere que la montura reproduzca el movimiento de la Tierra de forma inversa con gran precisión para lo cual se ayuda de una técnica denominada *autoguiado* y que consiste en mantener una estrella de guía cercana al objeto observado en la misma posición en el detector de guía. La montura, por lo tanto, debe ser robusta, fiable y de movimientos suaves y precisos. Los tipos de montura han ido evolucionando con el tiempo dependiendo de la tecnología disponible. En la actualidad la más utilizada es la montura de tipo acimutal, denominada así porque permite dos tipos de movimientos: en acimut y en altura.

¹⁹ Aunque el telescopio fue preparado para tener un foco Coudé, nunca llegó a utilizarse y tampoco el espectrógrafo se construyó. Un foco Coudé tiene una longitud focal alta y se consigue haciendo reflejar el haz de luz proveniente del espejo secundario con un espejo plano, dirigiendo la luz a través del eje de declinación del telescopio mediante espejos hasta hacerla converger en un laboratorio donde se pueden situar grandes espectrógrafos de alta resolución. En el caso del INT, este laboratorio se encontraba en la siguiente planta a la del telescopio.

y reemplazando el espejo secundario por uno hiperbólico el telescopio se convierte en un Cassegrain²⁰ clásico para fotometría o espectroscopía.

Las propuestas de estos tres telescopios fueron aprobados por el SRC británico en noviembre de 1974 y el trabajo comenzó sin retraso. El RGO, bajo la dirección del profesor A. Boksenberg, asumió el liderazgo tanto del diseño como del desarrollo de los telescopios y sus instrumentos. Otros responsables del proyecto en el RGO eran W. A. Goodsell, jefe del equipo, J. D. Pope, jefe del diseño de los telescopios, y G. A. Harding, científico del proyecto. Inicialmente sólo se contaba con la aprobación financiera para los dos telescopios más pequeños, mientras que los fondos para el telescopio de 4.2 metros se dispusieron más tarde. Por lo tanto, la pieza central en estos primeros años fue el telescopio de 2.5 metros Isaac Newton. El trabajo no sólo se centró en el traslado sino también en la mecánica (para adaptar la montura a una latitud diferente), la electrónica, los sistemas de control, e incluso, el espejo primario. El espejo principal del INT fue reemplazado por uno de dimensiones ligeramente mayores (de 98 a 100 pulgadas de diámetro) de mejor calidad óptica y de vitrocerámica Zerodur. El telescopio se colocaría en una nueva cúpula en lo alto de un edificio que también ofrecía espacio para oficinas y talleres, e incluso cocina y comedor donde pudiera servirse comida a un pequeño número de comensales.

La estructura mecánica del INT fue embarcada para La Palma en 1981 y vuelta a ensamblar en su nueva cúpula en 1982. Después de que el edificio fuese entregado el 17 de enero de 1983, los talleres y otras instalaciones completadas, el telescopio fue completamente montado junto con su nuevo y recién aluminizado²¹ espejo primario hacia finales de 1983. En

²⁰ Un telescopio Cassegrain es un telescopio reflector en el que un espejo secundario convexo refleja la luz hacia un foco a través de un agujero situado en el espejo primario. La sección transversal del espejo secundario convexo es hiperbólica, mientras que la del espejo primario es parabólica. El espejo primario tiene un agujero central a través del cual la luz es llevada hacia el foco Cassegrain. Si tras la reflexión en el espejo primario no hacemos reflejar la luz en el espejo secundario sino que se hace enfocar, entonces tendremos lo que se llama un foco primario. Si tras la reflexión en el espejo secundario, y antes de atravesar el agujero del espejo primario, sacamos la luz hacia un lado con un espejo plano y la hacemos enfocar, entonces tendremos un foco Nasmyth (denominado así en telescopios con monturas de tipo acimutal). La diferencia en utilizar uno u otro foco se encuentra en las características ópticas (más luz y mayor campo accesible en el foco primario) y físicas (más espacio disponible para instalar instrumentos en el Nasmyth) que posee cada uno y que se necesitan para un determinado proyecto o instrumento. La capacidad de generar múltiples focos Cassegrain y Nasmyth con el uso de espejos planos móviles permite disponer de varias estaciones focales a lo largo de una observación y, por lo tanto, incrementar el número de instrumentos que se pueden utilizar sin tener que realizar ningún cambio laborioso.

²¹ Los espejos de los telescopios profesionales son recubiertos de una fina capa de aluminio de 0.1 micrones de grosor, un metal que refleja el 87% de la luz incidente y que presenta similar comportamiento tanto en el rango óptico de longitudes de onda como en el infrarrojo cercano. Esta capa de aluminio es repuesta cuando el porcentaje de reflectividad cae hasta cierto nivel. Al proceso de reposición de la capa de aluminio se le suele denominar *realuminizado*.

febrero de 1984 se registró la primera luz en el foco primario²², y a finales de mayo del mismo año el primer astrónomo comenzó a utilizar el telescopio.

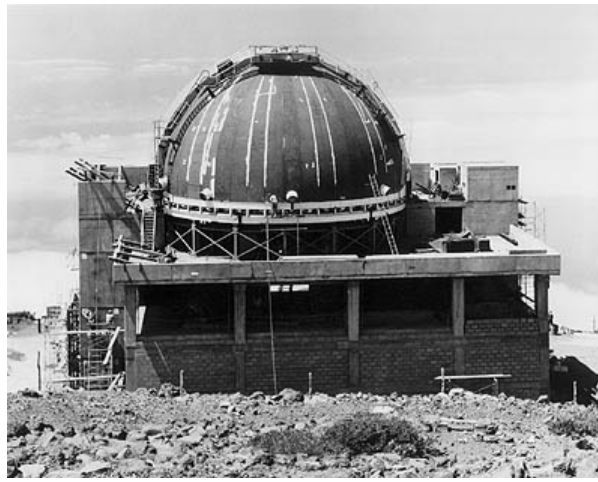
La construcción del JKT comenzó en paralelo con el INT. Tras los chequeos iniciales en Herstmonceux²³ el telescopio fue enviado a La Palma en el verano de 1983. Como anécdota diremos que cuando se encontraba en el mar, un Harrier de la Royal Navy británica tuvo que hacer un aterrizaje de emergencia en el carguero SS Alraigo, el barco que lo transportaba. El telescopio se erigió dentro de su cúpula en octubre de 1983 y el edificio se entregó en enero de 1984. Los sistemas de control fueron instalados en febrero y las primeras placas fotográficas fueron tomadas el 23 de marzo de 1984. Por la misma fecha se anunció públicamente el nombre del telescopio por Sir Patrick Moore, uno de los grandes divulgadores de la astronomía. Jacobus Kapteyn fue un astrónomo holandés que había trabajado con problemas de estructura galáctica similares a aquellos que el telescopio iba a afrontar, y por esta razón se decidió nombrar al telescopio de 1.0 metros el telescopio Jacobus Kapteyn.

En estos primeros años el comienzo de las operaciones se desarrolló en condiciones de trabajo que en ocasiones llegaron a ser muy duras. Infraestructuras básicas tales como carreteras, alojamiento, teléfono y electricidad estaban todavía en instalación y generalmente no eran muy fiables. En 1985 el acceso al observatorio mejoró considerablemente con la conclusión de la carretera de acceso por el lado este de la isla, conectando el observatorio con la capital, el puerto y el aeropuerto. Los barracones cercanos al INT se utilizaban como viviendas *espartanas*, mientras que las oficinas, los talleres, la cocina, el comedor y las áreas de recreo se concentraron en el edificio del INT, a la espera del comienzo de la utilización de la residencia del observatorio. Por esta razón, una cocina que estaba diseñada sólo para cocinar unos pocos snacks para los observadores, tenía que preparar comida para 30 trabajadores, tres veces al día. Pero a pesar de estas condiciones, el extraordinario sentimiento de excitación por conseguir un objetivo común, hizo de estos años una experiencia memorable.

Mientras que el INT y el JKT ya habían comenzado sus operaciones, la construcción del WHT estaba en marcha. Antes de esto, a mediados y finales de los setentas, se había producido una importante discusión en el Reino Unido acerca de qué tipo de telescopio tenía

²² El foco primario es el foco del espejo primario. De los telescopios del ING, el INT y el WHT ofrecen la posibilidad de instalar instrumentos en el foco primario. En ambos casos un reductor de focal permite disponer de una única unidad que alberga el foco primario y el espejo secundario.

²³ El telescopio fue instalado en la cúpula vacía del INT para comprobar su funcionamiento con el sistema de control del INT.



Inicios de la construcción del INT hacia 1981. Fotografía de D. A. Calvert.



