

Observar lo invisible. Radiotelescopios: Infraestructuras entre el paisaje y el cosmos

Observing the invisible. Radio telescopes: infrastructures between the landscape and the cosmos

CARLOS GARCÍA FERN, BEGOÑA DE ABAJO CASTRILLO, RUBÉN GUTIÉRREZ LLAMAS

Carlos García Fern, Begoña de Abajo Castrillo, Rubén Gutiérrez Llamas, "Observar lo invisible. Radiotelescopios: Infraestructuras entre el paisaje y el cosmos / Observing the Invisible. Radio telescopes: Infrastructures between the landscape and the cosmos", ZARCH 20 (Junio 2023): 140-155. ISSN versión impresa: 2341-0531 / ISSN versión digital: 2387-0346. https://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.2023207453

Recibido: 15-11-2022 / Aceptado: 1-1-2023

Resumen

Este artículo investiga acerca de la evolución de un tipo de observatorio astronómico –el radiotelescopio- que desde sus orígenes hasta la actualidad ha ido variando en base a los avances en la ciencia y la tecnología asociadas al campo de la radioastronomía. Se plantea la hipótesis de que el origen de esta rama de la ciencia supuso un cambio de paradigma que conlleva una transgresión de la tipología de los espacios dedicados al conocimiento y la observación del cosmos. Esta nueva clase de observatorio, al mismo tiempo ofrece un nuevo tipo de infraestructuras que, por su gran escala, establece una nueva relación con el paisaje, generando espacios de convergencia entre la naturaleza, la tecnología y la cultura.

Se realiza un estudio de seis de los radiotelescopios de gran escala más representativos de su clase, comparando tanto los datos técnicos como los aspectos formales con el objetivo de obtener una serie de conclusiones que contribuyan a un mejor entendimiento de los tipos de espacio que estos producen en relación al paisaje y a los seres humanos.

Palabras clave

Paisaje Cultural, Observatorio Astronómico, Tecnología, Arquitectura y Naturaleza, Radiotelescopio

Abstract

This article investigates the evolution of a kind of astronomic observatory -the radio telescope- that has been varying since its origin due to the advances in science and technology associated with the field of radio astronomy. The article raises the hypothesis that the origin of this branch of science produced a paradigm shift that leads to a transgression of the typology of the spaces for knowledge and observation of the cosmos. At the same time, it offers a new type of infrastructure that, due to its scale, establishes a new relationship with the landscape. It creates spaces of convergence between nature, technology and culture.

A study of six of the most representative large-scale radio telescopes of their class is carried out. The research compares both the technical data and the formal aspects with the aim of reaching a series of conclusions that contribute to a better understanding of the types of space that radio telescopes produce in relation to the landscape and the human beings.

Keywords

Cultural Landscape, Astronomic Observatory, Technology, Architecture and Nature, Radio telescope

Carlos García Fernández (Asturias, 1982) es Doctor Arquitecto por la Universidad Politécnica de Madrid con Premio Extraordinario de Doctorado, Máster por la Universidad de Columbia en Nueva York donde estudió como becario Fulbright y Arquitecto por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM). Completó su formación como estudiante de intercambio en Holanda (TU Delf) y ha sido becario en la Academia de España en Roma, investigador visitante en Keio University en Tokio, y actualmente es Profesor Ayudante Doctor en el Departamento de Proyectos Arquitectónicos en la ETSAM.

Begoña de Abajo Castrillo (León, 1986) es Doctora Arquitecta por la Universidad Politécnica de Madrid, Máster por la Universidad de Columbia en Nueva York donde estudió como becaria Fulbright en 2014 y Arquitecta por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM). Terminó sus estudios en 2012 obteniendo el Premio Nacional Final de Carrera Universitaria (Ministerio de Educación Cultura y Deporte) y el Premio Extraordinario (Universidad Politécnica de Madrid). Fue estudiante de intercambio en el Illinois Institute of Technology en Chicago. Entre 2017 y 2021 fue investigadora contratada predoctoral en el departamento de Proyectos Arquitectónicos de la ETSAM, donde actualmente es Profesora Asociada.

Rubén Gutiérrez Llamas (Madrid, 1996) es Arquitecto titulado por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAM) de la Universidad Politécnica de Madrid. Ha completado su formación en Arquitectura gracias a un intercambio en la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) en Suiza. Presentó su Trabajo de Fin de Grado en 2019 y su Trabajo Fin de Master en 2021, siendo propuesto a Matrícula de Honor por ambos trabajos.

Figura 1. Réplica de la antena de Karl G. Jansky (NRAO/AUI/NSF).

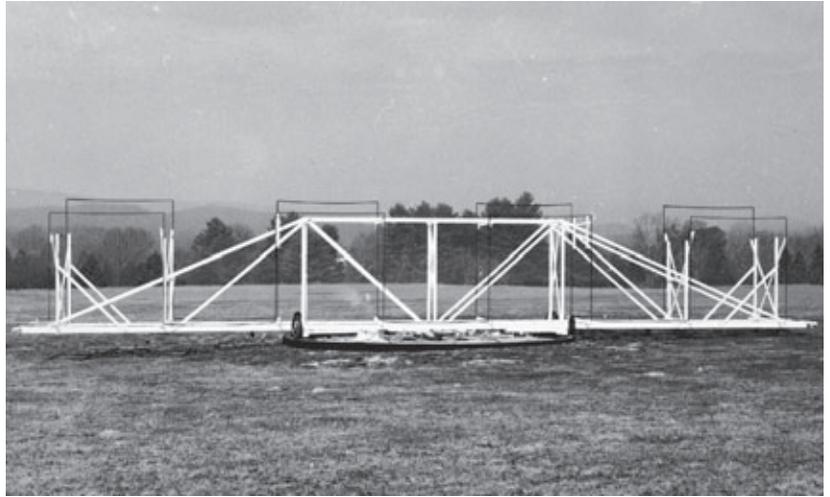


Figura 2. Primer radiotelescopio de Grote Reber, (NRAO/AUI/NSF).



Introducción

En el año 1933 el ingeniero Karl G. Jansky (1905-1950) descubrió de forma fortuita unas señales de radio procedentes de la Vía Láctea mientras investigaba interferencias radiofónicas para Bell Laboratories.¹ Utilizando una antena diseñada para estudiar la dirección de las tormentas eléctricas que pudiesen causar dichas interferencias, Jansky detectó una señal de radio cuya procedencia parecía ser de origen extraterrestre (figura 1). Tras la publicación de varios artículos en los que explicaba su descubrimiento, fue otro Ingeniero, Grote Reber (1911-2002) quien en 1937 construyó el primer instrumento destinado a observar aquello que ni el ojo humano ni las lentes de los telescopios ópticos son capaces de ver: las ondas de radio que se encuentran fuera del espectro de la luz visible. Utilizando una superficie parabólica de metal reflectante de 9 m de diámetro que estaba enfocada a un receptor de radio situado a 8 m del espejo, en 1944 pudo publicar el primer mapa de radio de la Vía Láctea, lo que lo convirtió en pionero de la radioastronomía² El diseño de Reber suponía la creación del primer radiotelescopio (figura 2).

