Arecibo Observatory

National Astronomy and Ionosphere Center

Observatorio de Arecibo

Centro Nacional de Astronomía y Estudios Ionosféricos

CORNELL UNIVERSITY

nsf

Contents

Indice

Welcome to Arecibo Observatory, home of the world's largest and most powerful telescope for radar and radio astronomy.

Arecibo Observatory, set amid the limestone hills of northwestern Puerto Rico, is a monument to human curiosity, to a quest for understanding that began before the dawn of history. With this instrument, scientists can examine phenomena that occur as close as 3 kilometers (about 2 miles) above us in the Earth's atmosphere—or probe the hearts of quasars, objects 10 billion light-years away, at the very edge of the discernible universe.

Since its completion in 1963, the Arecibo telescope has been used by thousands of scientists—some of whom have made Nobel Prize–winning discoveries. The great dish has also captured the imagination of visitors of all ages and interests, including Hollywood producers (you may have spotted it in the James Bond film *GoldenEye* and in the movie *Contact*). Let your own imagination soar free as you contemplate the mysteries and vastness of the universe that the Arecibo telescope explores.

Eye in the sky: View of the Arecibo telescope's Gregorian reflector system.

Welcome!

¡Bienvenidos!

Ojo en el cielo: Vista del sistema reflector Gregoriano del telescopio de Arecibo.

Bienvenidos al Observatorio de Arecibo, sede del telescopio más grande y sensitivo del mundo, usado en estudios de astronomía de radar y de radioastronomía.

El Observatorio de Arecibo se encuentra en medio de cerros de piedra caliza al noroeste de Puerto Rico. Es, sin duda, un monumento a la curiosidad humana que se dedicó a la búsqueda del entendimiento antes de comenzar nuestra historia. Con este instrumento, muchos científicos han estudiado fenómenos que ocurren apenas a tres kilómetros (aproximadamente dos millas) de la Tierra, en su atmósfera—o han explorado el interior de los cuásares, cuerpos que se encuentran hasta 10 billones de años luz de nuestro planeta, al borde del universo que percibimos.

El telescopio de Arecibo se terminó de construir en 1963; desde entonces, miles de científicos lo han utilizado para sus estudios—y dos de ellos han obtenido el Premio Nóbel por sus descubrimientos. Este gran reflector ha cautivado también la imaginación de personas de diversas edades e intereses que lo han visitado; como por ejemplo, productores de Hollywood (pueden haber visto el Observatorio en películas como *Golden Eye,* con James Bond, y *Contact*). Ahora, deje a su imaginación en plena libertad mientras contempla los misterios y la inmensidad del universo que explora el telescopio de Arecibo.

What's going on out there?

How did the universe begin? How vast is it? How did our Earth and our solar system form and evolve? And, closer to home, what is going on in our own atmosphere, and what does it tell us about the future of the Earth's biosphere?

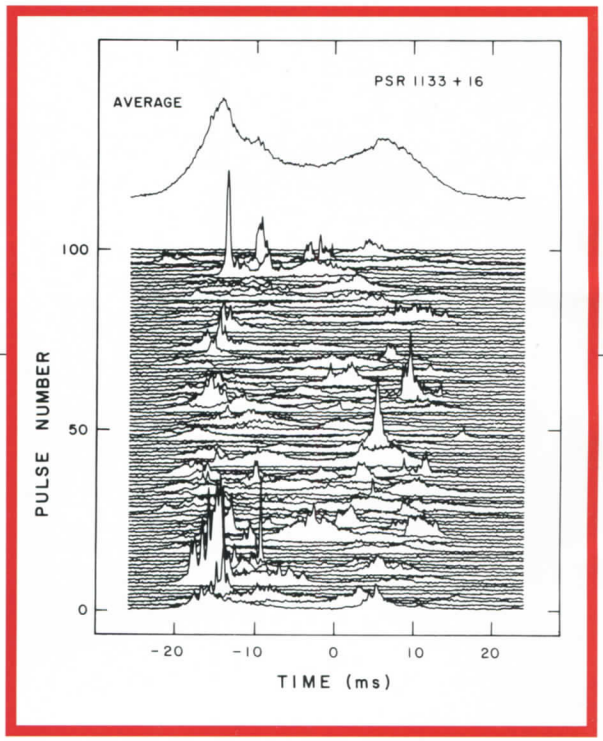
About 14 billion years have elapsed since the Big Bang started the expansion of the universe. The Milky Way, our galaxy (the family of stars in which we live), is 100,000 light years across and contains about 300 billion stars. Billions of other galaxies populate the universe, in which stars and planets are forming, and evolving, and dying.

