

SI SUEÑAS, SUEÑA A LO GRANDE

“Recupérate felizmente. Estamos contigo, vuelve fuerte, Siento que se rompiera porque era tan bonito”. Con estas palabras, un grupo de estudiantes de primaria del área de Orlando, Florida, nos animaba a seguir adelante el pasado invierno. Cientos de cartas que su profesora nos hizo llegar. Y mientras las ojeaba, no podía dejar de preguntarme, ¿Qué tiene el observatorio Arecibo que lo hace tan especial?



Noemí Pinilla Alonso

Observatorio de Arecibo & Instituto del Espacio
de Florida, Universidad de Florida Central
Npinilla@ucf.edu

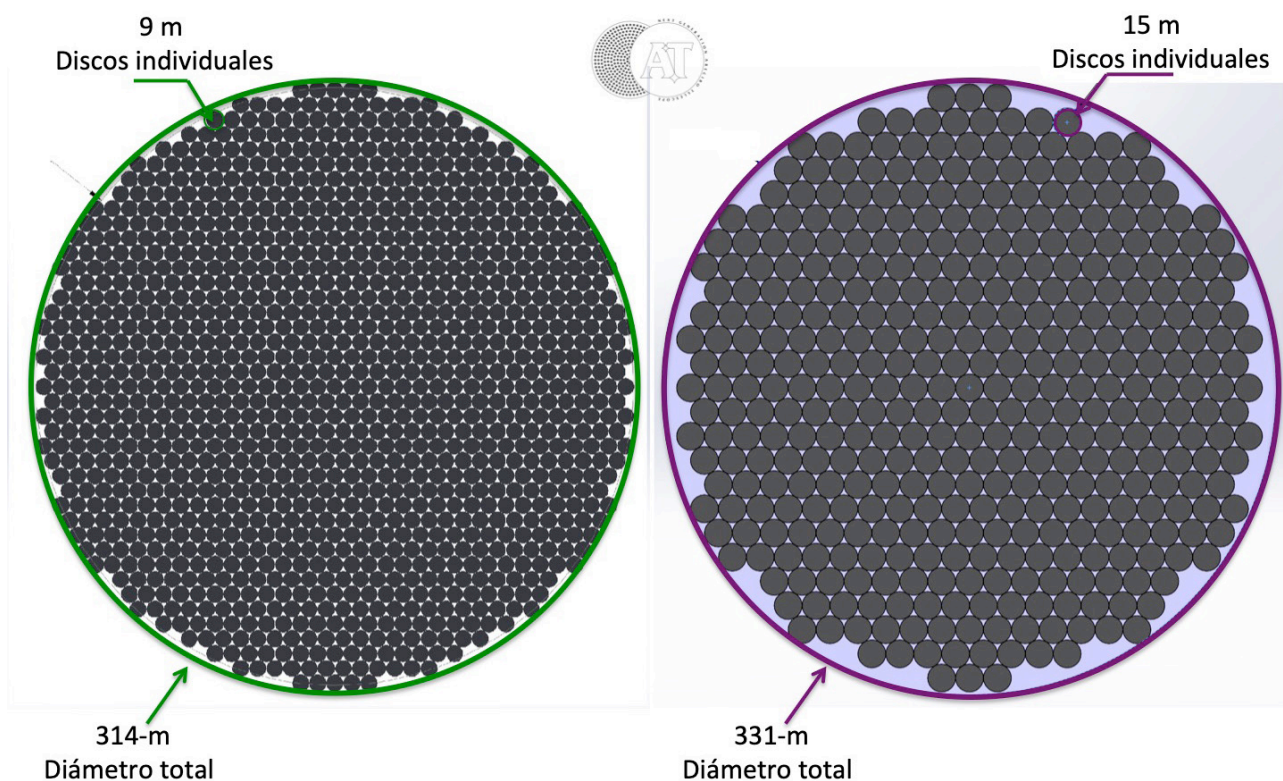
TRABAJANDO EN UN OBSERVATORIO

Lo observatorios son espacios de trabajo que, por el bien de su desempeño, se encuentran en parajes naturales alejados de las ciudades por lo cual, desplazarse a estos observatorios ya es una experiencia en sí misma, que nos aleja de los quehaceres diarios y nos sumerge, por unos días, en un estado de cierta quietud que favorece la reflexión y el ensimismamiento. En ellos conviven dos mundos en actividad, por un lado los usuarios, científicos, visitantes quizás más introvertidos, siempre mirando al cielo y pensando en objetos exóticos fuera de este mundo. Por otro lado los técnicos e ingenieros, personal fijo en cada observatorio, con los pies en la tierra, aquellos que nos dicen lo que se puede y no se puede hacer. Estos dos mundos también se entremezclan en Arecibo para garantizar el funcionamiento óptimo