

GRAN TELESCOPIO DE CANARIAS

la mayor máquina del tiempo del planeta

Ubicado en un lugar único y privilegiado, el observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de la Palma, conocido como GRANTECAN, lleva más de una década aportando datos decisivos para la astronomía.

GRANTECAN es actualmente la mayor máquina del tiempo del planeta. Gracias a la superficie de su espejo primario, la mayor del mundo. Gracias a su ubicación, uno de los mejores lugares del hemisferio norte para la observación. Gracias a su instrumentación de última generación y sobre todo gracias a ese grupo de personas que lo hacen posible.

Este artículo es una parte de lo que nos relataron en la entrevista en Radio-UNED¹ y que compartimos con tres de esas personas: Sr. Romano Corradi, su Director General, Sr. Javier Castro, Jefe del Grupo

¹ [link](#)



de Desarrollos y Sr. Luis Rodríguez, Jefe de Operaciones.

PREGUNTA.- El Gran Telescopio Canarias es uno de los grandes logros de la ingeniería española. Viendo hoy lo que representa este gigante de la investigación, es difícil de creer la incredulidad, de no pocos responsables de antaño, sobre las capacidades de la ingeniería y de la industria española para acometer un proyecto de tal envergadura.

El proyecto se inicia en 1987. La primera luz se captó en el 13 de julio de 2007. Las observaciones científicas comenzaron en 2009.

¿Cuáles fueron los retos a los que se enfrentó la ejecución de este proyecto y cómo se fueron resolviendo?



ROMANO CORRADI
DIRECTOR GRAN TELESCOPIO
CANARIAS

Nació en Milano. Doctor en Astrofísica en la Universidad de Padova, Italia.

Ha trabajado en el Observatorio Europeo Austral y en el Grupo de Telescopios Isaac Newton. Investigador titular del Instituto de Astrofísica de Canarias y, desde 2016, director del Gran Telescopio Canarias (GRANTECAN).

Sus investigaciones se centran en el estudio de las fases finales de la evolución estelar, las nebulosas espectaculares que se forman en el proceso y la producción de elementos químicos responsables del continuo enriquecimiento químico del Universo. Ha publicado 170 artículos en revistas científicas que han obtenidos más de 7.000 citas.

RESPUESTA Romano Corradi. Cómo soy astrofísico y además he mirado el proyecto desde la ventana en su inicio, participo en el proyecto desde el 2016 como director, pero antes, desde el Instituto de Astrofísica de Canarias donde trabajaba, vi cómo se creó el proyecto, pero no desde dentro. Visto desde fuera evidentemente se veían los retos. En España no se habían hecho grandes telescopios. En realidad, en España no se

habían hecho grandes infraestructuras científicas del calibre de GRANTECAN. Con lo cual el reto primario era hacer un telescopio, el más grande del mundo, partiendo de una experiencia muy limitada.

Es cierto que en Canarias teníamos muchos telescopios grandes, importantes, pero hechos por instituciones extranjeras. De ahí el reto que suponía la ejecución con industria española y sobre todo con un diseño hecho en España, en una oficina de proyectos española. Era hacer el telescopio más grande del mundo, cuando el telescopio que se había hecho anteriormente era uno diez veces más pequeño en diámetro. Ese era el reto principal visto desde fuera. Por eso se veía con cierta duda que se pudiera llevar a cabo. Pero el éxito ha sido, yo diría que redondo. Y las claves del éxito, al menos en mi opinión, fue en primer lugar que se eligió una estrategia no diría "limitada", creo que la palabra correcta es "guiada" por lo que existía. Por los otros grandes telescopios existentes. Lo segundo fue montar un buen equipo. De esa época está Javier, que nos podrá contar más porque él estuvo desde el comienzo, formaron un buen equipo en la oficina técnica del proyecto. Que diseñó una instalación puntera. La tercera clave del éxito fue la capacidad del Instituto de Astrofísica de Canarias de asegurar la financiación necesaria para una instalación de este tipo. Estamos hablando de una inversión inicial de unos 120 mi-

llones de euros. No es sencillo asegurar la financiación. El éxito fue en gran medida gracias a los fondos FEDER, los fondos europeos de desarrollo regional que empezaron en esa época a distribuirse en Europa. De hecho, creo que es la primera instalación científica realizada con fondos europeos de este tipo.

P. En todos estos temas relacionados con la astrofísica y el espacio, es muy difícil convencer "al gran público" de la rentabilidad de esos grandes proyectos, del retorno que ofrecen a la sociedad, que es la que los financia ¿podría darnos algunos ejemplos de esos retornos y de la importancia de seguir invirtiendo en estos grandes proyectos?

R. Romano Corradi. Para mí lo más importante son los retornos a largo plazo. La astronomía es una ciencia básica. Una ciencia que estudia el cosmos. El cosmos es un laboratorio donde estudiamos física básica, desde la física atómica, la física molecular, cómo se forman hasta las moléculas de la vida. Por lo cual, yo creo que es importante remarcar que la ciencia básica para mí son el primer eslabón de la cadena del conocimiento. Si rompes esta cadena, desde el comienzo no llegaremos a nada de la aplicación de tecnología que encontramos en la vida diaria. Es decir, si hay una radio, es porque había un físico que estudiaba el cosmos. El conocimiento es la base para tener después una innovación, después una

industria y una economía. Pero este retorno de cualquier ciencia básica y en particular de la astronomía es a largo plazo.