Desde entonces, el diseño de los radiotelescopios ha ido variando en base a los avances en la ciencia y la tecnología asociadas al campo de la radioastronomía. Tras una reflexión sobre la evolución de los observatorios astronómicos a lo largo de la historia se plantea como hipótesis que el origen de la radioastronomía supuso un cambio de paradigma marcando un antes y un después en la evolución

1 National Radio Astronomy Laboratory Archives, <https://www.nrao.edu/archives/jansky-finding-aid> (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

2 K. Kellerman. "Grote Reber (1911-2002)", *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. Vol. 116, No. 822 (2004): 703-711 https://www.jstor.org/stable/10.1086/423436?seq=1#metadata_info_tab_contents (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

**CARLOS GARCÍA FERN,
BEGOÑA DE ABAJO CASTRILLO,
RUBÉN GUTIÉRREZ LLAMAS**

Observar lo invisible.
Radiotelescopios: Infraestructuras
entre el paisaje y el cosmos

Observing the Invisible.
Radio telescopes: Infrastructures
between the landscape and the
cosmos

tipológica de los espacios para el conocimiento y la observación del cosmos. Al mismo tiempo, la construcción de estos dispositivos da lugar a un nuevo tipo de infraestructuras que, por su escala, establecen una nueva relación con el paisaje, generando espacios de convergencia entre la naturaleza, la tecnología y la cultura.

1. El observatorio astronómico: Evolución y transgresión tipológica

Los primeros instrumentos conocidos para la interacción entre los seres humanos y el cosmos estaban basados en la alineación de los elementos arquitectónicos con los cuerpos celestes, de tal forma que la luz emanada por estos se podía observar desde puntos estratégicos. Es el caso del Círculo de Goseck, considerado el primer proto-observatorio astronómico conocido en la historia de la humanidad, levantado hace unos 7.000 años,³ o el de Stonehenge, otro ejemplo de este tipo de construcciones que data del año 3.100 a.C.

El surgimiento de la astronomía como ciencia, supuso la aparición de construcciones con carácter más arquitectónico, siempre desde la intención de mirar al cielo. Hacia el año 1279 se levantó en China el Gran Observatorio de Dengfeng, donde aparecieron por primera vez espacios cerrados para el estudio del cosmos y se estudiaron las primeras sombras proyectadas por los objetos como reflejo de las variaciones de los cuerpos celestes a través de un gran gnomon.⁴

Tycho Brae (1546-1601), astrónomo danés, hizo grandes aportaciones a la astronomía como ciencia y ordenó la construcción del observatorio de Uraniborg (1576), en cierto modo precursor de lo que sería el observatorio moderno.⁵ Este tipo apareció posteriormente, tras la invención del telescopio, y se fue desarrollando hasta la definición de espacios proyectados para albergar los instrumentos tecnológicos que facilitan el estudio del cosmos, encontrando ejemplos como el Real Observatorio Astronómico de Madrid (1790). En los años siguientes, el observatorio astronómico fue despojándose de todo ornamento y estética buscando la máxima funcionalidad, al considerar que todo elemento innecesario podía alterar la precisión de las mediciones.⁶

Tras el descubrimiento de Jansky en 1933 y los trabajos de Reber en los años sucesivos, la aparición de la radioastronomía como campo de investigación supuso un importante hito en la evolución de los observatorios astronómicos, apareciendo con ella un nuevo tipo: el radiotelescopio. Estas infraestructuras se conciben como construcciones de gran escala dado que cuanto mayor sea su área colectora mejor es la calidad de las observaciones. Tanto por su escala como por la imposibilidad de obtener una observación directa, este tipo de estructuras tienden a eliminar todo espacio dedicado al público, limitándose a ser esencialmente instrumentos científicos.

En la actualidad, se están desarrollando grandes telescopios que contribuyen enormemente al desarrollo de la astronomía, en detrimento de la arquitectura ocupada por las personas: los espacios destinados a ser habitados por el ser humano se han ido reduciendo hasta ser prácticamente nulos mientras que la presencia en el paisaje de estos artificios tecnológicos es cada vez más notable.

2. Lugares de intersección entre la naturaleza, la tecnología y la cultura

Iñaki Ábalos, en el libro *Cuatro Observatorios de la Energía*, aporta una serie de definiciones que nos servirán para introducir una noción ampliada del concepto de observatorio:

3 Deborah Scherrer. *Ancient Observatories- Timeless Knowledge* (San Francisco: Stanford Solar Center, 2018), 6.

4 Un Gnomon es un Instrumento astronómico, compuesto de una varilla vertical y de un plano horizontal, que servía para determinar el azimut y altura del Sol. Fengxian Xu, "Dengfeng Observatory". En *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy* (Paris: ICOMOS-IAU, 2010), 90-93.

5 M.A. Castro Tirado. "El observatorio astronómico. Un diálogo entre ciencia y arquitectura" (tesis doctoral, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Málaga, 2019), 70.

6 Morton-Gledhill. The architecture of astronomy in the British Isles: a general study", *Vistas in Astronomy*, 32 (1988): 243.

1. “Los observatorios se denominan como tales precisamente porque su primer gesto es la elevación [...], el gesto más preciso del observatorio es el de ir más allá de los límites naturales.”

2 “Un observatorio es un lugar en el que, por mediación de la tecnología, [...] se consigue establecer un diálogo con la naturaleza que traduce la experiencia primera e inocente de la percepción en conocimiento”.

3. “El observatorio es un mecanismo topológico, una forma de tecnificación y un modo de relacionar la naturaleza y la cultura [...]”⁷

Todas ellas se complementan entendiendo el observatorio como un instrumento de intercambio entre la naturaleza y los seres humanos, sobrepasando los límites de la consciencia humana.

Los observatorios astronómicos contribuyen a extender el conocimiento científico y del cosmos mediante la observación del comportamiento de los distintos cuerpos celestes. Teniendo en cuenta que la función principal de esta tipología es ampliar el conocimiento acerca del cosmos, se requieren unas observaciones rigurosamente precisas, algo que se torna más acusado si cabe en el caso de los radiotelescopios, en los que se deben evitar las interferencias externas. Castro Tirado desarrolla en su tesis doctoral cómo “las mismas necesidades de los instrumentos astronómicos [...] entran en conflicto con el resto de actividades que tienen lugar en el observatorio, ya que los grandes reflectores son tan sensibles que las más remotas vibraciones, mínimas emisiones de calor o pequeñas turbulencias del aire pueden llegar a distorsionar o perjudicar los resultados de la observación”.⁸

Por lo tanto, los requerimientos de las observaciones astronómicas son tan especiales que limitan toda actividad complementaria en estos edificios. En particular en el caso de los radiotelescopios, el observatorio se ve supeditado a la tecnología del objeto técnico y se concibe como un instrumento científico en sí mismo.

Los espacios dedicados a actividades complementarias a la observación, como el estudio y el análisis de los datos obtenidos, se encuentran separados de la ubicación del instrumento de captación de datos. Por tanto, el observatorio es la conjunción de varios lugares, estando el instrumento captador destinado únicamente a la mecánica del proceso y quedando la actividad humana, en la mayor parte de los casos, relegada a otros espacios anónimos desvinculados físicamente de los primeros.

Iñaki Ábalos en su libro *Atlas Pintoresco. Vol.1: El Observatorio* redefine la noción de paisaje como “el efecto de la superposición de la actividad humana sobre la naturaleza, e incluye las modificaciones derivadas del medio para hacerlo productivo (...) y construir sobre él, sean infraestructuras o realizaciones propiamente arquitectónicas”⁹ En este sentido, podemos considerar los observatorios astronómicos como infraestructuras productivas (de conocimiento) fruto de la actividad humana que modifican la naturaleza, convirtiéndola en paisaje.

Los observatorios encajan de esta forma en la descripción que Juan Herreros e Iñaki Ábalos hacen de la ‘ecomonumentalidad’: “Es el paisaje lo que puede proyectarse, lo que deviene artificial. [...] El proyecto queda validado en tanto que construya una completa redescipción del lugar”¹⁰ El observatorio redibuja el paisaje, es un dispositivo que aporta una nueva identidad cultural a dicho entorno, algo que en palabras de Michael Lalaich guarda una estrecha relación con el modo de proceder de los artistas del *Land Art*: “La integración en el entorno es la caracte-

7 Iñaki Ábalos, “¿Qué es un Observatorio?”, en *Cuatro Observatorios de la Energía*. (La Palma: Colegio Oficial de Arquitectos de Canarias, 2007), 19.