Our own atmosphere changes constantly, responding to energy from our star, the Sun, which ionizes our upper atmosphere. About 36,000 kg (40 tons) of meteoric material arrives each day from outer space, mostly in the form of microscopic dust particles. At Arecibo Observatory, investigators use radar to study the Earth's atmosphere and objects in the solar system. The telescope detects radio waves from stars and interstellar gas clouds in our own Milky Way and in other galaxies. Scientists, engineers, technicians, and other staff members work together at Arecibo Observatory to advance our understanding of the Earth's atmosphere, our solar system, and the universe.

A Brief History of Radio Astronomy

In less than a human lifetime, radio has grown from a scientist's field of study to a powerful means of communication. Although radio waves were only discovered in 1888, by 1901 Guglielmo Marconi had transmitted the first transoceanic radio message from Europe to North America. By the 1920s, the "wireless" (now called the "radio") had begun to bring newscasts into American homes. Soon afterwards, scientists came to recognize that radio waves are a powerful means of learning about the Earth's surroundings.

J. CORDES, CORNELL UNIVERSITY



Pulsos de un púlsar: Ésta es la imagen de 100 pulsos consecutivos de un púlsar medidos con el telescopio de Arecibo. Cada marca (punto más alto) indica la intensidad de la señal recibida en función del tiempo, medido en milisegundos. De un pulso al siguiente, se nota mucha variación; sin embargo, un gran nivel de estabilidad es manifiesto cuando se promedian cientos de pulsos. Como vemos arriba, el pulso promedio es muy estable, lo que le da al púlsar la precisión de un reloj sumamente sofisticado.

¿Qué pasa en el espacio?

¿Cómo se originó el universo? ¿Cuánto mide? ¿Cómo se formaron y evolucionaron nuestro planeta y nuestro sistema solar? Ya más cerca de aquí: ¿Qué está pasando en nuestra atmósfera? ¿Qué relevancia tiene esta información respecto al futuro de la biósfera de la Tierra?

Hace aproximadamente 14 billones de años la gran explosión (o *Big Bang*) dio comienzo a la expansión del universo. Nuestra galaxia, la Vía Láctea (el conglomerado de estrellas en que vivimos), mide 100,000 años luz de diámetro y contiene cerca de 300 billones de estrellas. Hay billones más de galaxias en el universo, en las cuales se forman, evolucionan y mueren continuamente estrellas y planetas.

Nuestra propia atmósfera está cambiando constantemente como respuesta a la energía de nuestra estrella, el Sol, que ioniza la atmósfera superior de la Tierra. Diariamente, llegan del espacio a la superficie de la Tierra cerca de 36,000 kg (40 toneladas) de materia meteórica, mayormente en forma de partículas microscópicas de polvo. Desde el Observatorio de Arecibo, los científicos usan el sistema de radar para estudiar la atmósfera de la Tierra y la diversidad de cuerpos que abundan en el sistema solar. El telescopio detecta las ondas de radio de las estrellas y de las nubes de gases interestelares de la Vía Láctea y de otras galaxias. Los científicos, ingenieros, técnicos y otros miembros de personal trabajan en conjunto en el Observatorio de Arecibo para perfeccionar nuestro conocimiento de la atmósfera de la Tierra, nuestro sistema solar y el universo.