Telescopio INT y carretera de acceso al Roque hacia junio de 1983. También sale fotografiado uno de los transportes habituales del personal del observatorio. Fotografía procedente del archivo del RGO.



Instalación del telescopio JKT en el otoño de 1983. Fotografía procedente del archivo del RGO.

que ser. En aquellas fechas, el concepto de telescopio de múltiples espejos²⁴ estaba todavía en fase de maduración, y además se discutían otros diseños alternativos para los telescopios del futuro. Sin embargo, la tecnología disponible por entonces no permitía espejos pulidos delgados de una sola pieza de importantes dimensiones o segmentados. Como la necesidad de contar con un telescopio de la clase de 4 metros era urgente en el hemisferio norte, el WHT se diseñó y se construyó como un telescopio versátil que hiciera uso de la última y por entonces actual tecnología, y por lo tanto, minimizando el riesgo de retrasos en su desarrollo. Esta es la razón por la que se escogió la opción de un espejo primario de una sola pieza.

En 1978 la empresa americana Owens Illinois disponía de un bloque de vitrocerámica Cervit sin pulir de 4.2 metros de diámetro²⁵. Sin embargo, se corría el riesgo a perder esta valiosa oportunidad si el bloque no era adquirido pronto, ya que la empresa contaba con planes para dividirlo en piezas más pequeñas y facilitar así su venta. Se barajaron otras posibilidades, como encargar un bloque de Zerodur a Schotts en Alemania de similar diámetro, pero tenía que fabricarse un nuevo horno lo cual aumentaría los costes y el tiempo de construcción. Por lo tanto, ignorar la oferta de Owens-Illinois suponía afrontar un considerable retraso y un incremento del coste muy significativo. Además, el dilema tenía que resolverse mientras todavía las negociaciones con España para la instalación y uso de telescopios en el observatorio del Roque de Los Muchachos estaban sin concluir.

Finalmente se decidió la compra del bloque de 4.2 metros de diámetro. El diseño final del WHT pudo entonces completarse, al conocerse la apertura final del telescopio, y se realizó un estudio de la flexibilidad del espejo para diseñar su sistema de soporte (Mack, 1980). En el momento de su finalización, el WHT iba, por lo tanto, a convertirse en el tercer mayor telescopio del mundo con espejo primario de una sola pieza²⁶.

²⁴ El Multiple Mirror Telescope (MMT) de 6.5 metros de diámetro fue el primer gran telescopio en utilizar pequeños espejos individuales para constituir un único espejo primario. En concreto disponía de 6 espejos de 1.8 metros de diámetro. Fue un proyecto conjunto de la Smithsonian Institution y la universidad de Arizona, y vio su primera luz en 1979.

²⁵ La empresa Owens-Illinois fabricó varios bloques circulares de Cervit: uno de diámetro 3.9 metros que se utilizó en el telescopio Anglo-Australiano construido por el Reino Unido y Australia en 1974 en el observatorio de Siding Spring en Australia; otro de 4.0 metros para el telescopio Víctor M. Blanco construido por Estados Unidos en 1974 en el observatorio de Cerro Tololo en Chile, y finalmente el bloque de 4.2 metros que el SRC adquirió como espejo primario del WHT, y que en su momento se encontraba en stock en Owens-Illinois. Esta empresa fabricaba los bloques de Cervit con los moldes del anterior bloque pero agrandando cada molde ligeramente.

²⁶ Sus predecesores en el ranking eran el telescopio acimutal Bolshoi de 6 metros de diámetro situado en el Special Astrophysical Observatory en Rusia y el telescopio Hale de 5 metros de diámetro en el observatorio de Monte Palomar en Estados Unidos.

La montura escogida fue de tipo acimutal²⁷, que suponía una característica nueva. Consecuentemente, el telescopio podía disponer de instrumentos en los focos primario, Cassegrain y Nasmyth. La elección de esta montura permitía reducir el peso en 120 toneladas y la altura de la cúpula a la mitad en comparación con una montura de tipo ecuatorial. Para cambiar de foco primario a espejo secundario y evitar la instalación de una gran grúa para cambiar toda la araña²⁸ y su anillo, se diseñó una araña rotante.

En mayo de 1983 comienzan los trabajos en La Palma. Tras la preparación del lugar escogido, y la construcción de la cúpula²⁹ y del edificio, el telescopio se comenzó a instalar en otoño de 1985 con la llegada del sistema hidráulico y el soporte de acimut. Un equipo de ingenieros del RGO fue el encargado de supervisar la instalación y la puesta a punto. Otros componentes del telescopio como la estructura, los espejos y la planta de aluminizado³⁰ llegaron en la siguiente primavera por barco. Las muchas curvas de la recién terminada carretera de acceso por Mirca hicieron del transporte de las grandes piezas una tarea complicada. Y nuevas complicaciones llegaron cuando la empresa encargada del pulido del bloque de Cervit y la construcción del telescopio, Grubb Parsons, anunció que interrumpiría su trabajo con telescopios astronómicos después de terminar el WHT. Esto significaba que los ingenieros del RGO tenían que asumir un papel todavía más relevante. Tras la puesta a punto del sistema de control en la primavera de 1987, se aluminizó el espejo primario y se instaló en

²⁷ La montura acimutal permite pivotar el telescopio verticalmente hacia arriba y hacia abajo (movimiento en altura) alrededor de un eje horizontalmente, y en acimut alrededor de un eje vertical, con lo cual el telescopio puede apuntar en cualquier dirección en el cielo, excepto a unos pocos grados en el zénit. El seguimiento de un objeto a través del cielo requiere por lo tanto de movimientos simultáneos alrededor de ambos ejes. El control de ambos movimientos, y la derrotación del campo de visión, debe efectuarse por ordenador. Aunque la montura acimutal es más sencilla mecánicamente y de menor tamaño, los grandes telescopios no la incorporaron hasta la aparición de ordenadores capaces de realizar las correcciones a su movimientos de forma fiable. El WHT es generalmente reconocido como uno de los primeros grandes telescopios en incorporar de manera eficiente una montura acimutal.

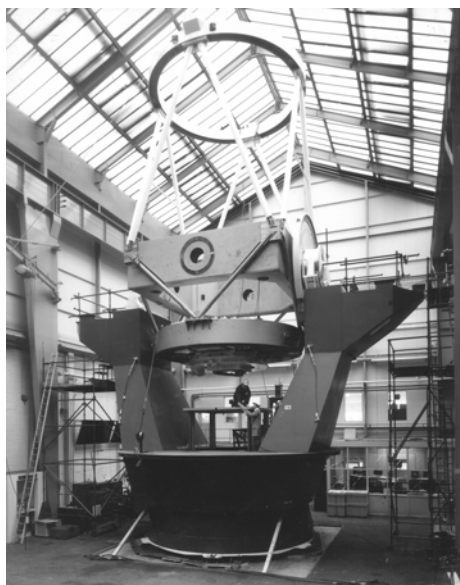
²⁸ La araña de un telescopio son los radios que unen la unidad de foco primario con la montura.

²⁹ La cúpula, que pesa 320 toneladas, fue fabricada por la empresa canadiense Brittain Steel en 1984. Tiene forma de cebolla, con un diámetro interno de 21 metros. Dispone de dos compuertas, una superior y principal, y otra inferior o secundaria que puede desplazarse hacia arriba para permitir observaciones a menos de 12 grados de altitud. Existe otra compuerta interior que se puede elevar para proteger el telescopio del viento durante las observaciones. La cúpula gira sobre un raíl que se asienta en una base cilíndrica. Internamente la cúpula está revestida de un aislante térmico que permite conservar la temperatura de la noche aproximadamente en su interior. Para ventilaciones forzadas se pueden utilizar los ventiladores dispuestos a su alrededor.

³⁰ La planta de aluminizado es esencialmente un tanque cilíndrico de unos 4.5 metros de diámetro por 5 de alto donde se aluminizan los espejos del WHT y del resto de telescopios del observatorio. El aluminio se evapora en su parte superior y el vacío del tanque permite que el aluminio se pose sobre la superficie del espejo de forma uniforme y limpia. La planta de aluminizado fue construida por la empresa Balzers de Liechtenstein, quien a su vez contrató la construcción del tanque a Grazebrook Limited, una firma británica.



Construcción del telescopio William Herschel. Pulido del bloque del espejo en Grubb Parsons en 1983. Fotografía procedente del archivo de Nei Grubb Parsons Limited.



Ensamblaje de la montura del telescopio en Grubb Parsons en 1984. Fotografía procedente del archivo del RGO.



Construcción de la cúpula y el edificio en La Palma en septiembre de 1984. Fotografía procedente del archivo del RGO.

el telescopio en mayo de 1987, quedando las 186 toneladas de telescopio preparadas para su utilización con fines astronómicos.