8 M.A. Castro Tirado. “El observatorio astronómico” (2019), 19.

9 Iñaki Ábalos. *Atlas Pintoresco: Vol.1: El Observatorio*. (Barcelona: Gustavo Gili, 2005), 42.

10 Iñaki Ábalos y Juan Herreros, “Una nueva naturalidad. 7 Micromanifiestos”, *2G* nº 22 (2002): 42.

rística más acusada del arte de la tierra (*Land Art*). Las obras se conciben para un emplazamiento concreto y se realizan en el mismo. Su creación implica la modificación de superficies, estructuras y materiales y quedan grabadas en la memoria del lugar”.¹¹

En el caso de los radiotelescopios, no es tanto el contexto natural el que informa el diseño sino los requerimientos funcionales derivados de las propiedades físicas de las ondas de radio que se pretenden captar. Podríamos decir que su forma o su configuración es resultado de la necesidad de su correcto funcionamiento. En este sentido, el instrumento es un sistema de carácter artificial y pragmático que se inserta en un contexto con el que debe interactuar a nivel local al mismo tiempo que interactúa con el universo.

En relación con las obras del *Land Art* producidas en la década de 1960, y hablando de los proyectos desarrollados por Mansilla+Tuñón en torno al año 2000, para Amanda Schachter las operaciones arquitectónicas a gran escala en el paisaje se pueden entender: “como gestos mínimos y quintaesenciales que se han grandes en el paisaje” o “como huellas que se insertan en el lugar y cuanto más grande es la construcción más reconocible debe resultar la huella”.¹²

Pero podemos entender que los radiotelescopios no solo guardan relación con las operaciones del *Land Art* por la forma de integrarse en el medio, sino por el diálogo entre lo inmaterial y lo material que se genera a través de ellos. J. Chavarría escribe sobre ‘The Lightning Field’ de Walter de María: “Para el artista es precisamente el diálogo que se establece entre ambos mundos (la energía y la tierra, los relámpagos y las estacas) el que da un verdadero sentido a la obra”¹³ De este modo, la relación entre las ondas electromagnéticas y los instrumentos de los observatorios nos hablan de una relación entre lo natural y lo artificial que trasciende sus fines científicos y los acerca a cuestiones conceptuales similares a las que utilizaban estos artistas.

Emilio Tuñón, en un texto publicado en la revista *CIRCO* en el año 1993, cita la obra *El azar y la necesidad* del Premio Nobel de Fisiología y Medicina Jacques Monod. En él explica que “Monod trata de demostrar la dificultad racional de establecer un sistema para distinguir los objetos artificiales, productos de una actividad proyectiva consciente, de los objetos naturales, resultantes del juego gratuito de las fuerzas físicas”.¹⁴ En el texto de Monod se utiliza como recurso narrativo la historia de un ‘viajante extraterrestre’ que pretende desarrollar un programa capaz de diferenciar los objetos artificiales de los naturales basándose en criterios de estructura y forma macroscópica. Para el autor, los únicos criterios posibles para establecer esta diferenciación serían dos: la regularidad y la repetición.

A partir de esta idea, podríamos decir que los radiotelescopios, por sus geometrías regulares, sus elementos tectónicos y su capacidad de repetición modular pertenecen a la categoría de objetos artificiales que se insertan en contextos naturales. Estos parámetros formales junto con los que determinan sus sistemas de funcionamiento, serán los que nos permitan realizar un análisis comparativo de algunos de los casos de estudio más representativos. Teniendo esto en cuenta se han seleccionado seis radiotelescopios de gran escala, que aun perteneciendo todos ellos a este tipo característico de observatorio astronómico, presentan ciertas similitudes que permiten asociarlos por pares, y a su vez establecen diferencias y singularidades que dan lugar a variaciones dentro del tipo.

Por un lado se han elegido dos radiotelescopios cuyas áreas colectoras tienen orientación cenital: el radiotelescopio de Arecibo – de casquete esférico- y el Mo-

11 Michael Lalaich. *Land Art*. (Colonia: Taschen, 2015).

12 Amanda Schachter, “Del hito a la marca en el paisaje: una respuesta a la ‘largesse’ urbana”, *2G* nº 27 (2003): 102-

13 Javier Chavarría. *Artistas de lo inmaterial*. (Guipúzcoa: Editorial Nerea, 2002), 32.

14 Emilio Tuñón, “El cuadrado y la Cruz. Cuatro comentarios en torno a la repetición”, *CIRCO M.R.T. Coop* 1993.10 (1993): 1.

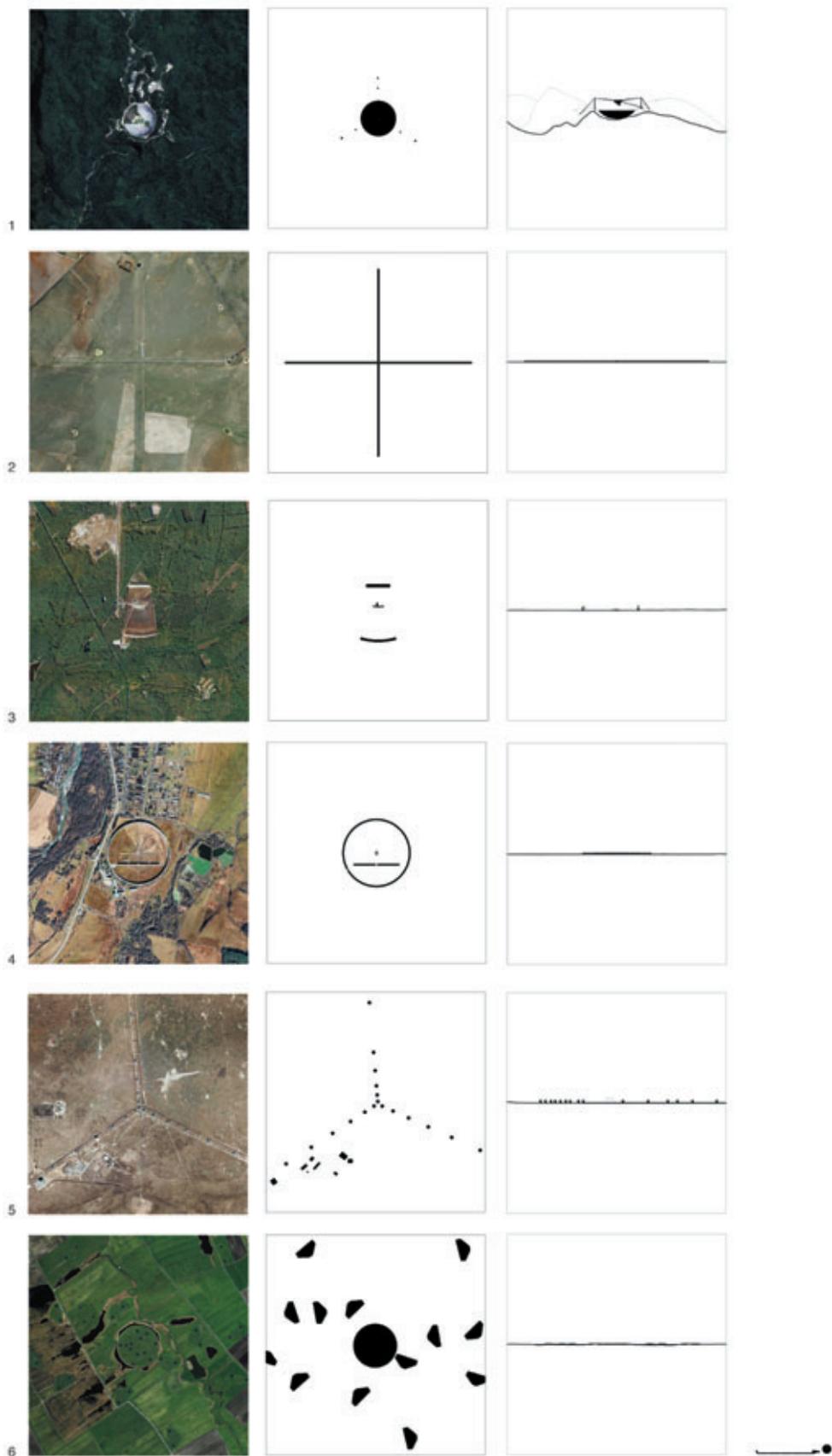


Figura 3: Vistas de satélite, plantas y secciones de los seis casos de estudio a la misma escala: 1. Radiotelescopio de Arecibo; 2. Molonglo Observatory Synthesis Telescope (MOST); 3. Radio Observatorio de Nançay; 4. Radiotelescopio Astronómico de la Academia de Ciencias, RATAN-600; 5. Carl G. Jansky Very Large Array Telescope (VLA); 6. Low-Frequency Array (LOFAR). Composición de fotografías de Google Maps y dibujos elaborados por los autores.