In 1931, Karl Jansky first detected radio waves from space, coming from the center of our galaxy, the Milky Way. Before his discovery, we could observe the universe only with the unaided eye or with optical telescopes. But even the largest and finest of these had visual limits, and required a clear light path. Jansky's discovery opened a new realm of exploration—the use of radio waves to study the universe.

Other scientists were slow to appreciate Jansky's work. During the 1930s, an engineer named Grote Reber built the first parabolic antenna in his backyard—and used it to map the radio emission from our galaxy. The technology developed during World War II quickly led to enormous progress in radio astronomy. Sensitivity of radio detector systems was increased with better electronics and bigger telescopes. Higher angular resolution—meaning sharper vision—was achieved through novel techniques developed by radio astronomers. They also developed new ways to improve their ability to map the details of radio sources they observed.

With their greatly increased capabilities, scientists discovered new sources of radio emission—ranging from the planet Jupiter to "radio galaxies," "quasars," and pulsating radio sources, which turned out to be rapidly rotating, collapsed stars. Very intense sources of radio emission in the outer parts of stars and in gas clouds in interstellar space were found to be natural "masers"—operating on the same principles as the laser, newly developed by scientists in the laboratory.

In 1965, a radio signal dating from the beginning of the universe—the Big Bang—was discovered by Arno Penzias and Robert Wilson, who, like Jansky decades earlier, were working at the Bell Telephone Laboratories. They were awarded the Nobel Prize for physics in 1978.

All this research has opened an entirely new window onto the universe.

Pulsar pulses: This figure shows one hundred successive pulses from a radio pulsar measured with the Arecibo telescope. Each trace displays the intensity of the signal received over milliseconds of time. Individual pulses vary a lot from one to the next, but are actually very stable when averaged over tens or hundreds of pulses. The average pulse shape, shown at the top, is very stable with time, which is what allows pulsars to behave as highly accurate clocks.

RADIO ASTRONOMY VS. RADAR ASTRONOMY

Radio astronomy deals with observation of radio-frequency signals *emitted by* objects in space.

Radar, which stands for ***r**adio **d**etection and **r**anging,* measures *reflected* radio signals that were transmitted by an antenna and bounced off objects. Developed just prior to World War II, radar was used to detect the size and motion of aircraft, boats, and submarines. **Radar astronomy** uses radar to detect the size and motion of planets, comets, and asteroids. It is an active effort—a transmitter produces power, then astronomers measure the small fraction reflected back to the telescope. Similarly, in radar studies of the atmosphere, experimenters use radar to measure the composition, temperature, and wind speeds in the Earth's atmosphere.

All of these are key elements of Arecibo Observatory's efforts.

Radio & Radar

Historia breve de la radioastronomia

En menos de lo que dura una vida humana, la radio dejó de ser solamente un campo de estudio científico para convertirse en un poderoso medio de comunicación. A pesar de que las ondas de radio habían sido apenas descubiertas en 1888, ya para 1901 Guglielmo Marconi había transmitido el primer mensaje radial trasoceánico desde Europa a la América del Norte. Para la década de los años veinte, el "inalámbrico" (llamado luego "radio") había comenzado a llevar noticias a los hogares americanos. Poco después, los científicos reconocieron que las ondas de radio eran un poderoso medio para aprender más sobre lo que rodea a la Tierra.

En 1931 Karl Jansky fue la primera persona que detectó ondas de radio cósmicas, reconociendo su proveniencia del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Antes de su descubrimiento, se podía observar el universo con la ayuda limitada de nuestros ojos o de los telescopios ópticos. Con el descubrimiento de Jansky se inició un nuevo campo de exploración—el uso de las ondas de radio para estudiar el universo.