A la hora de elegir un nombre para el telescopio se tuvo en cuenta el éxito de su diseño, su montura y las relaciones con España. Sir William Herschel fue el primer astrónomo en construir la montura acimutal con acierto sin precedentes en un telescopio, uno de los cuales, y posiblemente el mejor, es el que le encargó el Observatorio de Madrid en 1803. Por esta razón, el telescopio de 4.2 metros pasó a denominarse telescopio William Herschel.

Dirección del proyecto	<i>Royal Greenwich Observatory, Reino Unido, por encargo del Science & Engineering Research Council</i>
TELESCOPIO	
Ingenieros consultores para la montura y su movimiento	<i>Freeman Fox & Partners, Londres</i>
Diseño	
Concepto y diseño globales	<i>Royal Greenwich Observatory, junto con universidades británicas</i>
Montura y estructura del tubo	<i>Freeman Fox & Partners, Londres</i>
Sistemas de movimiento	<i>Marconi Radar Systems Ltd., Leicester, Reino Unido</i>
Soportes hidrostáticos	<i>SKF Bearing Co., Gothenberg, Suecia</i>
Componentes ópticos	<i>Grubb Parsons, NEI Parsons Ltd., Newcastle upon Tyne, Reino Unido</i>
Control por ordenador	<i>Royal Greenwich Observatory, Reino Unido</i>
Construcción	
Principal contratista para la óptica, el tubo y la montura	<i>Grubb Parsons, NEI Parsons Ltd., Newcastle upon Tyne, Reino Unido</i>
Sistemas de movimiento	<i>Marconi Radar Systems Ltd., Leicester, Reino Unido</i>
Soportes hidrostáticos	<i>SKF Bearing Co., Gothenberg, Suecia</i>
Otros contratos	
Planta de aluminizado de espejos	<i>Balzars, Liechtenstein</i>
Espejo primario sin pulir	<i>Owens-Illinois, Toledo, Ohio, Estados Unidos</i>
EDIFICIO	
Ingenieros consultores	<i>Freeman Fox & Partners, Londres</i>
Arquitectos	<i>Díaz Llanos y Saavedra, Tenerife</i>
Cimentación	<i>Cimentaciones Especiales Rodio S. A., Madrid</i>
Principal contratista	<i>Entrecanales S. A., Madrid</i>
CÚPULA	
Contratista (diseño y construcción)	<i>Brittain Steel Ltd., Vancouver, Canadá</i>

Empresas e instituciones encargadas del diseño y construcción del WHT.

Durante todos estos años muchos ingenieros y astrónomos han ofrecido sus mejores servicios al observatorio, pero uno de ellos está especialmente ligado con el desarrollo de las

instalaciones en La Palma. El doctor Paul Murdin fue astrónomo jefe de proyecto durante la fase de construcción, y entre sus muchas cualidades, mantuvo fuertes lazos de unión con el observatorio hasta su jubilación en 2001³¹.

Telescopio	Diámetro espejo primario	Tipo de montura	Fecha de la primera luz	Focos disponibles
WHT	4.2 m	Acimutal	1 de Junio de 1987	Primario a F/2.81 Cassegrain a F/10.94 Nasmyth a F/10.94
INT	2.54 m	Ecuatorial de disco polar y horquilla ³²	13 de Febrero de 1984	Primario a F/3.29 Cassegrain a F/15 Coudé a F/50 ³³
JKT	1.0 m	Ecuatorial de ejes cruzados ³⁴	23 de Marzo de 1984	Cassegrain a F/8.06 Cassegrain a F/15

Resumen de las características de los telescopios.

3. Evolución organizativa

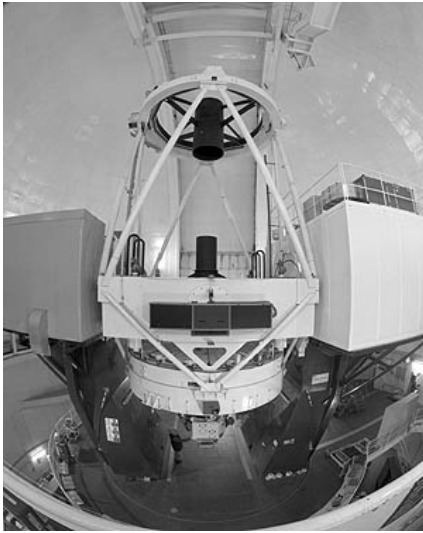
En la reunión del 25 de mayo de 1984 del comité científico internacional encargado de la supervisión de los acuerdos de los observatorios canarios, el professor Alec Boksenberg, como director del RGO, anunció que el nombre “UK Optical Telescopes” (telescopios ópticos

³¹ Con motivo de su retiro el Grupo de Telescopios Isaac Newton organizó el congreso: “Science from La Palma - Past, Present and Future” en octubre de 2001 en La Palma.

³² La montura ecuatorial dispone de un eje polar, paralelo al eje de rotación de la Tierra, y de otro eje de declinación, perpendicular al anterior. En el caso del INT, el eje polar consiste en un disco sobre el cual se apoya una horquilla que sostiene el telescopio. Esta montura es la misma que utilizaba el INT en Herstmonceux, por lo que al desplazarla a La Palma hubo que cambiar la inclinación de su eje polar para hacerla corresponder con la latitud de La Palma (de 50 grados en Herstmonceux a 28 grados en La Palma) y retirar una pequeña porción del disco polar para permitir la visibilidad de uno de sus telescopios buscadores cuando apunta al sur. De todas maneras, el INT tiene una visibilidad reducida cuando apunta hacia el sur debido al tipo de montura que utiliza (no menos de 30 grados de altitud).

³³ Nunca implementado.

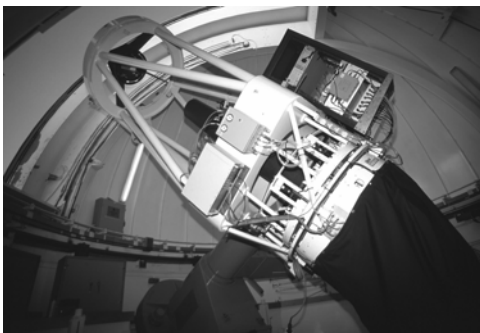
³⁴ La montura del JKT es una montura ecuatorial alemana o de ejes cruzados, muy popular entre los pequeños telescopios amateur, pero algo modificada (el contrapeso no se encuentra justo al otro lado del telescopio sino más abajo). Este tipo de montura permite al JKT apuntar casi en cualquier dirección, en particular, a bajas altitudes hacia el sur. Esta última característica, junto con el hecho de que el JKT se encuentra muy cerca del borde de la Caldera de Taburiente, aseguraba que los primeros telescopios británicos podían sacar provecho de la latitud de La Palma para observar objetos celestes con posiciones meridionales.



Vista actual del telescopio William Herschel de 4.2 metros. Fotografías de Jens Moser (izquierda) y Nik Szymanek (derecha).



Vista actual del telescopio Isaac Newton de 2.5 metros (interior y exterior). Fotografías de Javier Méndez (izquierda) y Nik Szymanek (derecha).



Vista actual del telescopio Jacobus Kapteyn de 1.0 metros (al fondo a la derecha el INT). Fotografías de Nik Szymanek.

del Reino Unido) del NHO, utilizado para referirse a las instalaciones británicas en La Palma, sería reemplazado por el de “Grupo Isaac Newton” (Murdin, 1984). Este puede considerarse el nacimiento del ING. A partir de entonces, y a medida que los telescopios y el ING como organización van madurando, se iba a producir un movimiento gradual hacia una mayor independencia organizativa, a veces planificado, a veces forzado por las circunstancias.



Logotipo del Grupo de Telescopios Isaac Newton utilizado desde finales de los ochenta hasta la actualidad.



Algunos de los directores del Grupo de Telescopios Isaac Newton entre los ochenta y la actualidad. De izquierda a derecha: Jasper Wall, Paul Murdin, Jan Lub y René Rutten. Fotografía de Javier Méndez.

En los primeros años de operación el ING actuaba como una *sucursal* del RGO, y por lo tanto, bajo la directa responsabilidad y supervisión del director del RGO en el Reino Unido. Localmente, en La Palma, el día a día era responsabilidad del Officer-in-Charge (oficial al cargo).