Después hay retornos más directos, le pongo algún ejemplo. La tomografía axial computerizada (TAC) la inventó un astrofísico estudiando cómo reconstruir la forma tridimensional de la galaxia usando radiotelescopios. O la wifi, se inventó en un observatorio astrofísico. Un ingeniero la inventó para otro desarrollo. Es decir, muchas de las investigaciones que se hacen para astrofísica o las instalaciones para construir observatorios, tienen unos retornos tecnológicos no digo inmediatos, pero he puesto dos ejemplos que son bastante significativos.

Después está el retorno directo. De una inversión como en el GRANTECAN. Uno de los objetivos, y creo que se logró, era hacerlo con industria española. De hecho, GRANTECAN se ha hecho el 70% con industria española y el 100% dentro de la industria europea. Javier les puede contar más detalles, pero evidentemente, como la tecnología que se usa en el telescopio es tecnología puntera en todos los sentidos, de materiales, de electrónica, de mecánica de altísima precisión. El objetivo era impulsar la industria española, para que pudiera construir un telescopio con la exigencia que tiene el GRANTECAN. Creo que esto también ha sido un logro. No solo se ha hecho, sino que hoy en día las industrias participantes

están compitiendo para participar en la construcción de los grandísimos telescopios que llegan en 5 o 6 años. Por lo cual ese retorno más directo está.

P. Este balcón al universo, que tuvo sus tropiezos en cuanto a la confianza que daba su construcción, entiendo que es ahora mismo en “el Gran Deseado”. Entiendo, que son muchos los investigadores e instituciones que solicitan poder usar sus instalaciones. He leído que el coste de operación una hora de observación supera los 80 mil euros. Por lo que no debe ser nada fácil decidir que se hace y que no. También me ha llamado la atención que en su web tienen una llamada para que cualquiera envíe su “propuesta de observaciones”. ¿Cómo se gestiona qué proyecto se realizan y cuáles no? ¿Qué proyecto o proyectos, y me dirijo ahora al Sr Corradi Investigador, tiene para usted una especial relevancia o interés?

R. Romano Corradi. Nosotros ejecutamos observaciones científicas de propuesta de programas científicos que están aprobados por el comité de expertos. Evidentemente es ahora el gran deseado porque siendo el más grande del mundo, puede observar objetos tan débiles que otro telescopio no puede observar. Objetos débiles significa o bien estrellas o lo que sea, que son intrínsecamente débiles o bien galaxias que están al final del universo, en la frontera del universo observable.



Nebulosa Cabeza de Caballo (aprox. a 1500 años luz de la Tierra)

Esculpida por los vientos estelares y la radiación, es uno de los objetos astronómicos más identificables debido a la forma de su nube arremolinada de polvo y gases oscuros, que tiene cierto parecido con la cabeza de un caballo cuando se ve desde la Tierra.

La oscuridad de Horsehead es causada principalmente por un polvo espeso que bloquea la luz de las estrellas detrás de él. La nube molecular oscura es visible solo porque su polvo oscurecedor se recorta contra otra nebulosa más brillante. Los puntos brillantes en la base de la Nebulosa Cabeza de Caballo son estrellas jóvenes en proceso de formación.

¿Cómo se gestiona? GRANTECAN es una de las Grandes Instalaciones Científico Técnica Singulares en España. Lo he dicho así porque es una categoría de un club de grandes

instalaciones científicas. Y una de las características principales de estas instalaciones es que el acceso a ella sea abierto. Un acceso abierto a toda la comunidad científica de modo competi-

vo evidentemente. El tiempo de noche está limitado y el número de proyectos que se presentan a GRANTECAN superan la capacidad del telescopio. De cada 3 o 4 proyectos que se solicitan



**JAVIER
CASTRO LÓPEZ-
TARRUELLA**

JEFE DEL GRUPO DE
DESARROLLOS DEL
GRANTECAN

Ingeniero Industrial por la antigua Universidad Politécnica de Canarias, hoy Universidad de La Palmas de Gran Canaria. Máster en Métodos Numéricos Aplicados a la Ingeniería por la Universidad Politécnica de Cataluña, siendo becario de investigación del Centro Internacional de Métodos Numéricos en dicha universidad.

Ha realizado toda su carrera profesional dentro de la ingeniería de telescopios terrestres, primero como ingeniero de diseño del Instituto de Astrofísica de Canarias, y luego como jefe del Grupo de Óptica del Gran Telescopio Canarias. Actualmente es el Jefe del Grupo de Desarrollos del Gran Telescopio Canarias.

solo uno se puede aprobar. Cada año se presentan alrededor de 200 proyectos de investigación para obtener quizás media hora de observación con GRANTECAN. Ahora bien, si me permites, rebajo el coste del GRANTECAN, eso no le quita que sea caro. Nosotros estimamos que una hora de observación puede costar 10 mil euros, no 80 mil euros. Pero son 10 mil euros que no es poco. Para acceder al tiempo de