**CARLOS GARCÍA FERN,
BEGOÑA DE ABAJO CASTRILLO,
RUBÉN GUTIÉRREZ LLAMAS**

Observar lo invisible.
Radiotelescopios: Infraestructuras
entre el paisaje y el cosmos

Observing the Invisible.
Radio telescopes: Infrastructures
between the landscape and the
cosmos

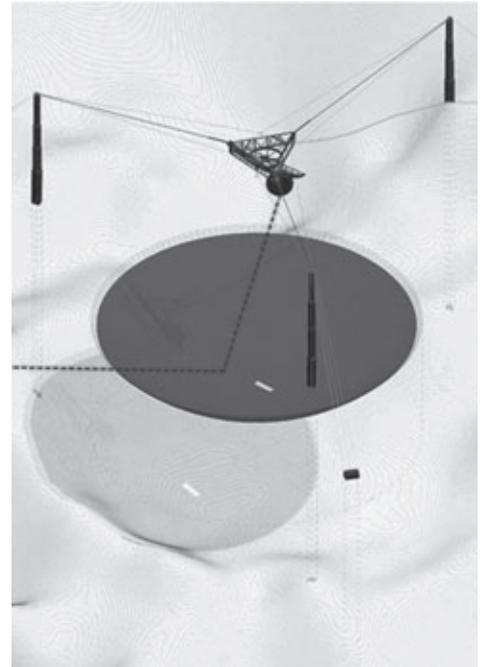


Figura 4: Diagrama de funcionamiento del radiotelescopio. Radiotelescopio de Arecibo. Dibujo de los autores.

longo Synthesis Telescope -de directriz de paraboloide cilíndrico-. Por otro lado, se incluyen en la selección dos casos de radiotelescopios basados en la captación de ondas por medio superficies reflectantes verticales: el Radio Observatorio de Nançay –que dispone de dos espejos colectores y un receptor - y el RATAN-600 -que además de tener más superficies reflectoras, dispone de varios receptores móviles-. Por último, se han seleccionado dos casos de radiotelescopios compuestos por múltiples antenas cuya función depende de la posición relativa de las mismas: el Very Large Array Telescope –cuyas antenas se desplazan por una guías para lograr distintas configuraciones- y el LOFAR –compuesto por multitud de antenas situadas en distintas localizaciones cuyo número de elementos y extensión del área colectora es variable (figura 3).

3. El radiotelescopio: de la forma unitaria a la organización en red

Toda astronomía se basa en la observación de las ondas luminosas que emiten los cuerpos celestes en las diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. Gracias a la radioastronomía es posible percibir más información de la que nos llega dentro del rango de la luz visible.¹⁵ Esencialmente un radiotelescopio está compuesto por tres componentes básicos: una o más antenas dirigidas al cosmos capaces de recibir ondas de radio; un receptor y amplificador para llevar la señal a un nivel medible; y un dispositivo de grabación para almacenar la señal. Tras recopilar la información, los astrónomos utilizan la tecnología diseñada para procesar la información captada por los instrumentos y convierten los datos en imágenes, siendo capaces de “ver lo invisible”.¹⁶

El Radiotelescopio de Arecibo en Puerto Rico (figura 4) fue construido a principios de los años 60 por la Universidad Norteamericana de Cornell y en sus casi 60 años de servicio¹⁷ ha sido uno de los que más relevancia ha tenido en la cultura popular,¹⁸ siendo escenario de producciones cinematográficas e instrumento de soporte de numerosos logros científicos, que incluso llegaron a ser merecedores de un premio Nobel.¹⁹

Las características del observatorio, que tiene una limitada movilidad, hicieron que en un principio estuviese dedicado al estudio de ‘pulsars’ y ‘quasars’ pero también

15 Serge Brunier y Anne-Marie Lagrange. *Great Observatories of the World*. (Nueva York: Firefly, 2005), 50.

16 Andrew J. Butrica. “To see the unseen. A History of Planetary Radar Astronomy” en *The NASA History series* (Washington DC: NASA, 1996).

17 En el año 2020 el Radio Telescopio sufrió un colapso de parte de su estructura que dañó de forma irreparable el disco, causando el fin de sus operaciones. Ver “Arecibo collapses ahead of planned demolition”. <https://edition.cnn.com/2020/12/01/world/arecibo-observatory-collapse-scn-trnd/index.html> (consultada el 14 de noviembre de 2022).

18 Desde el año 2016, en la provincia china de Ghizou, se encuentra operativo un radio telescopio construido a partir del diseño del de Arecibo. El conocido como FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope) cuyo disco, como su nombre indica, alcanza los 500 metros de diámetro.

19 Los astrónomos Russell A. Hulse and Joseph H. Taylor Jr. Fueron galardonados en 1993 con el Premio Nobel de Física por “el descubrimiento de un nuevo tipo de púlsar, que abre nuevas posibilidades para el estudio de la gravedad”. “The Nobel Prize in Physics 1993” <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1993/summary/> (consultada el 14 de noviembre de 2022).

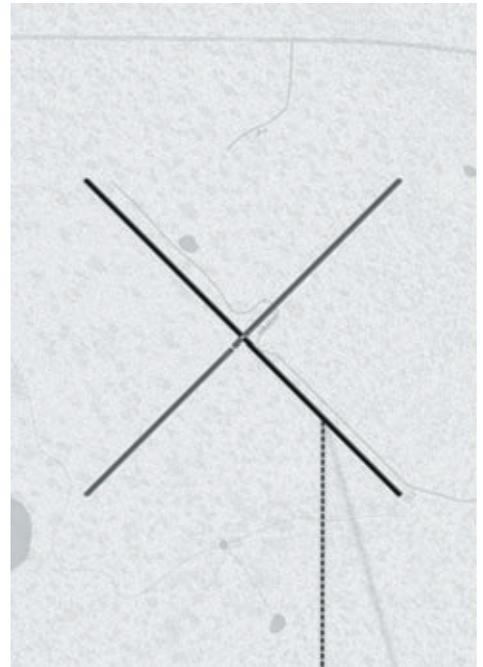


Figura 5: Diagrama de funcionamiento del radiotelescopio. Molonglo Observatory Synthesis Telescope (MOST). Dibujo de los autores.

se reveló como un potente instrumento de transmisión. Fue en 1974 cuando la popularidad del observatorio alcanzó una repercusión mundial al emitirse desde él una señal de radio diseñada para enviar un mensaje al cosmos con información acerca de nuestro planeta y la especie humana. Dicho mensaje, retransmitido con una potencia de 450.000 vatios fue dirigido al clúster Hércules, que contiene varios cientos de miles de estrellas a más de 25.000 años luz de la Tierra, con la esperanza de que alguna de ellas pudiera albergar planetas con formas de vida extraterrestre.²⁰

Su disco colector unidireccional se encontraba suspendido sobre un cráter natural, mediante un sistema de cables de acero que soportan un disco de 300 m de diámetro y casi 50 m de profundidad, compuesto por 40.000 paneles de aluminio perforado.²¹ El disco se encuentra en una posición fija orientado al Zénit, y sobre este se encuentra un sistema de antenas móviles capaz de seguir señales en movimiento. Las antenas están a su vez suspendidas sobre el disco, unidas a una viga de celosía de 100 m de longitud y curvatura paralela a la del disco, que está soportada por cables tensados desde tres pilonas de hormigón. La viga, capaz de rotar 360° en su eje vertical, permite que las antenas puedan posicionarse en el espacio para captar las señales reflejadas sobre el disco.