El fuerte lazo histórico con el RGO, donde los telescopios y varios instrumentos habían sido concebidos, tuvo gran influencia en el ING. Muchos de los ingenieros y astrónomos del ING venían del RGO, y trabajaban en La Palma por unos años. Esto suponía que el ING contaba a su disposición con un gran equipo de especialistas con gran conocimiento de las instalaciones y en quienes podía confiar en caso de problemas graves. La planificación de desarrollos claves, planes de instrumentación, el mantenimiento, las mejoras, la elaboración de calendarios de observación e ingeniería, e incluso, las actividades de apoyo a observadores externos eran, en gran medida, realizados por personal del RGO en el Reino Unido, a cientos de kilómetros del observatorio. Este tipo de organización tuvo sus beneficios pero el tiempo demostró que era necesario efectuar cambios.

Hasta 1995 los observatorios del Reino Unido en La Palma y en Hawai, junto con el RGO y el Royal Observatory Edinburgh (ROE) constituían los denominados UK's Royal Observatories (observatorios reales del Reino Unido), bajo el paraguas del PPARC³⁵, y con un único director. Esta estructura fue disuelta en 1995, y cada una de las instituciones tuvo su propio director, con responsabilidad total sobre presupuestos, personal y ejecución del programa de actividades. Este cambio supuso que el ING, por primera vez, tuviera su propio director, permanentemente en La Palma, y además un paso importante hacia su independencia organizativa. El PPARC continuó siendo su organización superior y los lazos históricos con el RGO se mantuvieron.

Justo después de que el ING se estableciera como una unidad independiente dentro del PPARC, se anunció la intención del gobierno británico de iniciar un proceso de privatización de las instituciones públicas, lo cual afectaría al PPARC, y por lo tanto, al ING. Se invirtió mucho esfuerzo en explorar las diferentes opciones y cómo el observatorio podía funcionar fuera del sistema civil, pero al final esta iniciativa se canceló para alivio de muchos.

En 1997 un cambio importante sucedió cuando el PPARC anuncia el cierre del RGO³⁶ y que concentraría el trabajo de desarrollo de telescopios e instrumentos en el recién creado

³⁵ El PPARC es el Particle Physics and Astronomy Research Council que se creó, junto con otros research councils, a partir del Science and Engineering Research Council (SERC), el cual, a su vez, había evolucionado a partir del Science Research Council (SRC).

³⁶ El Royal Greenwich Observatory (RGO) fue creado en Greenwich (Londres) en 1675 por el rey Carlos II y se trasladó tras la Segunda Guerra Mundial a Herstmonceux (East Sussex) huyendo de la contaminación lumínica de Londres. A mediados de los cincuenta el observatorio estaba completamente operativo, y el RGO desarrolla sus actividades de investigación en el castillo de Herstmonceux. Posteriormente en 1991 el RGO fue trasladado a Cambridge y finalmente en 1997 cesó definitivamente su actividad. En el momento del cierre, el RGO era la institución astronómica más antigua del Reino Unido. En abril de 1995 se creó el Observatory Science Centre, un centro divulgativo, en Herstmonceux y en 1998 el National Maritime Museum de Londres, situado en Greenwich, pasa a denominarse también Royal Observatory, Greenwich.

Astronomy Technology Centre³⁷. En ese momento el ING perdía la gran balsa de conocimiento y experiencia que representaba su institución paterna. Con el cierre del RGO, además, el personal del ING en La Palma tenía que liderar las actividades de investigación y desarrollo, diferentes a las tradicionales actividades de operación y mantenimiento que hasta entonces venían efectuando. Con el objeto de transferir tanto conocimiento como era posible a La Palma, se inició un intenso programa de entrenamiento y documentación. Fueron tiempos difíciles y de incertidumbre.

Otro cambio importante se produce en 1999, cuando se incorpora el ING Board como grupo de gobierno del ING. Inicialmente, cuando se acordó la colaboración entre el Reino Unido y Holanda, el Joint Steering Committee (JSC), con representantes de las instituciones financiadoras y científicos de los dos países, supervisaba la dirección científica de los telescopios y aprobaba los presupuestos. Con el objeto de afianzar el grupo de gobierno del ING e incluir los intereses de la comunidad de usuarios española, también se incorporó un miembro español al ING Board.

Con la decisión del Reino Unido de convertirse en miembro del European Southern Observatory (ESO)³⁸, el PPARC británico necesitó hacer recortes en su programa de astronomía con el fin de afrontar los gastos anuales que se derivan de la participación en ESO. Estos recortes afectaron a varias de sus instalaciones, y en concreto, el ING estudió varios modelos de operación para ajustarse a la nueva situación financiera. El 5 de diciembre de 2001 el PPARC anuncia la decisión de aprobar el mejor modelo de gestión para el ING y comienza un plan de reestructuración para terminar ajustándose al mismo en el 2005. El nuevo modelo del ING incluye suspender la operación del JKT en 2003, continuar la operación del INT con un solo instrumento a partir de agosto de 2003 y concentrar los esfuerzos en desarrollar el WHT para convertirlo en un instrumento muy competitivo dentro de su clase.

Hace ya más de una década que se reconoció el importante valor de ampliar la colaboración internacional con otras instituciones presentes en el observatorio con el objeto de poder realizar una operación económicamente más eficiente compartiendo personal, servicios, instalaciones e instrumentación. También sería beneficioso desde el punto de vista científico, acercando las comunidades de astrónomos, y creando, en general, mayor estabilidad. Se producen conversaciones en busca de colaboraciones con los telescopios

³⁷ Centro tecnológico de astronomía o ATC. Se estableció en el anterior ROE en Edimburgo, Escocia.

³⁸ El Reino Unido iba a ser admitido como miembro de ESO el 8 de julio de 2002.

Nazionale Galileo (TNG) de 3.6 metros de Italia, el Nordic Optical Telescope (NOT) de 2.5 metros de países escandinavos y el Gran Telescopio de Canarias (GTC) de 10.4 metros de España y actualmente en construcción. El ejemplo más importante ha sido la reciente adhesión en 2002 del Instituto de Astrofísica de Canarias como socio pleno en el ING. Pero también a menor escala se han producido otras colaboraciones, como compartir el actual edificio de oficinas en Santa Cruz de La Palma, y servicios tales como una biblioteca, la planta de producción de nitrógeno líquido, los generadores eléctricos de emergencia, un monitor de seeing, un monitor de gran campo para la detección de nubes, y más recientemente, el intercambio de tiempo de observación con el TNG. En el futuro afianzar estas colaboraciones y extenderlas será de importancia creciente.

Con el afán de promocionar y potenciar la investigación con los telescopios del ING y, en general, desarrollar un ambiente científico de calidad en La Palma, el ING se ha embarcado en la organización de una serie de congresos internacionales en los últimos años, que han atraído a cientos de investigadores a discutir en La Palma sobre los últimos avances en varios campos de la astrofísica. Entre las reuniones más destacadas, cabe mencionar los congresos “The central kiloparsec of starbursts and active galactic nuclei” (2001), “Symbiotic stars probing stellar evolution” (2002) y “Satellites and tidal streams” (2003), este último organizado conjuntamente con el Instituto de Astrofísica de Canarias.

Año	Evento
Enero de 1967	Propuesta de crear el Northern Hemisphere Observatory (NHO).
1 de diciembre de 1967	La Reina Isabel II inaugura el telescopio Isaac Newton en Herstmonceux, Reino Unido.
6 de agosto de 1972	Primeros estudios de la calidad del cielo nocturno de La Palma.
Noviembre de 1974	El Science Research Council aprueba la construcción de los tres telescopios propuestos para el NHO.
4 de marzo de 1979	Cierre del telescopio Isaac Newton en Herstmonceux.
26 de mayo de 1979	Firma del Acuerdo Internacional en Materia de Astrofísica.
18 de junio de 1981	Firma del acuerdo entre Reino Unido y Holanda para la colaboración en astronomía.
Julio de 1981	Comienza la construcción de los telescopios Isaac Newton y Jacobus Kapteyn en La Palma.
Mayo 1983	Comienza la construcción del telescopio William Herschel en La

	Palma.
13 de febrero de 1984	Primera luz del telescopio Isaac Newton.
23 de marzo de 1984	Primera luz del telescopio Jacobus Kapteyn.
29 de junio de 1985	Inauguración oficial del observatorio del Roque de Los Muchachos.
1 de junio de 1987	Primera luz del telescopio William Herschel.
31 de octubre de 1988	El gobierno español aprueba la Ley de Protección del Cielo.
31 de octubre de 1998	Cierre del Royal Greenwich Observatory (RGO).
6 de mayo de 2003	Firma del acuerdo con el Instituto de Astrofísica de Canarias.

Algunos eventos importantes de la cronología del ING.