observación nosotros hacemos llamadas que están abiertas a toda la comunidad científica. Hay un requisito en realidad, está abierto a los dueños que son España, Méjico y la Universidad de Florida. Es verdad que la astronomía es una ciencia donde se da mucha colaboración a nivel internacional, con lo cual al final acceden al telescopio investigadores del todo el mundo. En principio, una persona que resida en España podría acceder a la instalación. GRANTECAN ha sido diseñado para ser un telescopio versátil, no para buscar agujeros negros, o bien para estudiar galaxias o bien para buscar planetas. No. Está pensado para servir a toda la comunidad científica, una comunidad científica lo más amplia posible. Por lo cual, hay temas muy variados de investigación dentro de la astrofísica, de hecho, GRANTECAN abarca casi todos los temas astrofísicos. En particular, si tengo que marcar alguno olvidándome de lo mío, señalaría que GRANTECAN está proporcionando resultados científicos muy importantes en el campo de los agujeros negros. Por ejemplo, están descubriendo fenómenos que ocurren alrededor del agujero negro, que por su definición no podemos observar. Nosotros observamos lo que ocurre muy cerca del agujero negro, pero fenómenos que no estaban previstos. GRANTECAN también está proporcionando resultados científicos muy interesantes en el campo de los exoplanetas. Para que se hagan una idea,

estudiar un exoplaneta, es decir un planeta alrededor de una estrella que no sea solo una estrella lejana, que vemos como un puntito, aunque sea el telescopio más grande del mundo, es un reto extraordinario. Un planeta que es miles de veces más débil que la estrella y que no podemos resolver de la estrella. Nosotros vemos la luz que viene de los dos, del planeta y de la estrella, es muy difícil. Solo detectarlo es muy difícil. Con el GRANTECAN no solo logramos detectarlo, también logramos estudiar su atmosfera de estos exoplanetas. No el planeta, su bola, que puede ser líquido o gaseosa, sino la fina capa de atmosfera que tienen los exoplanetas. Esto son dos ejemplos de la capacidad del GRANTECAN, del gran deseado porque hay programas científicos que sólo se pueden hacer con GRANTECAN.

P. Me gustaría hacer una última pregunta al Sr. Corradi. A mi juicio, uno de los grandes éxitos de GRANTECAN, ha sido la gestión que ustedes han hecho del proyecto. Vds. han despertado el interés de investigadores e institutos de astrofísica de todo el mundo. Pero GRANTECAN es mucho más que un proyecto científico, mucho más que un telescopio. Vds. han acercado los trabajos que desarrollan a los hogares. Ahí tenemos su web con acceso a las imágenes captadas por el telescopio en tiempo real. ¿Cómo se consigue atraer a tantas instituciones y a tantos investigadores?

¿Cómo se logra, desde un buen producto como lo es “el gran telescopio”, crear este fenómeno social que es la institución GRANTECAN?

R. Romano Corradi. Para empezar, quería agradecer tu muy buena opinión de nosotros. Es verdad que para nosotros es muy importante no solamente hacer ciencia de calidad, ciencia puntera, sino llegar a la sociedad en general. Es uno de los retos que tenemos dentro de la empresa. Aquí en canarias y en particular en la Palma, GRANTECAN es un icono que ha permitido que se conozca la isla en el resto del planeta. GRANTECAN es un atractivo turístico para todos los que llegan a la Palma, todos quieren visitar el GRANTECAN. Pero nosotros queremos y debemos ir más allá, por lo cual hemos empezado un programa donde intentamos llegar a todo el mundo. Tenemos la dificultad de que estamos en una ubicación muy remota, no solo en una isla remota, sino también en la cumbre a 2.300 m de altura. No es fácil llegar a todo el mundo. Hoy en día tenemos internet y hay muchas formas. Hemos intentado un programa a través de las redes sociales. Lo que comentas. Lo primero fue abrir las puertas de noche. ¿Cómo podemos abrir las puertas si nadie puede subir de noche? Lo único es retransmitir lo que pasa en GRANTECAN. Lo hemos hecho durante un periodo y en una web la gente puede ver lo que están

haciendo en GRANTECAN en tiempo real. No solo en el cielo, sino también el programa científico que se está ejecutando en cada momento en GRANTECAN. Pero creo que tenemos que seguir abriéndonos más y para eso la tecnología, el hecho de que la comunicación sea instantánea y fácil, y la banda ancha permiten que cualquiera se pueda conectar al telescopio.

Ahora los científicos somos un poco como unos pilotos. Una de las ideas. Tradicionalmente los astrónomos venían a la Palma, pasaban una noche en el telescopio y volvían a su casa con los datos en una cinta, luego con un casete y ahora con nada. Ahora no hay visitantes porque nuestro astrónomo residente es quién hace las observaciones para la comunidad científica. Pero estamos intentando desarrollar sistemas de modo que uno pueda observar desde casa. ¿Por qué el científico tiene que venir? Es verdad que es muy bonito el viaje y muy bonita la isla. Pero podría perfectamente, con la capacidad que tenemos, observar o controlar el telescopio desde casa. No hace falta que venga porque tenemos un operario de telescopio. Pero si controlar el instrumento científico. En el paso siguiente cualquier ciudadano podría, no digo tocar el telescopio, pero sí entrar de forma virtual a la sala de control donde se está observando con GRANTECAN y preguntar o ver qué es lo que está pasando.



Y nuestro objetivo es acercarnos lo más posible a la sociedad enseñando lo que estamos haciendo, porque cuando se cuenta, la gente se queda encantada, porque es muy bonito. Porque cuando contamos que estamos observando agujeros negros, que esa cosa que no se ve, lo que vemos es la estrella que está al lado, que perdiendo material, que lo está capturando el agujero negro, la gente se queda encantada. Eso es lo que nosotros queremos. Que podamos conseguir contar lo que hacemos cada noche.