Muchos científicos tardaron en apreciar la importancia del trabajo de Jansky. En la década de los 30, un ingeniero de nombre Grote Reber construyó la primera antena parabólica en el patio de su casa—la usó para estudiar las emisiones de radio de nuestra galaxia. La tecnología que se desarrolló durante la Segunda Guerra Mundial favoreció el rápido progreso que experimentó la radioastronomía. Las mejoras en el campo de la electrónica y la creación de telescopios de mayor tamaño contribuyeron a aumentar el nivel de sofisticación de los sistemas de radiodetectores.

Con dichas mejorías, los científicos pudieron descubrir nuevas fuentes de emisiones de radio—desde el planeta Júpiter hasta las llamadas "radiogalaxias," los cuásares, y unas fuentes de radio pulsantes que, se descubrió más tarde, eran estrellas de neutrones en ràpida rotación. Se descubrió, además, que las muy intensas fuentes de emisión de las partes externas de las estrellas y nubes de gases interestelares eran máseres naturales—los cuales operan bajo los mismos principios que el láser, recién desarrollado por científicos en sus laboratorios.

En 1965 Arno Penzias y Robert Wilson, quienes, al igual que Jansky años antes, trabajaban en los laboratorios de la Compañía Telefónica Bell, descubrieron una señal de radio que fue generada poco después que se originó el universo con el Big Bang. Por esto se les otorgó el premio Nobel de física del año 1978.

Estos descubrimientos abrieron una nueva ventana para la investigación del universo.

Radio y Radar

LA ASTRONOMÍA DE RADAR Y RADIOASTRONOMÍA

La radioastronomía se ocupa de la observación de señales de radiofrecuencia *emitidas por cuerpos espaciales.*

Radar es la forma abreviada de ***r**adio **d**etection and **r**anging* (detección y telemetría por radio). En la operación de radar, las radio ondas generadas por un transmisor son emitidas por la antena hacia el objeto que desea estudiarse; dichas ondas son reflejadas por el objeto y son luego detectadas por la antena que las emitió. El radar se desarrolló poco antes de comenzar la Segunda Guerra Mundial y se usó para detectar el tamaño, movimiento, y distancia de aviones, barcos y submarinos. La **astronomía de radar** lo utiliza para detectar el tamaño, movimiento, y distancia de los planetas, cometas y asteroides. Las observaciones de radar son de tipo activo—un transmisor produce la energía; luego los astrónomos miden la minúscula fracción reflejada que regresa al telescopio. De manera similar, cuando realizan estudios atmosféricos con este sistema, los expertos usan el radar para medir la composición, la temperatura y los cambios de velocidad del viento en la atmósfera de la Tierra.

Estos son algunos elementos importantes del trabajo que se lleva a cabo en el Observatorio de Arecibo.

This photograph was taken from beneath the surface of the main dish, which reflects radio waves coming from space and directs them to the Gregorian system, where they are further focused. You can see the ball-like Gregorian suspended above the dish. The dish also reflects energy from the Gregorian's transmitter, radiating it to targets in the solar system.

Fotografía tomado por debajo del reflector principal, que se usa para reflejar las ondas de radio que llegan del espacio hacia el sistema Gregoriano, donde son enfocadas. Puede verse el Gregoriano de forma redonda suspendido en la estructura aérea. El reflector primario también refleja la energía que proviene del transmisor del Gregoriano, que luego es enviada a objetos específicos dentro del sistema solar.

RADIO ASTRONOMY'S FIRST PIONEER

The first scientist to detect interstellar radio waves was attempting to determine the origin of the static that was plaguing ship-to-shore and trans-Atlantic radio transmissions.

In 1931, to locate the source of this static, Karl Guthe Jansky, a young physicist at Bell Labs, devised a rotating aerial, which he dubbed "the merry-go-round." Some static clearly arose from electric disturbances produced during thunderstorms. Jansky initially attributed the remaining interference to engines and other human-made sources, but eventually realized that some of the radio waves were emanating from the center of the Milky Way. Electrically charged particles in interstellar space were generating radio waves that produced a kind of hiss-like static in receiving equipment on Earth.