del telescopio y otras instalaciones. En los últimos años, 100 personas del grupo de operaciones, técnicos, operadores, ingenieros, informáticos, personal de administración, centro de visitantes, cafetería, se ocupan de que todo esté a punto para que una veintena de científicos del observatorio puedan realizar sus observaciones, algunas dedicadas a sus propios proyectos de investigación, la mayoría como soporte a investigadores de cualquier lugar del planeta que ganaron ese tiempo gracias al programa de “cielos abiertos”, del que el observatorio de Arecibo (AO) y la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF, de sus siglas en inglés) se sienten tan orgullosos. Y ambos grupos han colaborado durante casi sesenta años alcanzando un nivel de integración tal que ha permitido al observatorio de Arecibo liderar descubrimientos únicos, siempre de primer nivel.

LA IMPORTANCIA DEL OBSERVATORIO DE ARECIBO, EL RADIOTELESCOPIO MÁS GRANDE DEL MUNDO

Durante 56 años, el telescopio William E. Gordon, de 305 m, fue el telescopio más grande del mundo. Pero no sólo eso, contaba con el sistema de radar más poderoso y fue el radio telescopio más sensitivo. También estaba acompañado de un buen número de instalaciones y laboratorios que complementaban y expandían su gran capacidad¹.

Por todo ello, el observatorio de Arecibo fue el origen de un gran número de descubrimientos científicos de valor único para la astrofísica, las ciencias planetarias