La elección del lugar fue clave para el éxito del instrumento, cuya relación con el cráter soporte resultó más provechosa de lo esperado. El espacio cóncavo receptor de señales del cosmos tiene un opuesto que genera un espacio convexo entre el disco y el suelo, cuyas condiciones de temperatura y humedad, inducidas por la presencia del elemento artificial, permitieron que en el envés del disco se desarrollase un ecosistema de fauna y flora de gran riqueza.

En el desierto australiano, cerca de Camberra, se encuentra el Molonglo Observatory Synthesis Telescope (MOST) (figura 5). Este instrumento es el resultado de una serie de modificaciones realizadas a partir de un diseño ideado por Bernard Mills en la década de 1950²². La principal característica del diseño original consiste en la disposición de las antenas orientadas al Zénit en una composición en cruz, capaz de cubrir una gran superficie receptora, en lugar de enfocar a un punto concreto. De esta manera se conseguía aumentar la resolución de la información recibida.

20 "El mensaje de Arecibo: la conexión cifrada enviada a 25.000 años luz" https://elpais.com/elpais/2018/11/16/ciencia/1542353197_843395.html (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

21 Brunier y Lagrange. *Great Observatories of the World*. (2005), 60-63.

22 Harry Wendt et al. "Bernard Yarnton Mills 1920-2011", *Historical Records of Australian Science* Vol. 24 N°2 (2013).

**CARLOS GARCÍA FERN,
BEGOÑA DE ABAJO CASTRILLO,
RUBÉN GUTIÉRREZ LLAMAS**

Observar lo invisible.
Radiotelescopios: Infraestructuras
entre el paisaje y el cosmos

Observing the Invisible.
Radio telescopes: Infrastructures
between the landscape and the
cosmos

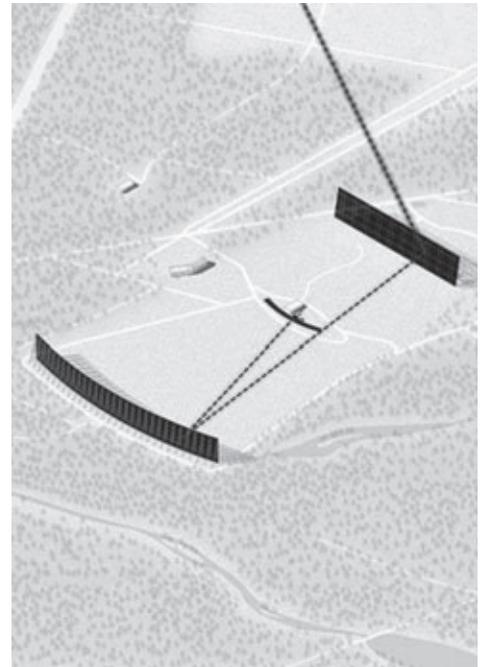


Figura 6: Diagrama de funcionamiento del radiotelescopio. Radio Observatorio de Nançay Dibujo de los autores.

Años después, en 1965, el equipo dirigido por Mills en la Universidad de Sydney, consiguió construir una nueva cruz de mayores dimensiones alcanzando cada una de las aspas, Norte-Sur y Este-Oeste, la distancia de 1 milla (1600 m). La denominada 'Molonglo Cross' estaba compuesta por dos paraboloides cilíndricos formados por módulos de 9 m. Los brazos Este y Oeste estaban compuestos por 88 módulos mientras que el brazo Norte-Sur era continuo y lo conformaban 177 módulos.²³

Esta estructura, que frente a la anterior es de carácter estático, aunque propició durante sus 13 años de actividad grandes avances en el mapeado del cielo en el hemisferio Sur, tenía una serie de limitaciones que fueron corregidas posteriormente en la siguiente evolución del diseño en 1978. Se decidió transformar el ala Este-Oeste en un radiotelescopio con capacidad para rotar los paraboloides en su eje longitudinal, pudiendo de este modo seguir fuentes en tránsito. El eje Norte-Sur fue anulado y con medios reducidos se consiguió aprovechar el diseño previo, que se había hecho teniendo en cuenta una posible evolución hacia longitudes de onda mayores. Gracias a esta previsión en el diseño, la incorporación de motores que permitiesen el giro fue suficiente para mejorar sustancialmente el funcionamiento y las capacidades del instrumento, que dejó de funcionar en forma de cruz para pasar a ser una estructura longitudinal de con directriz de paraboloide cilíndrico de 1 milla de longitud.²⁴

23 Bruce McAdam. "Molonglo Observatory: Building the Cross and the MOST", *Journal of Astronomical History and Heritage*, 11(1) (2008): 63-70.

24 Bruce McAdam. "Molonglo Observatory: Building the Cross and the MOST" (2008)

25 El radio telescopio diseñado por John D. Krauss fue popularmente conocido como "Big Ear" y su actividad estuvo principalmente dedicada al programa Search for Extra-Terrestrial Intelligence (SETI). Tras la finalización de su construcción en 1961 estuvo operativo entre 1963 y 1998, año en que cesó la actividad y fue desmantelado. John D. Krauss, *Big Ear Two: Listening for Other-Worlds*. (Durham, NH: Cygnus-Quasar Books, 1990 [1975])

Desde el aire o en una vista de satélite, la cruz o la línea marcan el lugar, lo caracterizan y le dan identidad. El Norte y el Sur se significan y la luz del espectro visible ilumina y produce sombras desde y sobre el instrumento. El objeto artificial, como forma unitaria se relaciona con la naturaleza a muchos niveles, produciendo paisaje.

El Radio Observatorio de Nançay (figura 6) está basado en el modelo diseñado por el Dr. John D. Krauss, construido previamente en la Universidad de Ohio.²⁵ Este tipo de instrumentos disponen de un espejo plano que refleja las ondas de radio hacia un espejo esférico secundario que las dirige hacia un punto focal móvil situado entre ambos espejos. El espejo principal, que puede variar su inclinación en sentido Norte-Sur, es capaz de captar fuentes provenientes de su meridiano mientras que el punto focal se desplaza en el eje Este-Oeste mediante raíles para facilitar la captación de fuentes en movimiento.

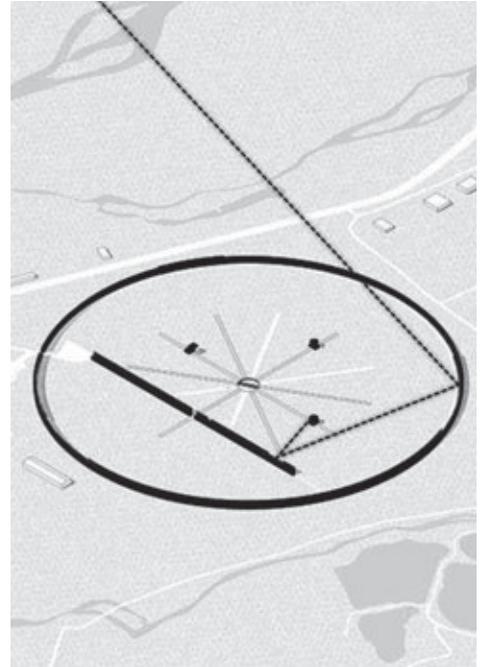


Figura 7: Diagrama de funcionamiento del radiotelescopio. Radiotelescopio Astronómico de la Academia de Ciencias, RATAN-600. Dibujo de los autores.