P. Si los astrofísicos ponen la mirada, sin duda la ingeniería pone los pies. GRANTECAN, aquí en la tierra, es una enorme estructura móvil y está equipada con complejísima instrumentación. ¿Qué es GRANTECAN desde el punto de vista de su ingeniería?

R. Javier Castro. Bueno una pregunta que es bastante habitual. Yo tiendo a a darle la gente una idea de normalidad, de lo que es GRANTECAN. El GRANTECAN como otras muchas instalaciones es un sistema complejo, con muchas

partes que colaboran para obtener un objetivo. Por su puesto nosotros somos un observatorio astrofísico y por ello la gente se fija mucho en que tenemos que tener una capacidad: un gran espejo que es capaz de recoger muchos fotones que vienen del cielo. Pero al final es un agregado de componentes ópticos, componentes mecánicos, electrónica, neumática, etcétera. Un agregado de componentes muy diversos que logran poner todos esos fotones de modo adecuado en un detector y sacar una información científica. En ese sentido, es muy parecido a lo que podría ser una central termo-solar o una envasadora de refrescos. Son todos sistemas que tienen que hacer colaborar partes para lograr un objetivo. Se habla mucho de los espejos porque son una cosa que hay que mover de modo muy preciso, pero como hay otras muchas cosas que se mueven todos los días en la industria de este país de modo muy preciso.

P. ¿Cómo fue su incorporación a este proyecto? ¿Qué aporta un ingeniero industrial a este gran complejo técnico que es GRANTECAN?

R. Javier Castro. Como suele suceder a todo el mundo, los avatares que da la vida. En aquel momento era becario de investigación en la UPC y por motivos personales quería volver a Canarias. Vi una oferta de trabajo del Instituto de



Astrofísica de Canarias y me presenté. Algo tan simple como eso. Una vez que me incorpore al Instituto de Astrofísica se me abrió el mundo de los telescopios terrestres y me he pasado toda la vida trabajando en ello. ¿Qué aporta un ingeniero industrial? Lo que aportamos todos los ingenieros en todas las cosas que hacemos: que es hacerlas posibles. De una idea que se tiene hasta que hay algo construido hay todo un proceso, que es lo que hay que hacer. Particularmente creo que, un valor que tuvimos los ingenieros que participamos en el proyecto, es el entender que es un sistema complejo. No es construir una estructura metálica. No es tallar unos espejos. Es hacer

que todo un sistema, que tiene muchas partes y que tienen que colaborar entre ellas lo hagan posible.

Y ésta es una mentalidad que teníamos muchos, sobre todo del antiguo plan de ingeniería industrial, que era mucho más polivalente que los actuales, y lo teníamos claro. Todos entendíamos, cada uno con su especialidad, que los electrónicos trabajan para la mecánica, los mecánicos para la electrónica, los optoelectrónicos eran el usuario final, que tenía que adaptarse a lo que le daba cada uno de los sistemas. Eso es lo que aporta un ingeniero industrial. Es un hecho que más del 75% de ingenieros que trabajamos para en el

proyecto, tanto en lo que fue la oficina de proyectos como en los muchos contratistas, el grueso éramos ingenieros industriales.

P. Al hilo de lo que comentas sobre la formación de los ingenieros de los planes anteriores, era más general y en ella la parte de matemáticas era fundamental. Casi viendo tu currículo de experto en métodos numéricos quería pedirte, como profesor, que explicases a los alumnos la importancia de las matemáticas: cálculo, algebra, estadística, métodos numéricos. ¿Dónde está la importancia de tener una sólida formación matemática para un ingeniero?

R. Sr Castro. Realmente es un tópico, pero es que son los cimientos. Igual que el lenguaje para el conocimiento humano es básico, porque es lo que nos permite transmitir, las matemáticas son el lenguaje de la ciencia y la ingeniería. No se puede trabajar en ingeniería sin saber hablar y eso son las matemáticas.

Yo lo que les intentaría hacer ver a los alumnos, es que las matemáticas hacen que los problemas sean sencillos. Por ejemplo, les podría decir una cosa que yo me encontré cuando entré en el Instituto Astrofísico de Canarias hace 30 años. De los primeros trabajos que tuve que hacer era hacer las simulaciones de imagen de cómo se formaban las imágenes que se formaban en un gran telescopio. En aquel momento era

un 8 metros, no era un 10 metros. Al final me resultó sencillo porque la formulación matemática de cómo se analiza eso son técnicas de análisis de Fourier que las encuentras en tratamiento de señal cuando estudias electrónica o regulación automática. Al final hace que todos los problemas sean sencillos. Con un conocimiento de matemáticas no demasiado elevado se resuelven el noventa y tantos por ciento de los problemas de la ingeniería, por lo que es asegurarte el tener gran capacidad laboral.

P. Por eso incidimos en la importancia de esas asignaturas, que a veces se pueden percibir al inicio de la carrera como abstractas, pero que en la presentación del PFC ya se conoce la importancia de las matemáticas. Más aun, cuando pasan al máster y después al doctorado, pues toda esa formación de matemáticas es nuestro lenguaje

R. Javier Castro. Y si me permites hacerles el hincapié, también por experiencia, que recuerden que el mundo laboral exige una reacción que no es igual que en el mundo académico. No es igual que en el mundo académico en el que uno puede dedicarse a estudiar, actividad que requiere horas. Y ponerse a estudiar matemáticas después, durante la profesión, no es fácil. No es fácil porque la presión de desarrollar trabajo no te lo permite. Hay cosas en la vida que hay que hacerlas en un or-

LUIS ALBERTO RODRÍGUEZ GARCÍA

JEFE DE OPERACIONES DE INGENIERÍA



Natural de isla de La Palma.