Jansky had discovered what Bell Labs needed to know—and much more. He suggested building a 31-meter (100-foot), dish-shaped antenna to conduct further investigations into cosmic radio waves. With the country in the midst of the Great Depression, however, this project was dismissed as an unnecessary expense.

***Below,* Aerial view of the Arecibo telescope from 5,500 meters (18,000 feet). The 305-meter (1,000-foot) main reflector dish is set in a bowl-shaped sinkhole in the rugged terrain of northwestern Puerto Rico.**

***Bottom,* Karl Jansky, radio astronomy's first pioneer**

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

PIONERO DE LA RADIOASTRONOMÍA

El primer científico que detectó ondas de radio de origen cósmico estaba tratando de determinar el origen de la estática que plagaba las transmisiones radiales entre barcos y puertos así como las trasatlánticas.

Para localizar la fuente de esa estática, Karl Guthe Jansky, joven físico que trabajaba para los laboratorios Bell, inventó una antena giratoria a la que apodó "caballitos." Era claro para él que parte de la estática provenía de las perturbaciones eléctricas que se producen durante una tormenta. Al principio, pensó que otras posibles fuentes de interferencia eran los motores y otras invenciones humanas, pero más tarde se dio cuenta que algunas ondas de radio se originaban en el centro de la Vía Láctea. Las partículas cargadas eléctricamente del espacio interestelar generaban ondas de radio que producían un tipo de estática sonora en los equipos receptores de la Tierra.

Jansky había descubierto lo que se necesitaba saber en los laboratorios Bell—y mucho más. Sugirió que se construyera una antena en forma de platillo de 31 metros (100 pies) para llevar a cabo más investigaciones relacionadas con las ondas de radio cósmicas. Sin embargo, debido a la Gran Depresión de la década de los 30, tal proyecto fue considerado un gasto innecesario.

Así se ve el telescopio de Arecibo desde 5,500 metros (18,000 pies) de altura. El reflector principal de 305 metros (1,000 pies) de diametro se encuentra localizado en una cuenca natural, en el escabroso terreno del noroeste de Puerto Rico.

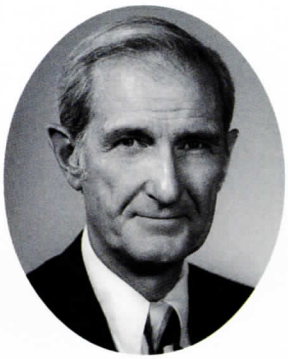
Karl Jansky, pionero de la radioastronomía

The World's Most Sensitive Radar and Radio Telescope

In order to use radio waves to explore space, scientists had to overcome one crucial obstacle: the weakness of cosmic signals. Cosmic radio signals are so weak, in fact, that all the energy collected by all the radio telescopes on our planet during the more than sixty-year history of radio astronomy amounts to no more than the energy released when a few raindrops hit the ground. An enormously sensitive collector of radio waves, such as the giant Arecibo radio-radar telescope, was needed to capture these signals.

The Arecibo radar telescope was conceived by William E. Gordon, then a professor of electrical engineering at Cornell University. Gordon wanted to study the properties of the Earth's upper atmosphere, the ionosphere, and thought that he could use a radar system to measure the density and temperature in this difficult-to-study atmospheric region. His calculations indicated that an antenna approximately 305 meters (1,000 feet) in diameter would do the job, but would be far too expensive to build using existing designs for radio and radar antennas.

To construct a telescope of the size he needed, Gordon hit on the idea of using a spherical, bowl-shaped reflector fixed in the ground, with a movable receiver hanging above it. This permitted the beam to point in a 20-degree range of directions around the zenith, or overhead direction. Such a telescope would be most useful in a location where the Sun, Moon, and planets pass almost directly overhead. Puerto Rico offered the extra advantage of Karst terrain—small, deep valleys surrounded by limestone hills—and a natural sinkhole south of the city of Arecibo provided an economical way to support the spherical reflector.