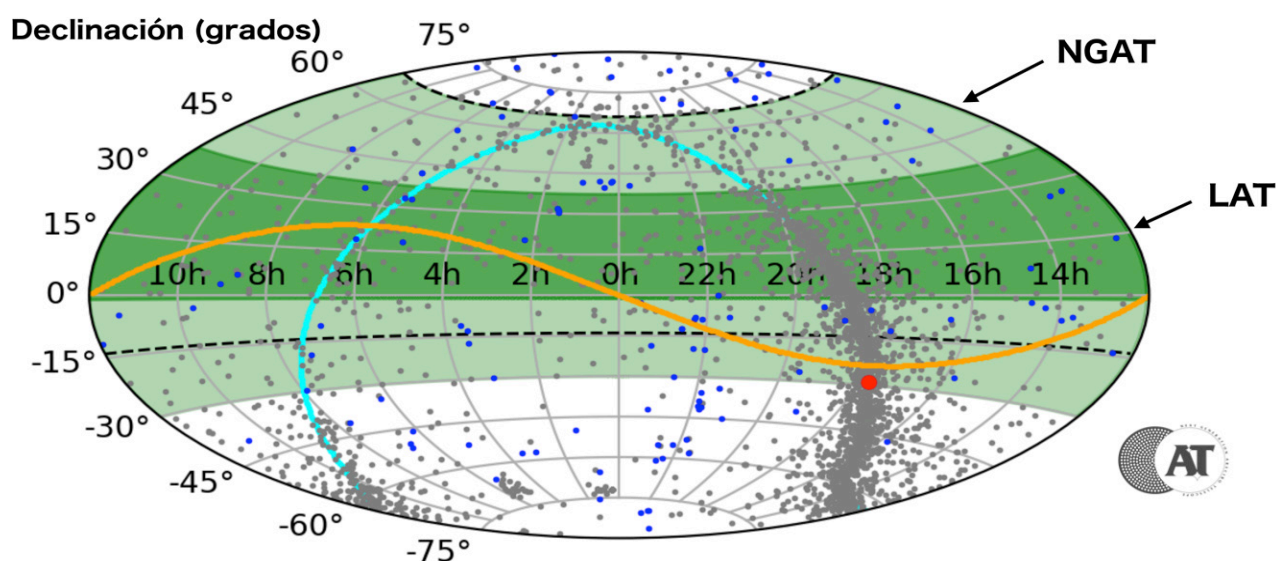


Dos posibilidades diferentes para el diseño de un plato de platos de más de 300m de diámetro. A la izquierda se muestra una matriz de 1112 platos de 9 m de diámetro dentro de un círculo de ~ 314 m de diámetro. El número de platos podría reducirse aumentando el diámetro del plato, como se muestra en la figura de la derecha, donde hay una matriz de 400 platos de 15 m de diámetro dentro de un círculo de 331 m de diámetro. En ambos casos, la matriz proporcionará un área de recolección equivalente a un plato de 300 m de diámetro. Es evidente que la eficiencia de la disposición no es óptima cuando se aumenta el diámetro del plato por lo cual, en la fase de estudios de este concepto se evaluará la posibilidad de platos hexagonales para investigar si se puede lograr un área de recolección más alta con un número menor de platos (figura adaptada de Roshi et al., 2021).

y las ciencias de la atmósfera. El telescopio de Arecibo cuenta en su historia con varios de esos momentos “eureka” con los que todos los científicos soñamos.

¡Cómo no referirnos en este punto al descubrimiento, en 1974, del sistema binario compuesto por una estrella de neutrones y un púlsar por el que Joseph H. Taylor Jr. y Russell A. Hulse merecieron el reconocimiento en forma de Premio Nobel de Física en el año 1993! Pero hubo otros a lo largo de la historia. En el año 1965, [Gordon H. Pettengill](#) y Rolf B. Dyc mostraron, con observaciones realizadas desde Arecibo, que el período de rotación de Mercurio no era

de 88 días, como se suponía hasta entonces, sino de 59 días. En el año 1992, Alexander W. Wolszczan y Dale Frail publicaron el descubrimiento del primer exoplaneta que, en este caso, orbitaba no en torno a una estrella sino a un púlsar, lo cual posibilitó su observación en ondas de radio. Más recientemente, en el año 2017, Lee G. Spitler y colaboradores publicaron la primera detección de una ráfaga rápida de radio que repetía su explosiva emisión, probando que, cualquiera que sea la fuente de estas energéticas ráfagas de milisegundos, no es destruida en el evento que le da origen sino que permanece activa. El año 2019, fue el año del record en detección de



Comparación de la cobertura del cielo de NGAT y de LAT (figura adaptada de Roshi et al., 2021). Observar como el centro de la galaxia, marcado con un punto rojo, que no entraba en el campo de observación de LAT, podrá ser cubierto con NGAT.

asteroides por el equipo de radar de Arecibo liderado por Anne K. Virkki, 126 asteroides cercanos a la tierra. El camino que empezó en la década de los 60 continuaba activo hasta agosto del 2020 en Arecibo, sin perder su capacidad de sorprender a la humanidad y nadie ya podrá saber cuántos más de esos “eureka” nos tenía reservados.