Ingeniero Técnico de Telecomunicación en Sistemas Electrónicos. A falta de presentar el TFG y TFM en las titulaciones de Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación y del postgrado en Industria 4.0.

Inició su andadura profesional como trabajador en el Laboratorio de Fotónica del Dpto. de Señales y Comunicaciones de la Escuela de Telecomunicación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Ha trabajado en distintos puestos y responsabilidades relacionadas con las telecomunicaciones: METESA S.A., Telyco, entre otras.

En el Gran Telescopio Canarias empezó como Operador de Telescopio, posteriormente como Ingeniero de Operación y actualmente como Jefe de Operaciones de Ingeniería.

den. No se puede poner la carreta delante de los bueyes.

P. Las siguientes preguntas son para Luis Alberto Rodríguez García. Pregunta inevitable ¿Cuál es la labor de un jefe de operaciones de ingeniería en GRANTECAN?

R.Sr Rodríguez. En mi caso básicamente se fundamenta en cuatro patas, por llamarlo de alguna manera. Esas cuatro patas han de garantizar que el telescopio esté operativo cada noche. No hablamos de mantenimiento, sino de coordinar los equipos y las operaciones técnicas que se producen cada día, de forma que, cuando el equipo nocturno reciba el telescopio, el telescopio esté operativo. No es sencillo porque hay mucho trabajo en paralelo, muchas integraciones de nuevas funcionalidades. Porque el telescopio es como una casa terrera. Compararlo con este concepto es porque siempre hay instrumentos nuevos que llegan, funcionalidades nuevas. Tiene que haber un punto de unión que de alguna forma concilie todo lo que hay que instalar durante el día, cambiar, medir, verificar, etcétera, con la productividad nocturna que está en torno a 10 mil euros a la hora. No podemos perder una hora. Esa sería la primera pata. Dentro de esa pata, de ese ámbito, tenemos también el equipo de operadores de telescopio, tanto durante el día, controlando la instalación y preparando el telescopio, así como los operadores nocturnos, técnicos o ingenieros junto con el astrónomo de soporte, hacen posible que se pueda pilotar, si se me permite el símil, el telescopio.

La segunda pata es el mantenimiento clásico. Es una instalación muy compleja como comentaba Javier y la optimización de cualquier labor en relación



con el mantenimiento y el control de la obsolescencia es fundamental. Hay un equipo multidisciplinar que se encarga de la instrumentación, el telescopio, las facilities que tenemos alrededor de la instalación, desde vehículos hasta el espejo secundario. Estamos en un momento de cambio de paradigmas. Está entrando el mantenimiento predictivo, el big data, etc. Tenemos que hacer que el mantenimiento no cope todos los fondos y queden fondos para actividades de desarrollo y demás, críticas para que el telescopio siga siendo puntero. La tercera pata del grupo que lidero está en colaborar con las tareas de desarrollo que el grupo de Javier va implementado y que necesitan especialida-

des o necesitan mediciones. Ellos están en Tenerife y nosotros en la Palma. Necesitan la integración de todas esas funcionalidades y que queden bien integradas en lo que es la máquina. En algunos casos realizamos algunos desarrollos porque tenemos especialistas que pueden hacerlo y así no tienen que desplazarse desde Tenerife.

También trabajamos en que los equipos sean seguros para el personal. Tenemos más o menos sectorizado el grupo para que se puedan llevar a cabo y todo esto en coordinación con otras instalaciones telescópicas, porque al final hay una sola carretera para llegar al telescopio. Somos los que estamos arriba y ya está. No hay más empresas

alrededor. Hay colaboración con mis homólogos para tener cierto soporte entre unos y otros.

P. Escuchando lo que nos habéis contado creo que se puede asegurar que no os aburrís en vuestro grupo. Por eso si me permites. Dentro de ese campo de trabajo que tenéis en el grupo que lideras ¿hay alguna parte que sea más crítica? Que permita visualizar cuál es la labor de un ingeniero que trabaje en una instalación de las características de GRANTECAN.

R. Luis Rodríguez. Hay varias partes críticas, pero centrados en la ingeniería, hay que tener en cuenta que no se puede llegar y tocar sistemas que ya están contruidos, sin reflexionar bien y leer bien la documentación, etc. Es una cosa que me he dado cuenta en los últimos años. El ingeniero, sobre todo el junior, estudia un poco y cree ver las cosas fáciles en muchas ocasiones. No se da cuenta de la trayectoria que puede haber tenido ese sistema y lo puede poner en riesgo si no sopesa bien y no colabora con el resto de los compañeros que ya tiene una experiencia o consulta con Desarrollos. Ese es uno de los puntos que para mí es crítico. No se suele hablar de ello, pero he tenido en muchas ocasiones que retirar calderos hirviendo por esta circunstancia. Cuando entre con 28, ahora tengo 42, por mucha experiencia que tuviese en el ámbito de las telecomunicaciones, en



la calle te enfrentas a sistemas complejos, pero como los que he visto en GRANTECAN no he visto muchos. Estos tipos de sistemas están muy customizados, muy fabricados a medida.