William E. Gordon, father of the Arecibo telescope

Built in three years, the Arecibo Ionospheric Observatory began operations in 1963. Gordon's concept of using radar to study the ionosphere—called incoherent scatter radar—was successful. In addition, the telescope allowed radio measurements of a host of objects in the solar system, in our galaxy, and beyond.

Arecibo Observatory is now part of the National Astronomy and Ionosphere Center (NAIC), a national research center operated by Cornell University under cooperative agreement with the National Science Foundation. The observatory is used by scientists from all parts of the United States and around the world.

With the completion in 1997 of the $25 million Gregorian reflector system suspended 137 meters (450 feet) above the telescope's 305-meter (1,000-foot) diameter dish, together with the construction of a ground screen and powerful new radar transmitter, the Arecibo telescope remains unmatched in its sensitivity and versatility for radio studies of the atmosphere, the solar system, and the universe.

El radiotelescopio con radar mas efectivo del mundo

Para poder explorar el espacio usando las ondas de radio, los científicos tuvieron que superar un obstáculo fundamental: la levedad de las señales cósmicas. Dichas señales son tan débiles que, de hecho, la cantidad total de su energía, acumulada en los más de sesenta años de historia de la radioastronomía, apenas equivale a la que producen unas pocas gotas de lluvia al chocar contra el suelo. Hacía falta un gigantesco y sensitivo receptor, como el radiotelescopio de Arecibo, para poder captar y estudiar en detalle estas señales.

William E. Gordon, entonces profesor de ingeniería eléctrica de la Universidad de Cornell, concibió la idea del radiotelecopio de Arecibo. Gordon estaba interesado en estudiar las características de las capas superiores de la atmósfera terrestre (la ionósfera), y pensó que podría usar un sistema de radar para medir la densidad y la temperatura de esa región atmosférica tan difícil de estudiar. Según sus cálculos, se necesitaba un reflector de aproximadamente 305 metros (1,000 pies) de diámetro para lograrlo. Desafortunadamente, resultaba demasiado costoso construirla siguiendo los diseños para antenas generalmente utilizados en aquella época.

A Gordon se le ocurrió entonces colocar un reflector esférico, fijo respecto a la superficie del terreno, que tuviera un receptor movible, suspendido por encima del reflector. Era la única forma de construir el telescopio del tamaño deseado. Esta estructura permitiría que el haz oscilara con un alcance de 20 grados alrededor del cenit. Un telescopio de tal diseño resultaría más eficiente si se le colocara en un lugar en el cual el sol, la luna y los planetas transitaran cerca del cenit. Puerto Rico poseía esta cualidad, además de tener un terreno de tipo Cársico, es decir, pequeños valles profundos, rodeados por cerros de piedra caliza. Más aún, una cuenca natural de forma ya adecuada al sur de la ciudad de Arecibo podía proveer una manera muy económica de construir el reflector esférico.

William E. Gordon, quien concibió el telescopio de Arecibo

En tres años el Observatorio Ionosférico de Arecibo se completó y pudo comenzar sus labores en 1963. La idea de Gordon de usar el sistema de radar para estudiar la ionósfera—una técnica llamada *incoherent scatter radar* (radar de dispersión inconexa)—fue muy exitosa. De ulterior beneficio fue el hecho que el telescopio también podía ser utilizado para estudiar diversos cuerpos que habitan nuestro sistema solar, nuestra galaxia y más allá de éstos.

Hoy día el Observatorio de Arecibo forma parte del Centro Nacional de Astronomía y Estudios Ionosféricos (NAIC, por sus iniciales en inglés), entidad nacional dedicada a la investigación, administrada por la Universidad de Cornell bajo un acuerdo cooperativo con la Fundación Nacional de Ciencias (NSF). En el Observatorio trabajan científicos de los Estados Unidos, Puerto Rico, y otros países del mundo.