Pero esto es sólo una pequeña muestra, cuando se examinan de cerca los números de Arecibo, es cuando se revela su dimensión única como centro de investigación puntero y como inspiración de nuevas generaciones de científicos. Unas 250 instituciones internacionales han obtenido tiempo de observación a lo largo de los 60 años de historia de AO, con unos 300 usuarios al año. Casi 400 trabajos de máster y tesis doctorales se han basado en datos adquiridos en este observatorio, más de 3500 trabajos publicados en revistas con árbitro. Un millar de estudiantes no graduados han recibido entrenamiento a través de programas como el REU de NSF o como el programa STAR o AOSA, dedicado a estudiantes y profesores de secundaria y bachillerato.

ALGO MÁS QUE CIENCIA, PARTE DE LA CULTURA LOCAL

Siempre que miro hacia atrás y pienso en aquello que contribuyó a hacer único el centro de investigación de Arecibo, hay algo en lo que reparo que quizás no sea tan visible desde fuera. Este observatorio triunfó en aquello en lo que otros, aún a su pesar, naufragan. Con el paso del tiempo “la antena” de Arecibo pasó a ser un componente principal de la cultura puertorriqueña. Cada día, un amplio grupo de personas, a menudo mucho más visible que los trabajadores de la instalación, se adentraba en el recinto. Los visitantes se acercaban en decenas cada día, algunas veces centenas, y subían la pequeña y empinada carretera que comunica la entrada al recinto con el balcón desde el que se podía ver el plato y la plataforma. Familias, grupos de escolares, turistas. ¡Un millón y medio de ellos desde el nacimiento de este gran telescopio! Un millón y medio de personas que contenían su respiración cuando desde ese balcón podían ver a sus pies el plato de 305 metros, formado por 40000 paneles de aluminio preparados para recoger el eco de los pulsares más lejanos, las ráfagas

rápidas de radio, esos asteroides “peligrosos” que se acercan a la tierra, o porqué no, señales de otras civilizaciones. Y al mismo tiempo, aún conteniendo la respiración, elevaban la vista hacia la plataforma de 900 toneladas suspendida, por 18 cables, de tres torres de hasta 111 metros de altura, a 150 metros del suelo. ¡Otra vez los números de Arecibo! Son necesarios para hacernos una idea del gran éxito que este telescopio fue como diseño de ingeniería y también de la complejidad de su operación y mantenimiento.

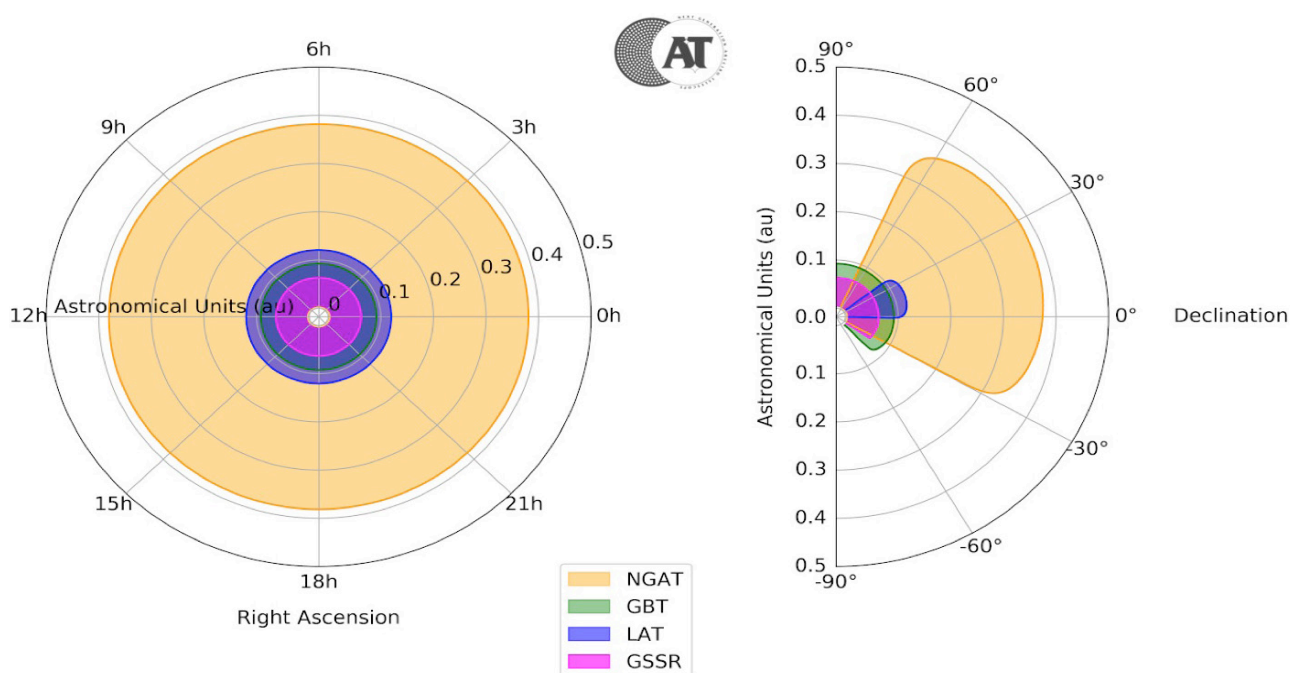
¿Y AHORA QUÉ?