El segundo punto creo que son las matemáticas. Vuelvo al asunto de las matemáticas que contaba Javier, porque en el seno de esta amplia labor que tenemos que desarrollar, también me he visto con problemas que me han llevado a tener que coger los libros y volver a ponerme al día en matemáticas. Es muy importante. Me arrepiento de no haberme aplicado más en su momen-

to, porque después me las he tenido volver a estudiar con una presión tremenda: tener el telescopio operativo, el proyecto, contratar. También estoy viendo en ese sentido que no vienen igual de preparados que antes, no solo en matemáticas, también en física. Les recomiendo que no se queden sólo con lo que vieron en la carrera, que intenten ir un poco más allá.

P. Nosotros siempre les decimos a nuestros alumnos, que el día que terminan no dejan de estudiar. Simple-

mente es un hito más, pero que han de seguir estudiando el resto de su vida profesional.

Al hilo de lo hablábamos con Javier. Para su caso. ¿Cómo fue su incorporación a este proyecto? ¿Qué aporta un ingeniero de su rama a este gran complejo técnico que es GRANTECAN?

R. Luis Rodríguez. En mi caso también se dieron casualidades. Quería volver a la Palma pero el problema es que la Palma es bastante pequeña, por lo que las instituciones consideran a los ingenieros como personal de difícil inserción. Cuando quise regresar a mi isla natal, lo hice como director técnico de una empresa de telecomunicaciones. Estando ya trabajando allí, me respondieron de GRANTECAN a una solicitud antigua de operador de telescopio, en un puesto temporal, hasta fin de proyecto pocos meses después coincidiendo con la inauguración del proyecto. Muchos me aconsejaron que podría ser un buen cambio. Pero rechacé la plaza. Hubo una segunda llamada y esa vez me incorporé. Y aquí estamos, de 2007 hasta ahora.

P. Para finalizar, para cada uno de los tres, cuál ha sido la mayor dificultad y también cuál ha sido su mayor logro en estos años de trabajo para el GRANTECAN.

R. Romano Corradi. Como se suele decir, buena pregunta. La dificultad ma-

yor, voy a hablar de gestión, como soy el director, dedico casi todo mi tiempo a la gestión y no tanto a la investigación, como hacía antes. Desde el punto de vista de la gestión de una institución como ésta, yo creo que la dificultad más grande, por lo menos para mí, es la capacidad de maniobra limitada que uno tiene. Limitada porque es difícil cambiar cosas, pero en todos los niveles. Hablo desde las limitaciones que pone las leyes para contratar personas o servicios. Las limitaciones que ponen las agencias financiadoras, en nuestro caso los gobiernos de España y de Canarias. También encuentro cierta resistencia a cambio general, dentro de la Empresa. Es difícil a veces cambiar cosas precisamente porque hay un montón de limitaciones y resistencias por parte de las personas. Es una pequeña consideración. Muchos trabajadores, no en GRANTECAN, en general, se acomodan, están contentos en su zona de confort, por lo que se resisten a cada cambio. Después están los espíritus libres dentro de las empresas, que son los que de verdad cambian las cosas porque son los que mueven y ejecutan y permiten que las cosas cambien. Por ejemplo, cuando me incorporé existía un plan estratégico de instrumentación científica ya definido y en este sentido mi margen de maniobra ha sido muy limitado hasta la fecha. Quizás ahora se abra una oportunidad para el futuro porque ya nos movemos a nuevos planes estratégicos. Esa es mi mayor dificultad desde el punto de vista personal, quizás porque sea un espíritu inquieto y por eso me hubiese



Quinteto de Stepahn

Solo cuatro galaxias del quinteto descubierto originalmente están unidas físicamente. NGC 7320 se encuentra a unos 40 millones de años luz de nosotros, en lugar de los 300 millones de años luz de los demás. Tres de las galaxias tienen formas distorsionadas, brazos espirales alargados y colas de marea largas y gaseosas que contienen cúmulos de estrellas, prueba de sus encuentros cercanos. Las cuatro galaxias limitadas por la gravedad se fusionarán en una gran galaxia en varios millones de años.

gustado cambiar más cosas de las que he podido en este tiempo.

Como logro lo mismo. Lo poco que hasta la fecha he podido cambiar. Pero vamos a seguir ampliando la visión de la empresa, que hasta el 2009 estaba centrada al 100% en la construcción del telescopio. Cuando llegué en 2015 había que centrarse en ampliar la parte de la explotación científica, la comunicación y difusión de los resultados a la sociedad. Algo he conseguido mover pero hay que seguir.

P. Javier, ¿cuál ha sido su mayor dificultad y también cuál ha sido su mayor logro en estos años de trabajo para el GRANTECAN?

R. Javier Castro. Lo estaba pensando mientras hablaba Romano. Para mí, haciéndome eco de un conjunto de ingenieros que hace 30 años nos dijeron que había que hacer el mayor telescopio del mundo. Yo creo que lo más difícil fue ponerle límites a la ilusión. Éramos un grupo de jóvenes muy ilusionados, pero hay que construir algo dentro de unos límites. La financiación no es ilimitada. Uno tiene que pasar de hacer lo que quiere a hacer lo que puede. Ese paso es complicado. Quizás para mí ha sido lo más difícil.

P. Bueno yo querría abrir un bloque de preguntas a los tres. Porque cuando hemos anunciado que íbamos a contar con vosotros, los alumnos nos han hecho llegar una gran cantidad de preguntas.: ¿De qué material están hechos estos espejos?