4. Logros científicos y técnicos

Los requerimientos científicos que guiaron el diseño del WHT indicaban que el telescopio debía ser versátil con una calidad de imagen, apuntado y seguimiento excelentes. La versatilidad implicaba el uso de varias estaciones focales, la opción de cambiar de una a otra rápidamente y un conjunto de instrumentos de alto nivel que permitiera realizar imagen y espectroscopía. Los objetivos científicos y los temas claves de aquellos días se centraban en el estudio de agujeros negros masivos en galaxias³⁹, espectros de cuásares⁴⁰ distantes, núcleos activos de galaxias⁴¹ y la identificación de fuentes de radio distantes⁴². Estos objetivos definieron el conjunto de instrumentos de primera generación.

Los primeros instrumentos del INT fueron el Intermediate Dispersion Spectrograph (IDS), el espectrógrafo Fabry-Perot TAURUS, el Faint Object Spectrograph (FOS) y una cámara CCD a foco primario. Este conjunto de instrumentos evolucionó hasta disponer del IDS y una cámara CCD de gran campo, la Wide Field Camera (WFC), que, en la actualidad y

³⁹ A partir de la dinámica observada en el centro de algunas galaxias, se cree que éstas albergan gigantescos agujeros negros en sus centros.

⁴⁰ Los cuásares son galaxias con apariencia cuasi-estelar de gran brillo intrínseco, cualidad esta que permite su observación a grandes distancias.

⁴¹ Algunas galaxias presentan núcleos con variación de brillo que son atribuidos a la existencia de grandes agujeros negros que interactúan con su vecindad.

⁴² Muchas fuentes son detectadas en el rango del espectro electromagnético de las ondas de radio, donde la atmósfera también es transparente, antes que en el óptico. Su identificación con una fuente en el óptico permite estudiar mejor su comportamiento y naturaleza.

desde agosto de 2003, es el único instrumento disponible. En todo este período de tiempo el INT también ha admitido varios instrumentos visitantes⁴³.

El WHT comenzó sus observaciones con unos instrumentos similares a los del INT: el primero fue el espectrógrafo Fabry-Perot TAURUS-2, le siguió el FOS-2 que demostró ser un instrumento útil para surveys⁴⁴ espectroscópicos donde se requería la identificación del objeto o la determinación de su corrimiento al rojo. Su alta eficiencia combinada con el amplio rango espectral que podía cubrir, lo convertían en un instrumento puntero.

El caballo de batalla del WHT llegó en 1989: el espectrógrafo ISIS. La clave de este espectrógrafo está en su alta gama de resoluciones espectrales, junto con su alta transmitancia y eficiencia en general. Esto se consigue con dos brazos separados optimizados para el rango rojo y azul del espectro electromagnético respectivamente y que pueden ser utilizados conjunta o individualmente. ISIS ha sido un instrumento muy competitivo y popular entre los astrónomos debido a su original diseño y a las mejoras posteriores⁴⁵ que han incrementado sus capacidades.

Los siguientes instrumentos en hacer su aparición en el WHT fueron: el espectrógrafo de alta resolución Utrecht Echelle Spectrograph (UES), el espectrógrafo de múltiples rendijas Low-Dispersion Survey Spectrograph (LDSS-2), la cámara del puerto auxiliar Auxiliary Port Camera, la cámara de foco primario Prime-Focus imaging Camera (PFC), el espectrógrafo de fibras ópticas Wide-field Fibre Optic Spectrograph (WYFFOS) junto con la unidad multi-objeto de fibras ópticas Automated Fibre Positioner (AUTOFIB-2), el espectrógrafo de área de fibras ópticas INTEGRAL, las cámaras de imagen infrarroja William Herschel Infrared Camera (WHIRCAM) e Isaac Newton Group Red Imaging Device (INGRID), y más recientemente el instrumento para el infrarrojo Long Slit Intermediate-Resolution InfraRed

⁴³ Se entiende por instrumento visitante aquel diseñado y construido por un grupo de investigadores con un objetivo científico o tecnológico específico y que es instalado en los telescopios por un corto intervalo de tiempo para beneficio del mismo grupo de investigadores. En ocasiones, el éxito de algunos de ellos ha provocado que estos instrumentos privados sean ofertados a otros investigadores o que, incluso, pasen a formar parte del conjunto de instrumentos de uso común, o aquéllos mantenidos por el ING y que pueden ser ofertados a toda la comunidad de usuarios.

⁴⁴ El término survey se utiliza en astronomía para denominar aquellos programas que requieren estudiar un gran número de objetos para lo cual es necesario utilizar instrumentos que puedan hacerlo eficazmente. Por ejemplo, un mapeo de una región del cielo para hacer un catálogo de enanas marrones es un survey y necesitaría un instrumento que al mismo tiempo sea capaz de hacer imágenes profundas, o capaces de detectar objetos muy débiles, y registrar un campo de visión amplio. Sólo así el survey de enanas marrones podría llevarse a cabo. Los surveys pueden ser de imágenes, como el ejemplo expuesto, pero también pueden ser espectroscópicos, es decir, que el conjunto de datos a obtener son espectros electromagnéticos.

⁴⁵ Entre ellas cabe destacar la capacidad de medir la polarización de la luz, nuevos y mejores detectores y un seccionador de imágenes.

Spectrograph (LIRIS), el sistema de óptica adaptativa⁴⁶ Nasmyth Adaptive Optics for Multi-purpose Instrumentation (NAOMI) junto con el coronógrafo Optimized Stellar Coronagraph for Adaptive optics (OSCA) y el espectrógrafo de área de microlentes Optically Adaptive System for Imaging Spectroscopy (OASIS), estos tres últimos instrumentos permanentemente montados en el GRound based Adaptive optics Controlled Environment (GRACE) en uno de los focos Nasmyth.

El telescopio Jacobus Kapteyn ha dispuesto de un conjunto de instrumentos más humilde pero igualmente versátil y capaz de explotar su capacidad fotográfica de gran campo⁴⁷. Los principales instrumentos utilizados han sido: en el foco Cassegrain a f/8.06 la Wide-field Photographic Camera (WPF), y en el foco Cassegrain a f/15, el Queen's University Belfast Echelle Spectrograph (QUBES), el Multi-purpose Photometer (MPF), el Richardson-Breareley Spectrograph (RBS), el People's Photometer (PP) y la cámara CCD, haciendo uso la mayoría de ellos también de la JKT Acquisition and Guidance Unit (JAG). La cámara CCD fue el instrumento más utilizado hasta que se suspendió la operación del telescopio en 2003 (anteriormente el JKT se había convertido en un telescopio con un único instrumento a partir de febrero de 1998 así como su operación se había optimizado para reducir al máximo los costes).

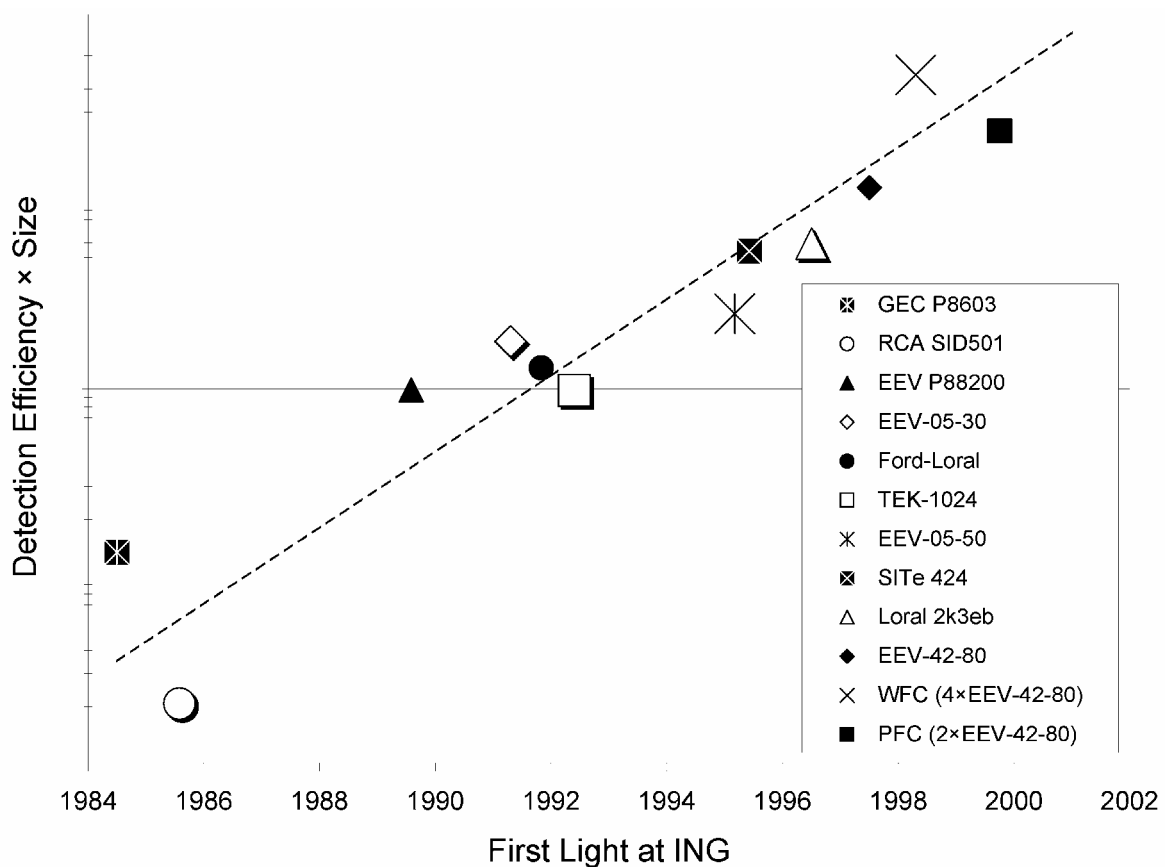
Sin entrar en más detalles sobre la evolución de los instrumentos utilizados en el ING, tres puntos son de gran importancia. En primer lugar, a lo largo de todos estos años se ha prestado una gran importancia a adquirir los mejores detectores⁴⁸. Por ejemplo, tanto el INT como el WHT fueron equipados desde muy temprano con detectores Imaging Photon Counting Systems (IPCS), que tenían la ventaja de combinar una eficiencia cuántica moderada a longitudes de onda cortas con prácticamente nulo ruido electrónico. Durante muchos años los IPCS superaron en prestaciones a los Charge-Coupled Devices (CCDs), que