Viví momentos muy emocionantes en los últimos años en Arecibo pero, por desgracia, me tocó vivir también uno de los más tristes el pasado diciembre, y eso que 2020 ya venía haciéndonos daño a todos. El 1 de diciembre del 2020, la plataforma y parte de las torres del telescopio principal colapsaron sobre la antena confirmando un destino que muchos nos negábamos a creer en las semanas anteriores.

¿Y ahora qué? Esa es la pregunta a la que los 120 trabajadores de Arecibo nos enfrentamos desde ese momento. Un pregunta que no puedo responder sin sentir el peso del gran legado del telescopio de Arecibo, el más grande del mundo durante mucho tiempo y, sin duda, el más productivo y multidisciplinar.

Ahora, y desde el pasado diciembre, el personal de Arecibo, con el apoyo de la comunidad de usuarios, se ha sacudido la enorme pena de presenciar el colapso del gigante y trabaja sin descanso en el diseño de un nuevo instrumento central, un nuevo telescopio, que tome el relevo de lo que el histórico telescopio de Arecibo (LAT de su nombre en inglés, Legacy Arecibo Telescope) ejecutó de tan impresionante manera durante casi 60 años. No se trata, está claro, de reconstruir o recuperar el antiguo telescopio sino de, contagiados por el espíritu pionero de William E. Gordon, construir una nueva joya que sirva de instrumento científico y de fuente de inspiración por al menos

Comparación del alcance de NGAT con el telescopio histórico de Arecibo (LAT), el radar para el sistema solar de Goldstone DSS-14 (GSSR) o el sistema proyectado para el Green Bank Observatory (GBT). Las áreas sombreadas corresponden a regiones de la esfera celeste donde cada telescopio podría detectar un objeto potencialmente peligroso (PAH) de 140 metros de diámetro con un período de rotación de 2.1 horas y un albedo de radar de 0.1, por encima del umbral de detección de $\text{SNR} = 6$ (7,8 dB) (figura tomada de Roshi et al., 2021).



Muestra de la colección de cartas enviada por los estudiantes de la escuela primaria Magnet Goldsboro, Florida, a los trabajadores del Observatorio de Arecibo tras el colapso de la plataforma. Imagen por cortesía del Observatorio de Arecibo, una instalación del NSF.



otras seis décadas. Y este sería el Telescopio de Arecibo de Próxima Generación (NGAT, de sus siglas en inglés). El concepto de NGAT nace de la decisión meditada y unánime de diseñar un instrumento que sirva, al máximo nivel posible, a las tres comunidades científicas que tradicionalmente han utilizado el Telescopio de Arecibo, estas son, la comunidad de radioastronomía, la comunidad de ciencias planetarias y la comunidad de ciencias atmosféricas. En las diferentes discusiones que tuvieron lugar entre el mes de noviembre y finales del mes de enero barajamos otras opciones o conceptos diferentes para NGAT pero siempre llegamos a la misma conclusión, ninguno de ellos podría cubrir esta necesidad.