Galaxia Whirlpool

Famosa por su hermosa estructura en espiral es un ejemplo espectacular de galaxias en interacción. En este caso, NGC 5195 está siendo "destrozada" por el enorme perturbación gravitacional de M51, mientras que M51 a su vez ha sufrido una enorme alteración estructural por los efectos gravitacionales de NGC 5195.



¿Necesitan algún tipo de refrigeración?

R. Javier Castro. Si quieres os cuento cómo se toman ciertas decisiones sobre materiales. En los espejos del primario, el espejo grande, que es el que recoge los fotones, está fabricado con una vitrocerámica que se llama "ferrodur". En este caso, formulada para conseguir un coeficiente de expansión térmico nulo a temperatura ambiente. El concepto del material es el mismo que el de las casas, pero allí están formulados para una expansión nula entre 100o y 200oC y la de los espejos es

para temperatura ambiente. Se usa ese material para no tener que refrigerar. Los espejos no se refrigeran. Hay que tratar que los espejos no se deformen. Tu puede elegir materiales que son estables, como es en este caso las vitrocerámicas, o puedes usar materiales bastante menos estables, por ejemplo, usando borosilicato, que es un material más barato y fácil de fabricar, pero no tiene expansión térmica nula, por lo que hay que refrigerar. Abarata y simplificas por un lado y lo complicas por otro. Por ejemplo, el secundario es de berilio-niquelado y lo que prima es la

Sharpless 2-106

Nebulosa con forma de reloj de arena (bipolar). Vivero estelar formado por gas brillante y polvo que dispersa la luz. La estrella de gran masa cree que es la principal responsable de la forma de reloj de arena de la nebulosa debido a los vientos de alta velocidad que expulsan material de la estrella en formación en las profundidades. La investigación también indica que muchos objetos subestelares se están formando dentro de la nube y algún día pueden resultar en un cúmulo de 50 a 150 estrellas en esta región.



ligereza. El berilio es el material fabricable con mejor relación rigidez peso, por encima de ciertas cerámicas ligeras, por eso se usa el berilio. El berilio tiene una serie de complejidades para trabajarlo y por eso se niquela, se ni-

quela por encima para poder pulirlo. El berilio no se puede pulir. Además de por temas de protección de la salud. Hay otras muchas superficies ópticas en el telescopio. A veces los vidrios se eligen por sus características puramen-

te físico-ópticas, por su dispersión o por su transparencia. El telescopio es muy amplio y complejo. Es como cuando se elige un acero, es todo un mundo.

P. Otra pregunta que nos han trasladado nuestros alumnos. Sobre la materia oscura. ¿Cómo se detecta y cómo se tratan los datos?

R. Romano Corradi. Es muy sencillo. Lo dice la palabra. Oscuro es que no se puede ver. Para medir materia que no se puede ver o para descubrir materia que no se puede ver el método es la dinámica. La fuerza gravitatoria, nosotros sabemos que depende de la masa. Estudiando sistemas que están desde el punto de vista de la gravedad atados, por ejemplo, el sistema solar. No, la materia oscura se descubre a escala mucho más amplia. Midiendo la velocidad de los planetas podemos medir la masa del sol simplemente aplicando formulas básicas de la fuerza gravitatoria. Hay que ir a escala más grande para detectar masa oscura. Se busca sistemas estelares que estén gravitacionalmente atados entre ellos, por ejemplo, cúmulos de estrellas. Hay cúmulos con miles y otros con millones de estrellas que están todas atadas. No se deshacen esos cúmulos en escalas de tiempo muy grandes. Estudiando la dinámica de las estrellas se puede calcular la masa del sistema. Cuando se compara la masa del sistema, con la luz que viene de ese sistema y sabiendo cuanto es



la masa de estrellas como un sol, podemos comparar la luz visible, es decir la cantidad de materia que emite luz con la cantidad de materia total del sistema. Se descubrió de esta forma, no tanto usando cúmulos de estrellas sino galaxias, que son mucho más grandes. En las galaxias espirales, las estrellas rotan de modo ordenado alrededor del centro de la galaxia. Por lo cual su velocidad de rotación es un indicador directo de la masa incluida internamen-

te, dentro de la órbita de cada estrella. Estudiando las orbitas de las estrellas, o el movimiento de las galaxias, la rotación de las galaxias, se detectó en los 80 que la cantidad de materia de las galaxias es mucho mayor que la cantidad de materia que emite luz visible, que se calcula contando la de las estrellas que se ven dentro de las galaxias. El método es puramente dinámico. Hay que medir velocidades. Como las estrellas están muy lejos no podemos esperar a ver un

movimiento de una estrella. El sol, por ejemplo, tarda 200 millones de años en dar una vuelta alrededor del centro de la galaxia. La única información que tenemos en astrofísica es la velocidad de alejamiento o acercamiento de cada astro, que debido al efecto Doppler implica un desplazamiento de la longitud de la luz emitida hacia el rojo si se aleja, o hacia el azul si se acerca. De esta forma medimos velocidades. Entonces para medir velocidades hay que medir desplazamientos en longitudes de onda. Para medir desplazamientos en longitudes de onda hace falta una técnica que se llama espectroscopía, es decir, analizar el espectro en longitudes de onda de la luz emitida por las estrellas en las galaxias. De esta forma podemos reproducir campos de velocidades dentro de las galaxias. Nosotros las llamamos curvas de rotación porque en general las estrellas giran. Desde ello calculamos la masa y de este modo se detecta la materia oscura. Eso se hace en galaxias. Se pueden tomar cúmulos de galaxias, donde se mueven las galaxias. Se puede hacer con las estrellas dentro de los cúmulos de estrellas. El método es puramente dinámico y para eso hacen falta técnicas espectroscópicas.