En 1997 se completó la construcción e instalación de un sistema reflector Gregoriano a un costo de $25 millones; éste se halla suspendido a 137 metros (450 pies) de altura sobre la superficie del reflector que mide 305 metros (1,000 pies) de diámetro. Se le añadió la construcción de una pantalla periférica, al nivel del suelo, y de un nuevo transmisor más potente. El telescopio de Arecibo permanece inigualado en cuanto a nivel de sensitividad, eficiencia y versatilidad para realizar una gran variedad de estudios de la atmósfera, el sistema solar y el universo.

THE SHAPE OF ARECIBO: SPHERE VS. PARABOLA

Most radio antennas, such as satellite dishes, as well as optical reflecting telescopes, use a reflector with a parabolic shape to collect radiation. The incoming energy bounces off the surface and is focused to a point where a radio receiver (or light detector for an optical telescope) detects the signal. The parabola, however, focuses energy from only a small range of directions about its main axis, so that you have to move the whole telescope to look in different directions. This would have been a big problem for a 305-meter (1,000-foot) parabolic reflector fixed in the ground—it could look essentially only straight up.

Arecibo's spherical reflector looks the same in all directions if you are at the center of the sphere. This type of antenna is equally sensitive to radiation coming from many directions, but it only partially focuses the incoming radiation rather than focusing it to a point as does a parabola. This means a spherical antenna needs an additional device to fully focus the signal.

One such device is called a line feed, which is a long moveable antenna that collects the partially focused energy. For Arecibo, a line feed has to be 29 meters (96 feet) long to collect all of the energy from the spherical primary reflector. Line feeds work well at lower frequencies, but each operates only over a narrow range of frequencies.

An alternate device, which was installed on the telescope in 1996, is a Gregorian feed system, which uses two mirrors to focus energy to a point. This reflector system operates over a large frequency range and is more efficient than line feeds at higher frequencies.

Under the dish, life flourishes: A lush growth of ferns, grasses, wild orchids, begonias, and many other plants do more than please the senses. They deter erosion and provide a haven for such tropical wildlife as lizards, frogs, snakes, dragonflies, mongeese, and birds.

LA CONFIGURACIÓN DE ARECIBO: ESFÉRICA VS. PARABÓLICA

La mayoría de las antenas de radio, como las parabólicas de satélite, así como la mayoría de los telescopios reflectores ópticos, usan un reflector de forma parabólica para recibir radiación. La energía que llega rebota en la superficie y es dirigida hacia el foco donde un radioreceptor (o un receptor de luz, en el caso de los telescopios ópticos) detecta la señal. La parábola, sin embargo, posee un limitado número de posiciones desde donde puede dirigir la energía hacia su eje central; esto obliga al observador a mover el entero telescopio cada vez que desea mirar en otra dirección. Éste habría sido un gran problema tratándose de un reflector parabólico de 305 metros (1,000 pies) de diámetro: estando fijo en el suelo, éste sólo habría servido para mirar directamente hacia arriba.

Un reflector esférico aparece igual desde todas las direcciones si se lo observa desde su centro. Dicho tipo de antena es igualmente sensible a la radiación que proviene de diversas direcciones pero no puede focalizarla en un punto específico como lo hace un reflector parabólico. Esto significa que un reflector esférico necesita un dispositivo adicional para poder focalizar la señal.

Un tal dispositivo es la antena lineal, que consiste en una larga antena móvil que recoge y focaliza la energía. En el caso de Arecibo, esta antena debe medir 29 metros (96 pies de largo), para poder tener la capacidad necesaria para recoger toda la energía reflejada por el reflector esférico principal. Dichas antenas lineales trabajan muy bien a las bajas frecuencias, pero su operación está limitada a un rango muy estrecho de frecuencias.