⁴⁶ La óptica adaptativa es una técnica que permite reconstruir el frente de ondas que llega al telescopio y que ha sido degradado a su paso por la atmósfera. La técnica en sí consiste en analizar el frente de ondas y corregirlo mediante su reflexión en un espejo segmentado que se deforma según la información facilitada por el analizador del frente de ondas. Esta reconstrucción sólo puede realizarse con objetos brillantes (denominados estrellas naturales de guía) debido a la gran cantidad de luz que requiere el proceso, aunque la corrección luego afecta a un estrecho campo circundante. Las consecuencias de aplicar esta técnica son muy ventajosas: se puede obtener una calidad de imagen similar a la obtenida por los telescopios en el espacio. No obstante, tiene varias limitaciones. La principal es la restricción a observar sólo cerca de estrellas brillantes. Esta restricción puede ser solventada con el uso de un sistema capaz de producir estrellas brillantes artificiales en el campo de visión.

⁴⁷ Utilizando la posibilidad de cambiar el espejo secundario y observar a F/8.06 en el foco Cassegrain.

⁴⁸ Los detectores son los responsables de registrar el espectro o la imagen que producen los instrumentos, y posteriormente convertir la señal en digital para poder ser analizada en los ordenadores. Es importante que los detectores presenten una alta sensibilidad a la luz con el objeto de aprovechar al máximo la eficiencia de transmisión que nos ofrecen los telescopios y los instrumentos.

son ahora el detector más utilizado. Pero incluso en el campo de las CCDs, y gracias al importante grupo de detectores del RGO y del ING, los telescopios siempre han sido equipados con detectores de última generación. En la siguiente figura se muestra cómo la eficiencia de detección de fotones en las CCDs utilizadas en el ING ha crecido casi tres órdenes de magnitud, mucho más que el crecimiento en área colectora de los telescopios en el mismo período de tiempo, y sin contar claro está con la mayor rapidez y eficiencia con lo que las actuales CCDs pueden ser leídas en comparación con las primeras generaciones de detectores digitales.



Evolución de la capacidad de detección de las CCDs en el ING. La eficiencia de detección se define como la eficiencia cuántica pico dividida por el ruido de lectura típico. Escala logarítmica.

En segundo lugar, buena parte del beneficio científico de los telescopios ha provenido de la posibilidad de utilizar instrumentos visitantes. El ING siempre ha dado la bienvenida a estas iniciativas y de hecho es en la actualidad uno de sus objetivos. Para ello existe una estación focal permanente en uno de los focos Nasmyth del WHT, el laboratorio Ground-based High Resolution Laboratory (GHRIL). Han sido muchos los instrumentos visitantes que han pasado por los telescopios, tales como cámaras y espectrógrafos para el infrarrojo medio y cercano, espectrógrafos de área, espectrógrafos ópticos de varias clases, cámaras de gran campo, coronógrafos⁴⁹, cámaras de alta eficiencia temporal utilizando técnicas punteras (ver, por ejemplo, el primer uso astronómico de un detector basado en superconductores o Super Conducting Tunnel Junctions, en Perryman et al., 1999), y varios experimentos de alta resolución espacial, tales como síntesis óptica de aperturas, óptica adaptativa, estrellas láser de guía y cámaras de speckle⁵⁰. Aunque el uso de estos instrumentos punteros siempre ha supuesto un importante esfuerzo por parte del ING, se ha hecho con la confianza de que han sido construidos por grupos de investigadores muy motivados, capaces de generar ciencia de calidad en poco tiempo.

En tercer lugar, el archivo de datos del ING de 1984 hasta la actualidad es una fuente importante de información que es utilizada por astrónomos de todo el mundo como colección histórica y, al mismo tiempo, como una herramienta independiente de investigación. Desde temprano, el grupo de archivos de Cambridge tomó conciencia de la importancia de mantener un archivo con todos los datos obtenidos por los telescopios del ING y puso en marcha una serie de herramientas que facilitara el acceso a través de Internet a los muchos terabytes de datos generados por los telescopios, y a referencias cruzadas con otras bases de datos. La experiencia adquirida con el archivo del ING ha servido también para diseñar los futuros proyectos de archivos y recuperación de datos astronómicos que en la actualidad están en fase de estudio.

El impacto científico de los telescopios del ING ha sido estudiado en las memorias anuales del ING⁵¹, y en las referencias Benn y Sánchez (2001) y Benn (2002). La producción científica de los telescopios del ING se eleva a más de 2.700 artículos desde 1984 en revistas

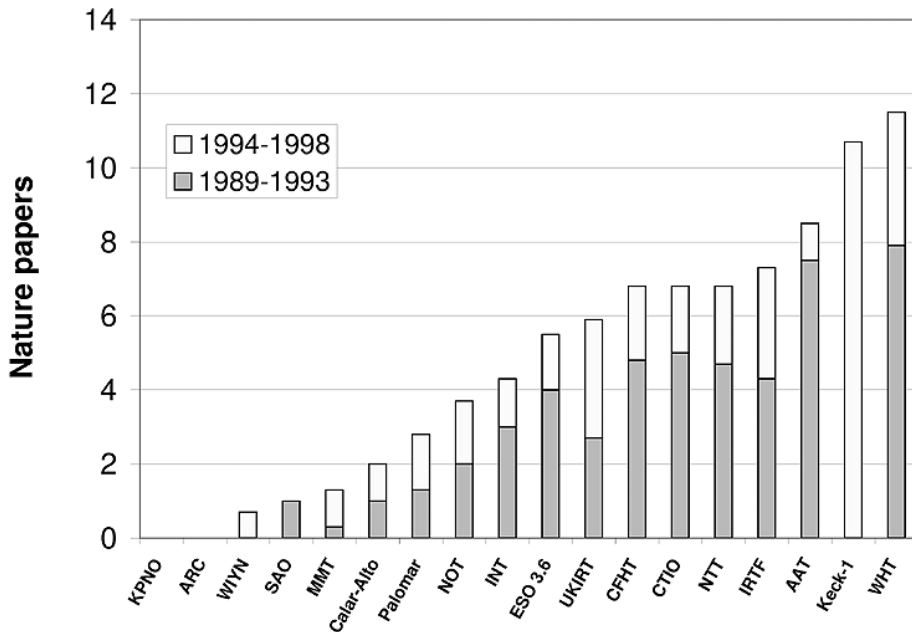
⁴⁹ Un coronógrafo es un instrumento que bloquea la luz de un objeto brillante en el plano focal. Se utiliza con frecuencia para bloquear la luz de estrellas brillantes y estudiar sus inmediaciones.

⁵⁰ Una cámara de speckle es una cámara rápida, con tiempos de exposición muy cortos para evitar la formación del perfil gaussiano de brillo típico del seeing. El objetivo, por lo tanto, de las cámaras de speckle es el de obtener imágenes de objetos brillantes con altas resoluciones espaciales.

⁵¹ Pueden leerse en <http://www.ing.iac.es/PR/AR/>.