En el caso de Nançay,²⁶ la instalación se encuentra rodeada por hectáreas de bosque y se ubica en un claro que fue generado para su construcción. Esta zona, 200 km a Sur de París, estaba originalmente libre de interferencias de radio producidas por la actividad humana y resultaba, por tanto, un lugar idóneo para ubicar el instrumento.

El radio observatorio supera notablemente las dimensiones de su predecesor. El reflector primario mide 200 m en el eje Este-Oeste y 40 m de ancho mientras que el esférico es una porción de una esfera de 560 m de radio limitada a 300 m de ancho con una altura de 35 m. Ambos espejos se encuentran a una distancia de 460 m, siendo esta próxima a la posición del centro de la esfera, y el punto focal se encuentra al 60% de la distancia total (280 m desde el espejo esférico).

Para la construcción de los reflectores se utilizó una malla metálica de retícula cuadrada de 12,5 x 12,5 mm unida a tensores de acero fijados a las estructuras verticales mediante uniones ajustables que permiten la calibración del instrumento. Un aspecto importante a destacar es la modularidad del sistema. Inicialmente, y por motivos presupuestarios, se construyó únicamente un 20% de la estructura total. La primera fase, terminada en 1961, contaba con dos módulos del espejo plano regulable de 40 x 40 m y de un único módulo del esférico de 60 x 35 m. Tras los éxitos conseguidos por esta fracción del diseño completo, no resultó difícil conseguir financiación para finalizarlo e inaugurar la instalación final en 1965.

Desde el punto de vista paisajístico, la formación del claro en el bosque supone una operación extractiva que libera el espacio necesario para la recepción de las ondas de radio. En el lugar se produce una tensión entre los dos frentes opuestos: el borde recto al Norte y el curvo al Sur. Sin embargo, al Este y Oeste, el espacio es limitado por los márgenes difusos y permeables del bosque, que liberan la tensión generada por los espejos contrapuestos y herméticos en los otros dos frentes generando una serie de relaciones dialécticas entre lo natural y lo artificial, el lleno y el vacío, lo modular y lo azaroso.

26 James Lequeux, Jean-Louis Steinberg y Wayne Orchiston, "Highlighting the History of French Radio Astronomy. 5: The Nançay Large Radio Telescope." *Journal of Astronomical History and Heritage*, 13(1). (2010), 29-42.

El Radiotelescopio Astronómico de la Academia de Ciencias, RATAN-600, (figura 7) está situado en la región del Cáucaso Norte, en plena estepa rusa, en un terreno muy plano y estable geológicamente. Está compuesto por 895 elementos girato-

**CARLOS GARCÍA FERN,
BEGOÑA DE ABAJO CASTRILLO,
RUBÉN GUTIÉRREZ LLAMAS**

Observar lo invisible.
Radiotelescopios: Infraestructuras
entre el paisaje y el cosmos

Observing the Invisible.
Radio telescopes: Infrastructures
between the landscape and the
cosmos

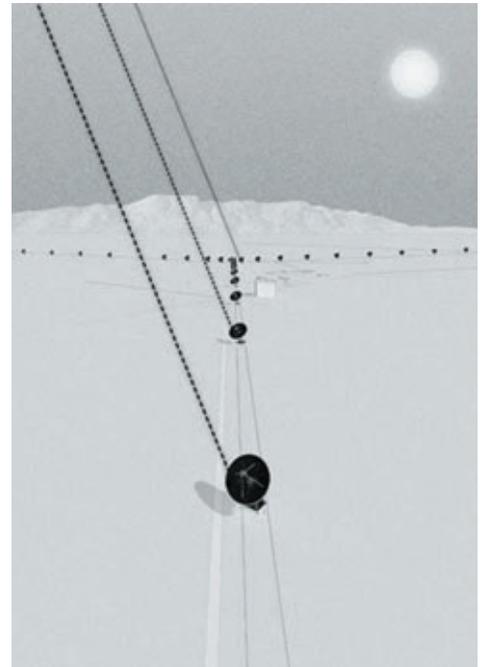


Figura 8: Diagrama de funcionamiento del radiotelescopio. Carl G. Jansky Very Large Array Telescope. Dibujo de los autores.

rios organizados en la superficie exterior de un cilindro de casi 600 m de diámetro. Cada uno de los elementos de antena, que tiene unas dimensiones de 2 x 7,4 m y una distorsión cilíndrica de eje vertical de 2mm, está montado sobre un mecanismo con varios grados de libertad. Es un tipo de radiotelescopio reflector desarrollado por la Unión Soviética en la década de los años 60. El instrumento, basado en los principios de esta clase de antenas de radio que utilizan superficies reflectoras, cuenta con un diseño no convencional que sitúa el reflector primario en el perímetro del recinto circular.²⁷

La principal característica de este radiotelescopio es su versatilidad ya que puede concentrar las ondas de radio de hasta cuatro formas distintas usando los reflectores primarios de su perímetro, el reflector plano de 300 m de longitud situado frente al arco Sur y los reflectores secundarios capaces de desplazarse por un sistema de raíles y con un diseño capaz de captar las ondas provenientes de cualquier parte del perímetro²⁸. Esta versatilidad permite que la infraestructura tenga un mayor rango de funciones y pueda acometer proyectos de diversa índole. Esta es una cualidad poco común entre los radiotelescopios, que tienden hacia una mayor especialización en cuanto a capacidad de percepción o tipos de señales capaces de recibir.

El recinto circular ha estado históricamente presente en las arquitecturas del observatorio, desde los proto-observatorios hasta los tipos arquitectónicos desarrollados durante la ilustración. En este caso la geometría del círculo es el resultado del diseño basado en la tecnología y en los acuerdos que deben producirse entre las cualidades geométricas de esta forma y las propiedades físicas de las ondas recibidas. Desde el exterior, las antenas definen un muro infranqueable cuya perfección geométrica dota de autonomía formal a todo el instrumento en el contacto con el terreno. En su interior, la centralidad del espacio de planta circular se ve cuestionada por la disposición de los elementos secundarios y su organización está dictada por las leyes de la física y el funcionamiento del propio observatorio.

27 Special Astrophysical Observatory. Russian Academy of Sciences. "Experimento COLD: The first Deep Sky Survey with the RATAN-600 Radio Telescope". <https://www.sao.ru/hq/CG/cold/cold.htm> (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

28 Ver Yu. N. Pariiskii, O. N. Shivrís, D. V. Korol'kov, et al., "The RATAN-600 Radio Telescope". *Radiofizika*, 19, 1581-93 (1976).