¿EN QUÉ CONSISTE EL CONCEPTO DE NGAT?

Con el fin de lograr los objetivos científicos generales mencionados en las siguientes secciones, el pasado mes de febrero presentamos un concepto para el NGAT, una combinación innovadora de una matriz compacta, y en fase, de discos fijados a una estructura orientable similar a un plato, un “disco de discos”. Uno de los retos más importantes en este diseño es conseguir distribuir los discos de la manera más compacta posible para maximizar el área de recolección total. La forma de los platos individual podrá variar como consecuencia de los estudios de ingeniería que comenzarán este año (ej. platos hexagonales) si con ello se consigue

aumentar el área recolectora neta en comparación con platos circulares. Los parámetros individuales de los platos también deben optimizarse para conseguir una sensibilidad óptima en todo el rango deseado, de 200 MHz a 30 GHz, así como minimizar la amplitud del lóbulo, reducir el costo y proporcionar acceso de mantenimiento a la alimentación y la electrónica de entrada².

En este concepto, cada plato contaría con su propio transmisor y receptor, consiguiendo así evitar la construcción de una plataforma suspendida conteniendo el secundario, el terciario y la instrumentación.

En comparación con el LAT, el NGAT proporcionaría un campo de visión 500 veces más amplio, una cobertura de declinación 2.3 veces mayor, una cobertura de frecuencia 3 veces mayor, casi el doble de sensibilidad en la recepción de señales de radioastronomía y una potencia de transmisión más de cuatro veces mayor. El nuevo telescopio coexistirá con una instalación de alta frecuencia (HF) ampliada en sus prestaciones y un conjunto de instrumentación óptica y de radio que continúa en estos momentos operando en AO y en Isla Culebra y que, durante 2020 y 2021, pasa por un amplio proceso de renovación.

¿DE DÓNDE VIENEN ESTOS REQUISITOS?

Como comenté más arriba, el primer punto de la discusión que llevó a este concepto fue la motivación científica para un nuevo telescopio. ¿Qué ciencia queremos habilitar en las próximas décadas? ¿Qué ciencia siempre quisimos hacer con LAT pero no podíamos? ¿Cómo podemos ampliar el potencial de nuevos descubrimientos en campos en los que ya trabajábamos? En las próximas secciones resumo la motivación científica que condujo al diseño del concepto NGAT.

CIENCIAS PLANETARIAS

Requisitos motivados por los objetivos científicos para ciencias planetarias:

5 MW de potencia de transmisión de onda continua de 2 a 6 GHz, apertura de haz de 1-2 minutos de arco y mayor cobertura del cielo.

Un papel clave del LAT como anfitrión del sistema de radar más poderoso del mundo fue caracterizar las propiedades físicas y dinámicas de los objetos cercanos a la Tierra (NEO, de sus siglas en inglés). Este trabajo se realiza en apoyo de la Oficina de Coordinación de Defensa Planetaria de la NASA, en línea con el interés nacional y seguridad. En los últimos años, AO observó cientos de objetos cercanos a la Tierra como parte del mandato de la NASA por parte del Congreso de los EE. UU. de detectar, rastrear, catalogar y caracterizar el 90% de todos los NEOs de más de 140 metros de tamaño. Aunque el descubrimiento de estos objetos se realiza con observaciones en visible, el seguimiento posterior con radar es una técnica incomparable para determinar con precisión su trayectoria futura y evaluar si representan una amenaza de impacto real para la Tierra.