<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimiento de un cuásar a corrimiento al rojo de 3.68, uno de los objetos más distantes (INT; Hazard y McMahon, 1985).
<ul style="list-style-type: none"> • Primeras imágenes a partir de síntesis de aperturas ópticas (INT; Haniff et al., 1987).
<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimiento de una estrella secundaria en evaporación en un púlsar binario (WHT; van Paradijs et al., 1988).
<ul style="list-style-type: none"> • Primeras imágenes ópticas de la superficie de una estrella distinta al sol (WHT; Buscher et al., 1990).
<ul style="list-style-type: none"> • La imagen más profunda en la banda B jamás obtenida (INT; Metcalfe et al., 1995).
<ul style="list-style-type: none"> • Primera evidencia concluyente de la existencia de un agujero negro de tamaño estelar (WHT; Casares et al., 1992).
<ul style="list-style-type: none"> • Primera detección de una enana marrón (WHT; Rebolo et al., 1995).
<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimiento de ondas espirales en el disco de acreción de una estrella doble (INT; Steeghs et al., 1997).
<ul style="list-style-type: none"> • Primera detección de la contrapartida óptica de un <i>gamma-ray burst</i> (WHT, INT; van Paradijs et al., 1997).
<ul style="list-style-type: none"> • Cometa Hale-Bopp: primeras imágenes de una cola de gas neutro en un cometa (WHT; Cremonese et al., 1997).
<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimiento de la expansión acelerada del universo y evidencia de la existencia de energía oscura. Descubrimiento del año por la revista <i>Science</i> (WHT, INT; Perlmutter et al., 1997).
<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimiento del objeto más brillante del universo (INT, JKT; Irwin et al., 1998).
<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimiento de una nueva galaxia en el Grupo Local (INT; Whiting et al., 1999).
<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimiento de la rotura del cometa C/1999 S4 (LINEAR) (INT, JKT; Kidger, 2000).
<ul style="list-style-type: none"> • El campo profundo de Herschel: las galaxias se formaron pronto en la historia del universo (WHT; McCracken, 2000).
<ul style="list-style-type: none"> • Evidencia de interacción galáctica en la galaxia de Andrómeda (INT; Ibata et al., 2001).
<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimiento de un gigantesco anillo estelar rodeando la Vía Láctea (INT; Ibata et al., 2003).

Muestra de descubrimientos científicos obtenidos en base a observaciones realizadas en los telescopios del ING, en orden cronológico.



Número de artículos publicados en la revista *Nature* que hacen uso de datos obtenidos por telescopios ópticos terrestres con un diámetro superior a 3.5 metros desde 1989 a 1998. Se incluyen también los telescopios INT (2.5 metros) y NOT (2.5 metros). Como se ve, el WHT fue el telescopio con más artículos publicados en *Nature*, más incluso que el telescopio de 10 metros Keck-1 (Benn y Sánchez, 2001).

con revisores y de reconocido prestigio internacional. En la siguiente tabla se muestran varios ejemplos de descubrimientos científicos relevantes⁵².

Un estudio comparativo del impacto científico de los telescopios del ING fue realizado por Benn y Sánchez (2001). Sus conclusiones confirman que el alto número de publicaciones generadas por el telescopio WHT también ha tenido un alto impacto científico⁵³. Además, encuentran que durante la década de los noventa los telescopios de la clase 2 metros⁵⁴ contribuyeron de manera importante a la producción científica más citada, lo cual permite pronosticar una buena producción científica de los telescopios de la clase 4 metros⁵⁵ en la siguiente era, o era de los telescopios de clase 8 metros⁵⁶.

⁵² Es probable e inevitable que esta selección de descubrimientos esté influenciada por el impacto periodístico que ha tenido cada uno de ellos, pero sirva la muestra como ejemplo.

⁵³ Medido tanto por el número de citas a los artículos con datos del WHT como por número de artículos publicados en *Nature*, la revista científica con mayor impacto científico promedio.

⁵⁴ Aquéllos con diámetros entre 2.0 y 3.0 (inclusive) metros.

⁵⁵ Aquéllos con diámetros entre 3.0 y 6.5 (inclusive) metros.

⁵⁶ Aquéllos con diámetros superiores a 6.5 metros.

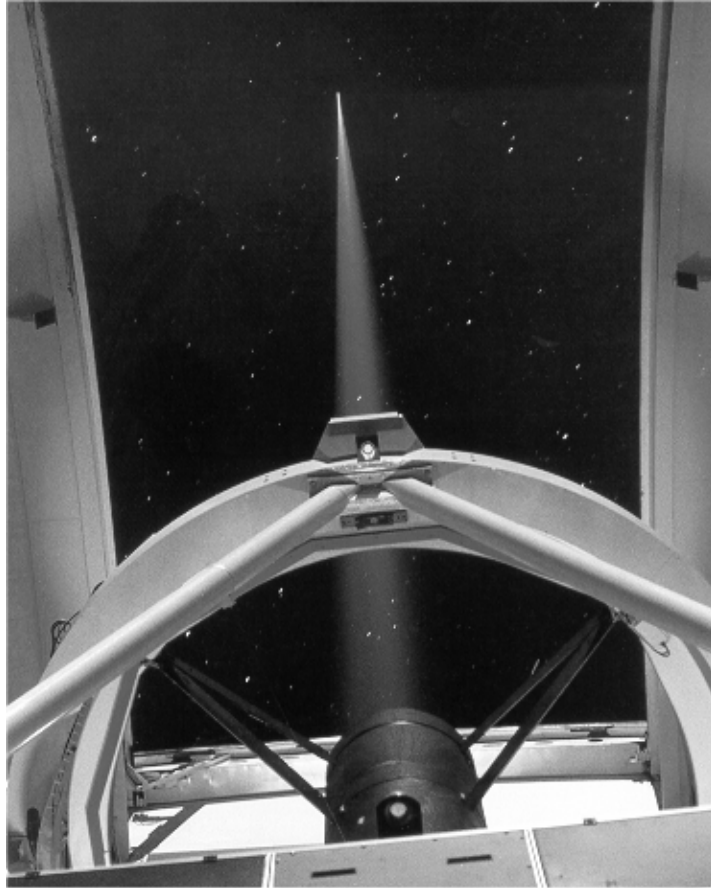
5. Las prioridades del futuro

Las prioridades científicas de la astronomía observacional terrestre⁵⁷ cambian en la actualidad como nunca lo habían hecho antes. El comienzo de las operaciones de los telescopios de la clase 8 metros ha provocado un importante progreso en el desarrollo de la instrumentación y ha abierto nuevas posibilidades para el estudio de los cielos. Al mismo tiempo, las nuevas tecnologías, los altos niveles de automatización y las mejoras en informática y en redes, han mejorado las capacidades y las eficiencias de los sistemas de los telescopios. Como resultado, los métodos para observar también han evolucionado. Mientras que el modo clásico de observación requiere que una o varias personas viajen a un observatorio, en la actualidad se está convirtiendo en más frecuente que sea el propio personal del observatorio quien lleve a cabo las observaciones, siguiendo un programa prefijado (observaciones de servicio) o un programa flexible con prioridades (observaciones programadas en cola). En medio de todos estos cambios los telescopios de la clase 2 y 4 metros tienen que buscar su propio papel, al mismo que tiempo que satisfagan las necesidades de los astrónomos y sea factible.

Por lo tanto, ¿cuál es el papel que le corresponde a los telescopios de la clase 4 metros? Probablemente esta pregunta se la hayan hecho todas las instituciones que operan este tipo de telescopios. La respuesta depende del número de consideraciones astronómicas y estratégicas que se tienen en cuenta, por ejemplo, las necesidades de la comunidad a la que sirve, la calidad y el potencial del telescopio y el observatorio, el conjunto de instrumentos, y finalmente, pero no por último menos importante, la provisión financiera para la operación y el desarrollo de la instalación. Dadas las consideraciones, las respuestas pueden ser diferentes, pero en general se ha optado por limitar el paquete de instrumentos disponibles y concentrarse más en observaciones de tipo survey.

El número de instrumentos disponibles en el WHT se ha reducido en los últimos años, pero al mismo tiempo se ha mantenido la versatilidad de sus capacidades instrumentales, respetando así el propósito original del telescopio en vista de las necesidades de las comunidades de usuarios. También se ha mantenido la posibilidad de que el WHT sirva como plataforma para instrumentos visitantes.

⁵⁷ La astronomía observacional puede utilizar telescopios situados en la superficie terrestre o en el espacio (el ejemplo más conocido de esto último es el telescopio espacial Hubble). La diferencia entre situar un telescopio en uno y otro sitio radica en la presencia de la atmósfera entre el telescopio y el objeto celeste que observamos degradando la calidad espacial de la imagen y extinguiéndola dependiendo de la longitud de onda observada. Sin embargo, el costo de mantener un telescopio espacial puede llegar a ser hasta 10 veces mayor que su equivalente en la Tierra.