En una llanura del desierto de Nuevo Méjico, en Estados Unidos, se encuentra el llamado Carl G. Jansky Very Large Array Telescope (VLA) (figura 8). Esta instalación, inaugurada en 1980 y nombrada en honor del pionero descubridor de las trasmisio-

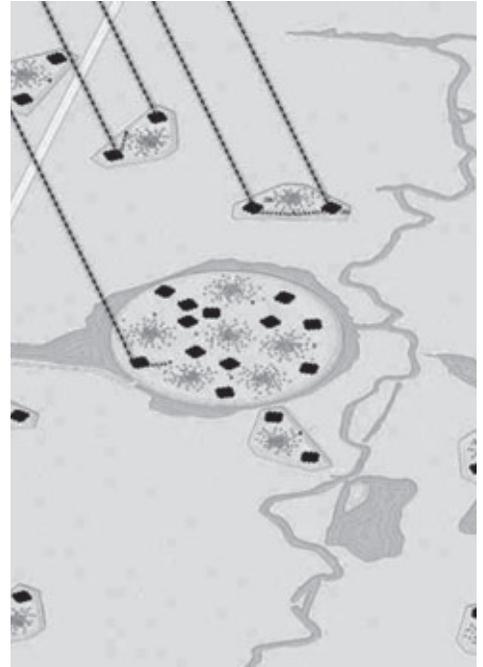


Figura 9: Diagrama de funcionamiento del radiotelescopio. Low-Frequency Array (LOFAR). Dibujo de los autores.

nes astronómicas, cuenta con una dotación de 27 antenas de radio independientes con un diámetro de 25 m cada una y se encuentran alineadas en tres brazos en configuración axial de 21 km cada uno, mediante railes que parten del punto de confluencia.²⁹ Los grupos de 9 antenas dispuestas en cada brazo pueden desplazarse por las vías férreas y situarse en diferentes posiciones para alcanzar distintas áreas receptoras, gracias a la técnica de la interferometría, una técnica que fue adoptada por los astrónomos como una solución a la imposibilidad de construir estructuras de grandes dimensiones. Esta técnica se basa en el principio de que “cuando dos telescopios observan de forma concurrente y están físicamente separados por una distancia definida, su resolución angular efectiva es equivalente a la de un disco del mismo diámetro que la distancia de la base que los une.”³⁰

Las aperturas se sitúan en 1, 3,6 y 36 km respectivamente, aportando mayores niveles de resolución cuanto mayor es la distancia de apertura. Cuando se encuentran operativas y siguiendo una señal dinámica, el movimiento de las antenas se produce al unísono, gracias al sistema mecánico que opera los ejes verticales de cada antena. Esta condición permite entender el instrumento como un sistema compuesto por partes que necesita de cada una de ellas para su correcto funcionamiento. La disposición en tres ejes permite, a su vez, expandir el complejo hasta donde las condiciones del terreno en que se ubica lo permitan, ampliando de esta forma la superficie de captación y el radio de apertura.

El Low-Frequency Array (LOFAR) (figura 9) es el más moderno de los radiotelescopios analizados y pertenece a la nueva generación de radio interferómetros, que lleva más allá la técnica de la interferometría³¹ extendiendo el área operativa a una región mucho más grande con una red de más de 20.000 antenas, que se extiende por a varios países europeos y alcanza una superficie colectora de casi 300.000 m². El principal grupo de antenas se encuentra en los Países Bajos, cerca de Groninga, estando presente en otros países como Alemania, Francia, Reino Unido o Suecia.³² Uno de los principales avances de este tipo de radio observatorios es la capacidad de crecimiento de la red y por tanto el aumento de la superficie y del radio virtual del instrumento. Es significativo que el tipo de antenas utilizadas son muy sencillas y económicas, tanto las de pequeñas como grandes frecuencias, lo que facilita el desarrollo de proyectos que se suman a esta red internacional. La efectividad y

29 National Radio Astronomy Observatory-VLA. <https://science.nrao.edu/facilities/vla> (consultada el 14 de noviembre de 2022).

30 Brunier y Lagrange. *Great Observatories of the World*. (2005): 50.

31 Brunier y Lagrange. *Great Observatories of the World*. (2005), 50.

32 M.P. van Haarlem et al. “LOFAR: The Low-Frequency ARray”. *Astronomy & Astrophysics*. Volume 556-A2. (2013).



	01. Arecibo	02. MOST	03. Nançay	04. RATAN-600	05. VLA	06. LOFAR
VARIABLES TÉCNICAS						
Área colectora (m ²)	74.023	18.000	4.912	3.500	13.253,58	300.000
Longitud de onda	0,03 - 6 m	35,6 m	85,55 m	1 - 50 cm	0,6 - 410 cm	1,2 - 30 m
Tipo de detector	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD
Tipo de montura	Azimutal	Azimutal	Equatorial	Equatorial	Azimutal	-
Tipo de estructura	Tensores	Paraboloides cilíndricos	Retícula	Radial	Antenas parabólicas	Retícula
VARIABLES CLIMÁTICAS						
Altitud (m)	498	736	131	967	2.128	6
Humedad relativa (%)	75	66	80	63	11	83
Contaminación lumínica (mag/arcsec ²)	21,11	21,78	21,66	21,57	21,99	21,33
Superficie en contacto con el terreno (m ²)	160	1.590	4.941	20.241	6.960	1.000.000

Figura 10: Tabla comparativa de las principales propiedades de los casos analizados. Elaborada por los autores.

precisión de este instrumento no radica en cada antena individual sino en el funcionamiento del conjunto.

Con esta tecnología como base se está desarrollando conjuntamente entre Sudáfrica y Australia el Square Kilometer Array (SKA)³³ que conseguirá una superficie colectora de un millón de metros cuadrados con antenas de baja frecuencia, reafirmando la tendencia ya testada por el LOFAR.

Stan Allen en su texto de 1985 *From Object to Field: Field conditions in Architecture* define un campo como “cualquier matriz formal o espacial capaz de unificar diversos elementos respetando al mismo tiempo la identidad de cada uno de ellos.”³⁴ Podríamos decir que la evolución de la ciencia y la tecnología en el campo de la radioastronomía, junto con el desarrollo de internet, tiende a abandonar la idea del radio observatorio como forma compacta en favor del establecimiento de redes interconectadas compuestas por múltiples elementos que pueden funcionar de manera autónoma o formando parte de un conjunto.

Cada observatorio astronómico como institución está ligado a toda la red de institutos astronómicos del planeta, de tal modo que coordinan sus objetivos e informan de los distintos resultados. Así, como colectivo, se puede profundizar y avanzar aún más en el saber científico. De igual manera, el conocimiento se hace más accesible pues existe mayor circulación a través de la red y los usuarios pueden acceder a ella desde cualquier parte del mundo.

La aparición de internet y la tecnología digital han hecho que la evolución del observatorio pase de estar ligada al concepto de ‘panóptico’ introducido por Jeremy Bentham a finales del s. XVIII³⁵ a la de ‘oligóptico’ introducida por Bruno Latour a principios de este siglo.³⁶

Como ocurre con la evolución del radiotelescopio, el panóptico es en esencia el diagrama del espacio en el que la totalidad puede ser apreciada desde un único punto mientras que la idea de oligóptico se corresponde con un sistema más vinculado a la sociedad contemporánea. En contraste con la idea de un punto desde donde ejercer el control sobre el todo (dentro del rango perceptible), en la actualidad la percepción fragmentada se produce a través de redes interconectadas capaces de recomponer la información y darle unidad.

Conclusiones

El cambio de paradigma en los modos de observación del cosmos que supuso la aparición de la radioastronomía conllevó la redefinición de la idea de observatorio desde el punto de vista arquitectónico. El instrumento tecnológico destinado a la

33 SKA Telescope. The Square Kilometer Array. <https://www.skatelescope.org/the-ska-project/> (consultada el 14 de noviembre de 2022).

34 Stan Allen, “From Object to Field: Field conditions in Architecture”, en *Practice: Architecture, Technique and Representation*. (Londres: Routledge, 1985), 216-243.

35 La palabra panóptico es un neologismo introducido por Jeremy Bentham y formado por las siguientes raíces griegas: pan-; opsis y el sufijo -tikos, que uniéndolas significa “relativo a verlo todo”. Jeremy Bentham. *Panóptico*. Madrid: Ediciones la Piqueta, 1979.