Estas mediciones de radar aseguran la posición y la velocidad de los NEOs con una precisión de decenas de metros y milímetros por segundo, respectivamente. Durante décadas, también, LAT se usó para mapear las superficies de Mercurio, Venus, Marte y la Luna, apoyando su exploración humana y robótica. Una nueva instalación, con un sistema de radar más potente (5 MW a 2 a 6 GHz) y una gran cobertura del cielo, sería un gran apoyo para la oficina de Defensa Planetaria, la exploración del Sistema Solar y el programa de detección de residuos en órbita al como muestran los siguientes ejemplos:

- Cada año podría caracterizar el 90% de los asteroides descubiertos en el óptico con riesgo de impacto a la tierra.
- Tendría capacidad para probar las capas interiores más cercanas a la superficie de mundos helados en órbitas alrededor de Saturno y Júpiter, o de los cometas o centauros en regiones interiores a estos planetas.
- Detectaría residuos espaciales en órbita geostacionaria u órbita cislunar de hasta 1 metro y llegaría a tamaños milimétricos para residuos en órbitas bajas.
- Daría soporte a misiones de exploración como la misiones de NASA, DART, Janus, Europa Clipper y Dragonfly, o como JUICE, una misión ESA.

CIENCIAS ATMOSFÉRICAS

Requisitos motivados por los objetivos científicos para ciencias atmosféricas:

0° a 45° de cobertura desde el cenit, 10 MW de poder de transmisión máxima a 430 MHz y superficie de gran sensibilidad.

Las Ciencias Espaciales y Atmosféricas en AO han utilizado tradicionalmente múltiples enfoques para la investigación atmosférica. El radar de dispersión incoherente (ISR, de sus siglas en inglés) de LAT, los laboratorios de lidar combinados con telescopios ópticos, las instalaciones ópticas pasivas remotas e in-situ y la instalación de alta frecuencia (HF) fueron las piedras angulares de la investigación de SAS en AO. El poderoso radar del LAT era el único instrumento de este tipo capaz de perfilar los parámetros ionosféricos más allá de los 2000 km de la atmósfera terrestre. Las observaciones de alta resolución de concentraciones de electrones, temperaturas, composiciones de iones y la inferencia de campos eléctricos en la ionosfera son vitales para las investigaciones de los procesos de acoplamiento entre diferentes regiones atmosféricas. Así mismo, proporcionan información valiosa en cuanto a la influencia de las perturbaciones meteorológicas solares en el medio ambiente de la Tierra y los procesos fundamentales del plasma, ya que la ionosfera actúa como un laboratorio de plasma natural. Sin embargo, la capacidad del ISR en LAT estaba limitada en cuanto a la dirección del haz. NGAT ha sido pensado para superar esa limitación con una mayor cobertura del cielo (cobertura cenital $\geq 45^\circ$). Así mismo, una mayor potencia del radar (≥ 10 MW a 430 MHz) abriría nuevas posibilidades de investigaciones y resultaría, muy probablemente, en descubrimientos innovadores. Algunos de los objetivos científicos definidos para NGAT son:

- Investigar el cambio climático global y su influencia en las zonas altas de la atmósfera.
- Investigar el caso de las perturbaciones de corto período en la ionosfera.
- Entender los fenómenos de acoplamiento de diferentes capas de la atmósfera para mejorar las comunicaciones por satélite y los pronósticos del tiempo.

ASTROFÍSICA

Requisitos motivados por los objetivos científicos para radioastronomía:

Excelente sensibilidad en un rango de frecuencia de 200 MHz a 30 GHz, mayor cobertura del cielo y permitir el apuntando del telescopio hasta 48° desde el cenit para observar el Centro Galáctico.