Experimento de estrella láser de guía de tipo Rayleigh disparado desde la unidad de foco primario del WHT. El láser provoca la excitación de átomos a 15 kilómetros de altura produciendo una mancha que se observa como una estrella brillante en el campo de visión del telescopio. Esta estrella es utilizada entonces por el sistema de óptica adaptativa para analizar y corregir el frente de onda y, como consecuencia, se obtiene una calidad de imagen soberbia. La capacidad de disparar el láser hacia cualquier dirección en el cielo le permite al WHT, por lo tanto, observar con excelente calidad de imagen en prácticamente todo el cielo accesible. Fotografía del equipo LGS.

Las actividades de desarrollo, sin embargo, se concentrarán en dos áreas: en primer lugar, la Óptica Adaptativa (OA) será importante para el uso de nuevos instrumentos. La OA ofrece nuevas y excitantes oportunidades de observaciones espectroscópicas a pequeñas escalas espaciales y saca provecho de la excelente calidad de seeing en el Observatorio del Roque de Los Muchachos. En particular, el WHT será competitivo en el campo de la espectroscopía integral de campo a longitudes de onda cortas y, de esta manera, ofrece complementariedad a los desarrollos que se efectúan en telescopios de mayor diámetro. La futura construcción de un proyector de láser de baja altitud facilitará las observaciones de OA prácticamente en todo el cielo, abriendo la posibilidad de realizar observaciones de alta resolución espacial de gran cantidad de objetos, muchos de ellos inaccesibles por el

requerimiento de la OA de tener una estrella brillante cercana al objeto de interés⁵⁸. En segundo lugar, la espectroscopía multiobjeto de gran campo saca provecho del campo de visión de un grado⁵⁹ disponible en el foco primario del WHT y cubre la cada vez mayor necesidad de identificación espectroscópica de objetos provenientes de los múltiples surveys de imagen actuales y futuros.

La Palma es un lugar clave para la astronomía terrestre en el siglo XXI. Como parte del desarrollo futuro de las actuales instalaciones, el ING considera importante tener colaboraciones más fuertes y abiertas a más países como un ingrediente esencial. Desde los puntos de vista de la eficiencia de operación y costes, parece lógico que los telescopios de tamaño intermedio⁶⁰, operados por una nación o por varios socios, deben coordinar sus esfuerzos y cooperar. Pero es que además la más reciente generación de los grandes telescopios y misiones espaciales requieren el apoyo observacional de los telescopios de tamaño intermedio. La duplicación de instrumentos, separados por barreras nacionales, parece innecesario en el contexto europeo. Sin embargo, el reto será encontrar una dirección científica común y el consenso para construir colaboraciones robustas.

Mirando hacia atrás dos décadas, impresiona ver cuántas metas se han alcanzado en el Observatorio del Roque de Los Muchachos y el papel que los telescopios del ING han jugado en el progreso de la astronomía. Este éxito ha sido el resultado de la visión de futuro de aquellas personas que iniciaron la astronomía en La Palma, de las grandes ideas que se tradujeron en instrumentos del más alto nivel, de los ingenieros y astrónomos que han desarrollado y mantenido las instalaciones en todos estos años, y, por supuesto, de todos aquellos científicos que han utilizado los telescopios para su proyecto de investigación.

Los autores de este artículo agradecen al doctor Paul Murdin la revisión del presente trabajo. El Grupo de Telescopios Isaac Newton mantiene un sitio web en la dirección <http://www.ing.iac.es/>⁶¹ y dispone de una sección de información pública bajo el apartado Public Information.

⁵⁸ Si en vez de utilizar el láser como productor de estrella artificial en el campo de visión, se utilizan estrellas naturales para que el sistema de OA haga la corrección, entonces la cantidad de cielo accesible se reduce al 1%.

⁵⁹ Como comparación, el diámetro de la luna llena en el cielo es de 30 minutos de arco aproximadamente o medio grado. El diámetro del campo accesible desde el foco primario del WHT es, por lo tanto, 2 veces el diámetro de la luna llena.

⁶⁰ En la actualidad aquellos telescopios de la clase 4 metros. Por curiosidad diremos que en la década de los ochenta la clase 4 metros eran los telescopios grandes, y que con la entrada en funcionamiento de los telescopios gigantes en la próxima década, los telescopios de la clase 4 metros serán considerados telescopios pequeños.

⁶¹ El servidor mirror en el Reino Unido es <http://www.ast.cam.ac.uk/ING/>.

Referencias

Benn, C. R., Ellison, S., 1998, *ING Technical Note No. 115*.

Benn, C. R., Sánchez, S. F., 2001, *PASP*, **113**, 385.

Benn, C. R., 2002, en “Organizations & Strategies in Astronomy III”, ed. A. Heck, Kluwer Academic Publishers, 85.

Blaauw A., 1991, “ESO’s Early History”, publicado por el European Southern Observatory.

Brandt, P. N., Mattig, W., 2002, en “Organizations & Strategies in Astronomy III”, ed. A. Heck, Kluwer Academic Publishers, 135.

Buscher, D. F., Baldwin, J. E., Warner, P. J., Haniff, C. A., 1990, *MNRAS*, **245**, 7.

Casares, J., Charles, P. A., Naylor, T., 1992, *Nature*, **355**, 614.

Cremonese, G. et al., 1997, *Astrophys J*, **490**, L199.

Gietzen, J. W., 1982, *LPO Office Notice 5/82*.

Guerrero, M. A., García-López, R. J., Corradi, R. L. M., Jiménez, A., Fuensalida, J. J., Rodríguez-Espinosa, J. M., Alonso, A., Centurión, M., Prada, F., 1998, *New Astron Rev*, **42**, 529.

Haniff, C. A., Mackay, C. D., Titterington, D. J., Sivia, D., Baldwin, J. E., Warner, P. J., 1987, *Nature*, **328**, 694.

Hazard, C., McMahon, R., 1985, *Nature*, **314**, 238.

Hosinsky, G., Saveland, L., Wöhl, H., 1972, *JOSO MET 53 Report*.

Ibata, R., Irwin, M., Lewis, G., Ferguson, A. M. N., Tanvir, N., 2001, *Nature*, **412**, 49.

Ibata R.A., Irwin M.J., Lewis G.F., Ferguson A.M.N., Tanvir N., 2003, *MNRAS*, **340**, L21.

Irwin, M. J. et al., 1998, *Astrophys J*, **505**, 529.

Kidger, M., 2000, IAU Circ 7467 and 7472.

Mack, B., 1980, *Applied Optics*, **19**, 1000.

McCracken, H. J. et al., 2000, *MNRAS*, **311**, 707.

McInnes, B., 1974, *Site Testing Project Report 14/15*.

McInnes, B., Walker, M. F., 1974, *PASP*, **86**, 529.

Metcalfe, N., et al., 1995, *MNRAS*, **273**, 257.

McInnes, B., 1981, *QJRAS*, **22**, 266.

Murdin, P., 1984, LPO Office Circular 17/84.

Perlmutter, S. et al., 1997, *Astrophys J*, **483**, 565.

Perryman, M. A. C., Favata, F., Peacock, A., Rando, N., Taylor, B. G., 1999, *Astron Astrophys*, **346**, L30.

Rebolo, R., Zapatero-Osorio, M. R., Martín, E. L., 1995, *Nature*, **377**, 129.

Sánchez, F., 1985, *Vistas in Astronomy*, **28**, 417.

Sánchez, F., 2004, en “Organizations & Strategies in Astronomy V”, ed. A. Heck, Kluwer Academic Publishers (en impresión).

Schwarz, H. E., 2003, en “Organizations & Strategies in Astronomy IV”, ed. A. Heck, Kluwer Academic Publishers, 37.

Smith, F. G., 1985, *Vistas in Astronomy*, **28**, 431.

Steeghs, D., Harlaftis, E. T., Horne, K., Martín, E. L., 1997, *MNRAS*, **290**, L28.

van Paradijs, J., Allington-Smith, J., Callanan P., Charles P.A., 1988, *Nature*, **334**, 684.

van Paradijs, J., et al., 1997, *Nature*, **386**, 686.

Walker, M. F., 1971, *PASP*, **83**, 401.

Whiting, A. B., Hau, G. K. T., Irwin, M., 1999, *AJ*, **118**, 2767.

Wilson, R., O’Mahony, N., Packham, C., Azzaro, M., 1999, *MNRAS*, **309**, 379.