36 Bruno Latour. *La esperanza de pandora, ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*. (Barcelona: Gedisa Editorial, 2001).

observación dejó de ser un elemento contenido en el espacio para pasar a crear espacio –o paisaje- por sí mismo al ser introducido en un contexto natural. Se produjo así la renuncia a su condición de espacio contenedor de instrumentos y personas en favor de otra de carácter más infraestructural, únicamente condicionada por las leyes de la física en relación con la tecnología utilizada. La forma resulta por tanto del funcionamiento y los requerimientos del objeto técnico, cuya condición artificial hace que estas construcciones se caractericen por la regularidad y la repetición de sus partes. Estas cualidades, más allá de una característica morfológica, tienen una razón técnica, fruto de la necesidad de precisión en la construcción para cumplir con sus objetivos funcionales.

En paralelo también se concluye que los radiotelescopios, como elementos artificiales, comparten una serie de estrategias espaciales con las intervenciones artísticas del *Land Art*, incorporando respuestas a diferentes escalas, desde la humana y objetual del aparato técnico a la territorial del paisaje en el cual se inserta. La observación astronómica permite generar consciencia de la posición del ser humano en el planeta Tierra y de este en su relación con el cosmos. Se trata así de un mecanismo para reflexionar acerca de la condición humana frente al entorno tanto local como universal. Por lo tanto, desde la escala del lugar, la implantación de los radiotelescopios en entornos naturales también obedece en la mayoría de los casos a razones técnicas: La recepción de ondas de radio requiere de espacios abiertos y distantes de zonas urbanas o fuentes emisoras de interferencias y el gran tamaño de los instrumentos requerido para la captación de determinadas longitudes de onda hace precisar de grandes extensiones de terreno. Estas condiciones de partida determinan que los distintos diseños no estén condicionados por el lugar, sino que sea el lugar el que debe ofrecer las condiciones requeridas de partida para la instalación del instrumento. A la vez, la inserción del objeto técnico en el contexto natural lo modifica, transformándolo en paisaje, tanto material como perceptivamente.

Por último, los avances en la ciencia y la tecnología asociados a la radioastronomía han hecho que este tipo de observatorio evolucione desde los diseños que producen formas unitarias en relación directa con sus contextos físicos a organizaciones en redes interconectadas. Los instrumentos pasan a ser sistemas fragmentados, en los que el objeto se desvincula del contexto y en los que la noción de lugar se amplía a territorios tan extensos que la percepción completa a escala humana resulta imposible, siendo únicamente visibles a través de las miradas artificiales que recibimos de nosotros mismos desde el espacio exterior.

Autoría

Todos los autores han participado en la redacción y revisión del trabajo. Carlos García Fern fue el encargado de la conceptualización del artículo. Begoña de Abajo, junto con Carlos García, se ocupó de la supervisión del trabajo y organización metodológica del análisis de los casos. Rubén Gutiérrez Llamas fue el encargado de la realización de las ilustraciones analíticas de los casos de estudio, y la elaboración de tablas de visualización de datos.

Bibliografía

Ábalos, Iñaki. *Atlas Pintoresco: Vol. 1: El Observatorio*. Barcelona: Gustavo Gili, 2005.

Ábalos, Iñaki. "¿Qué es un Observatorio?". En *Cuatro Observatorios de la Energía*. La Palma: Colegio Oficial de Arquitectos de Canarias, 2007.

Ábalos, Iñaki y Herreros, Juan. "Una nueva naturalidad. 7 Micromanifiestos". 2G nº 22 (2002).

**CARLOS GARCÍA FERN,
BEGOÑA DE ABAJO CASTRILLO,
RUBÉN GUTIÉRREZ LLAMAS**

Observar lo invisible.
Radiotelescopios: Infraestructuras
entre el paisaje y el cosmos

Observing the Invisible.
Radio telescopes: Infrastructures
between the landscape and the
cosmos

Allen, Stan. "From Object to Field: Field conditions in Architecture". En *Practice: Architecture, Technique and Representation*. Londres: Routledge, 1985.

Bentham, Jeremy. *Panóptico*. Madrid: La Piqueta, 1979.

Brunier, Serge y Lagrange, Anne-Marie. *Great Observatories of the World*. Nueva York: Firefly Books, 2005.

Butrica, Andrew J. *To see the Unseen. A History of Planetary Radar Astronomy*. Washington DC: NASA, 1996.

Castro-Tirado, M.A. *El observatorio astronómico. Un diálogo entre ciencia y arquitectura*. Tesis Doctoral, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Málaga, 2019.

Chavarría, Javier. *Artistas de lo inmaterial*. Guipuzcoa: Editorial Nerea, 2002.

Krauss, John D. *Big Ear Two: Listening for Other-Worlds*. Durham, NH: Cygnus-Quasar Books, 1990.

McAdam, Bruce. "Molonglo Observatory: Building the Cross and the MOST". *Journal of Astronomical History and Heritage*, 11(1) (2008).

Morton-Gledhill. "The architecture of astronomy in the British Isles: a general study". *Vistas in Astronomy*, 32, 1988.

Pariinkii, Yu et al. "The RATAN-600 Radio Telescope". *Radiofizika*, 19, 1581-93, 1976.

Lalaich, Michael. *Land Art*. Colonia: Taschen, 2015.

Latour, Bruno. *La esperanza de pandora, ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*. Barcelona: Gedisa Editorial, 2001.

Lequeux, James, Steinberg, J.L, y Orchiston, Wayne. "Highlighting the History of French Radio Astronomy: The Nançay Large Radio Telescope". En *Journal of Astronomical History and Heritage*, 13 (2010).

Scherrer, Deborah. *Ancient Observatories-Timeless Knowledge*. San Francisco: Stanford Solar Center, 2018.

Tuñón, Emilio. "El cuadrado y la Cruz. Cuatro comentarios en torno a la repetición" *CIRCO M.R.T. Coop* 1993.10 (1993).

Van Haarlem, M.P. et al. "LOFAR: The Low-Frequency ARray". *Astronomy & Astrophysics*. Volume 556-A2 (2013).

Wendt, Harry et al. "Bernard Yarrnton Mills 1920-2011". *Historical Records of Australian Science* Vol.24 N°2 (2013).

Xu, Fengxian. "Dengfeng Observatory". En *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy*, Paris: ICOMOS-IAU, 2010.

Recursos electrónicos

National Radio Astronomy Laboratory Archives. <https://www.nrao.edu/archives/jansky-finding-aid> (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

National Radio Astronomy Observatory-VLA. <https://science.nrao.edu/facilities/vla> (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

SKA Telescope. The Square Kilometer Array. <https://www.skatelescope.org/the-ska-project/> (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

The Nobel Prize in Physics 1993 <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1993/summary/> (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

Arecibo collapses ahead of planned demolition. <https://edition.cnn.com/2020/12/01/world/arecibo-observatory-collapse-scn-trnd/index.html> (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

Special Astrophysical Observatory. Russian Academy of Sciences. Experimento COLD: The first Deep Sky Survey with the RATAN-600 Radio Telescope. <https://www.sao.ru/hq/CG/cold/cold.htm> (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

K. Kellerman. Grote Reber (1911-2002). Publications of the Astronomical Society of the Pacific. Vol. 116, No.822 (2004): 703-711 https://www.jstor.org/stable/10.1086/423436?seq=1#metadata-info_tab_contents (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

"El mensaje de Arecibo: la conexión cifrada enviada a 25.000 años luz" https://elpais.com/elpais/2018/11/16/ciencia/1542353197_843395.html (consultada el 14 de Noviembre de 2022).

Procedencia de las imágenes

Figura 1: Records of the NRAO, "Jansky Antenna Replica, 1973", (NRAO/AUI/NSF).

Figura 2: National Radio Observatory Archives, "Grote Reber's First Radio Telescope" (NRAO/AUI/NSF).

Figura 3: Capturas de Google Earth y dibujos de los autores. Composición elaborada por los autores.

Figuras 4-9: Dibujos de los autores.

Figura 10: Elaboración propia.