¿Cómo se analizan los datos? Eso lo ha explicado la física. De hecho, es relativamente sencillo. Evidentemente los potenciales gravitatorios de las galaxias pueden ser muy complejos. Pueden

ser tridimensionales, no son necesariamente campos sencillos, por lo que la física puede ser complicada, pero la técnica es muy sencilla. Es lo que podemos detectar, porque la astronomía es una ciencia en la que no puede ir, tocar, romper o abrir. Lo único que tenemos es una información bidimensional de lo que vemos, porque todo está proyectado en la esfera del cielo. La otra fase, del vector velocidad, tenemos en general solo una parte, la dirección radial. De alejamiento o acercamiento a nosotros. Usando información de tres de las seis dimensiones del espacio tenemos que reconstruir estructuras tridimensionales o movimientos. Esta es la forma de hacerlo. Tomar una observación con un espectrógrafo, analizar los datos y aplicar un modelo dinámico.

P. Con un cheque sin límite, Javier, ¿qué haría?

R. Javier Castro. Es una pregunta intrínsecamente tramposa. Porque la vida está llena de límites. La física misma es un límite, es una cosa que no tienen las matemáticas. En matemáticas eres Dios, puedes hacer lo que quieres. Si uno tuviera una financiación suficiente, es un tema de ambición, querría estar siempre a la vanguardia. Una de las cosas que es muy ilusionante de trabajar con los científicos, es que siempre quieres ir un poco más allá. Tiene que ser algo realizable pero siempre quieres ir más allá. Eso es muy atractivo. Yo una

de las cosas de las que me siento realmente satisfecho, en mi carrera profesional, es que he repetido pocas cosas. Siempre he tenido que estar haciendo cosas diferentes. Eso para el intelecto de una persona es muy enriquecedor. Los límites te pone el que para con hacer cosas nuevas hay que trabajar muy duro. Uno no sabe qué se va a encontrar.

Para mí ha sido también difícil trabajado con los científicos ponerles límites. Los astrofísicos siempre lo quieren todo. Porque cualquier cosa que les des, ellos dan un paso más y saben que algo más encontrarán en la ciencia. No saben qué, pero algo más van a encontrar. Siempre lo quieren todo. Tener que decidir hacia donde quieren ir, porque saben que renuncian a otra cosa, les es muy difícil. No solo los ingenieros, que al final tenemos que construir las cosas, pues evidentemente no se puede construir todo. ¿Con financiación ilimitada? pues estarías de forma más continua en la vanguardia.

P. Dr Corradi. Con financiación ilimitada, ¿qué haría?

R. Romano Corradi. En lugar de ilimitado, un cheque grande, porque el cheque también hay que rellenarlo con un número. No se puede poner infinito en un cheque.

Me gustaría invertirlo para tener oportunidades que tienen otros grandes telescopios y nosotros no podemos.

Es decir, GRANTECAN es una gran máquina y funciona muy bien, estoy muy contento, pero es verdad que otros telescopios tienen planes que son mucho más ambiciosos porque tienen financiación, pero no solo financiación, tiene una comunidad que trabaja para el telescopio mucho más grande. Yo lo invertiría para mejorar el telescopio donde se pueda, pero sobre todo para un plan instrumental, para hacer algún instrumento científico único y muy ambicioso.

Un poco de dinero me gustaría invertirlo en crear empresas satélites a GRANTECAN. Nunca lo hemos hablado internamente, pero creo que hay muchas ideas que surgen trabajando en astrofísica o en el desarrollo de un tecnológico como puede ser GRANTECAN, que permitiría abrir pequeñas empresas, aunque sean de tamaño reducido, que puedan ayudar a fomentar el desarrollo local, sobre todo aquí en La Palma. Estoy hablando de empresas de software, mecánica, comunicaciones, difusión, divulgación, museos. Sería bonito tener la posibilidad de ampliar el alcance de donde llega el GRANTECAN creando empresas satélites o dando oportunidades para que se cree un tejido alrededor del GRANTECAN más amplio de lo que se ha conseguido hasta la fecha.

P. Daros las gracias a los tres por haber participado en este programa de la UNED. Teniendo en cuenta que tene-

mos un centro en la isla de la Palma, casi os prometo que en cuanto tenga la oportunidad de ir, intentaré volver a contactar con vosotros para ver en directo lo que nos habéis contado, porque la verdad, es apasionante. Creo que ha sido un lujo ver lo que puede hacer un ingeniero tanto desde la investigación, la gestión, representado en el Director General, Doctor Corradi. Todo lo que es la innovación y el desarrollo alrededor de un gran proyecto como nos ha demostrado Javier Castro y luego hacer que todo eso en el día a día funcione que es lo que nos ha hecho ver el Jefe de Operaciones Luis Rodríguez. A nuestros alumnos, que recuerden que hay que tener una gran ambición y que cómo ingenieros industriales podemos llegar a cualquier sitio y el trabajo de nuestra vida puede estar en proyectos tan singulares como éste.