La versatilidad de LAT para las investigaciones en radioastronomía fue una de los factores principales que influyeron en la alta productividad de este telescopio. Los investigadores de púlsares, del entorno galáctico y extragaláctico, fueron los que con mayor intensidad sintieron la pérdida del instrumento. NGAT debería permitir observaciones complementarias con otras instalaciones de radio existentes y futuras. Por ejemplo, la nueva instalación proporcionaría un aumento sustancial en la sensibilidad para la interferometría de base muy larga (VLBI), de la cual el LAT ya fue un instrumento único en lo que a sensibilidad se refiere. Además, una mayor cobertura del cielo, una mayor área de recolección, una mayor cobertura de frecuencia y un mayor campo de visión aumentarían sustancialmente el potencial de investigación en una amplia gama de campos, algunos de los cuales se destacan a continuación.

- Realizar test de la teoría general de la relatividad observando púlsares en el centro de la galaxia.
- Aumentar la capacidad de investigar los procesos subyacentes a la física de los púlsares o las ráfagas rápidas de radio.
- Detectar moléculas de interés prebiótico en nuestra galaxia y más allá.
- Explorar la historia de formación estelar en el universo gracias la emisión de ^{12}CO en galaxias masivas a redshift > 3 .
- Buscar exoplanetas y realizar estudios de habitabilidad en relación al campo magnético de la estrella huésped.

SUEÑA A LO GRANDE

Tomé prestada para el título de este artículo una frase del Dr. William E. Gordon, diseñador del observatorio de Arecibo. Él decía “Si sueñas, sueña a lo grande y ten colaboradores con talento que te ayuden”.

Puede que lo que he presentado más arriba suene como un gran sueño y esa palabra, *sueño*, tiene, desgraciadamente en nuestra cultura, tintes de irreal. Sin embargo, bebiendo de mi experiencia, sé que se puede soñar a lo grande y alcanzar esos sueños. Requiere mucho trabajo, requiere el esfuerzo mental de salir de la zona de confort, tan mentada por gurús pamplineros y, sin embargo, tan real como limitante. Y requiere, como decía Gordon, tener colaboradores y apoyos con talento. El equipo de Arecibo tiene ese talento, y tiene la pasión que te da trabajar en aquello que siempre soñaste. Ellos son los mismos que durante años se enfrentaron a presupuestos cada vez más limitados. Ellos son los mismos que en el 2017 recuperaron la instalación tras el huracán María. Los mismos que tras 24 horas en casa detrás de las ventanas viendo y sintiendo el viento y la lluvia con una fuerza descomunal, se echaron a la autopista, “la expreso”, para comprobar daños y poner el telescopio en funcionamiento de nuevo. Y lo hicieron antes incluso de recuperar su casa. Ese equipo, con nuevas incorporaciones tan comprometidas y apasionadas como el que apoyó a Gordon hace 60 años, es el mismo que está trabajando ahora convencido de que hay un futuro para Arecibo, que pueden formar un equipo que diseñe y construya el mejor radiotelescopio del mundo, para el mundo y para la isla de Puerto Rico.

En realidad, sólo el tiempo y el dinero dirá si esto es posible, pero una cosa tengo clara, ¡Que no sea por no soñar! Por falta de talento y de trabajo ¡No será!

Nota final: No quiero cerrar este escrito sin agradecer el gran apoyo que el observatorio de Arecibo recibió de la comunidad de científicos y astrónomos aficionados españoles a principios de este invierno. Ese apoyo, que siempre es necesario, fue realmente un soplo de aire fresco especialmente este año en que hemos pasado tanto tiempo trabajando en soledad o hablando con una pantalla dividida en cuadrados gris oscuro.

NOTAS

- ¹ Un buen número de laboratorios y detectores aún están activos en el observatorio, que continúa abierto como centro de investigación, <http://www.naic.edu/ao/scientist-user-portal/#scienzenow>
- ² Otros detalles de este concepto, como la óptica de cada disco, el movimiento y la deformación del plato de soporte, las características de los radio receptores y transmisores, o el procedimiento para co-fasear el vector de discos fueron puntos de discusión que pueden consultar en [Roshi et al. 2021](#).

Foto del observatorio Arecibo. Imagen por cortesía del Observatorio de Arecibo, una instalación del NSF.