En 1996 se instaló un dispositivo alterno, llamado sistema Gregoriano, que utiliza dos reflectores para enfocar la energía en un punto dado. Este sistema reflector opera dentro de un campo de frecuencias mucho mayor que el de las antenas lineales. De consecuencia, su adopción incrementa dramáticamente el intervalo de frecuencias en el cual el telescopio es utilizable.

La vida florece: Aquí vemos la exuberancia vital bajo el reflector principal: crecen por igual helechos, hierba, orquídeas silvestres, begonias y otras plantas. Más que complacer a nuestros sentidos, sirven para impedir la erosión del terreno y brindar refugio a diversos miembros del reino animal, como por ejemplo lagartijos, sapos, culebras, libélulas, mangostas y pájaros.

About the telescope

It's huge. The main reflector "dish" has a diameter of 305 meters (1,000 feet), a depth of 51 meters (167 feet), and covers an area of about 8 hectares (18 acres), or the equivalent of 26 football fields. The reflector surface consists of 38,778 aluminum panels, supported by a network of steel cables strung across a natural limestone sinkhole.

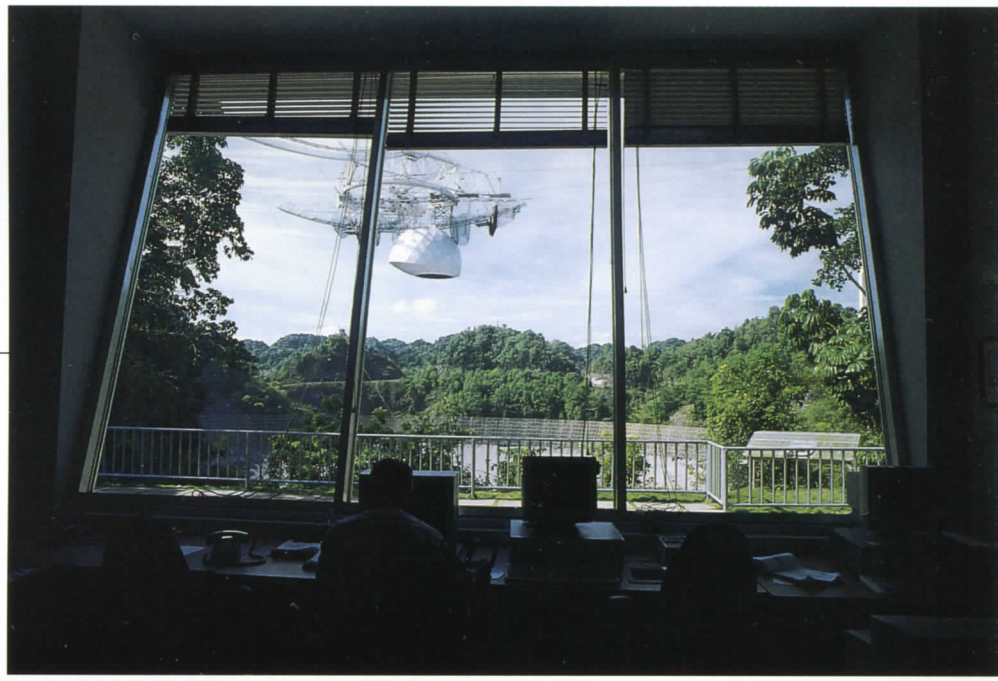
Suspended 137 meters (450 feet) above the dish is the dome containing the instrument's Gregorian reflector system. The dome is six stories high and weighs 68 metric tons (75 tons); the triangular platform and movable feed arm from which it is suspended weighs 630 metric tons (700 tons). The platform hangs in midair from eighteen cables, strung from three reinforced concrete towers which are held in place by additional cables running to immense concrete anchor blocks. The network of cables accurately maintains the platform's position, so that under normal wind conditions the platform moves only a fraction of a centimeter. The cable system also compensates for changes in temperature which would otherwise affect the height and tilt of the platform.

The lower edge of the triangular frame of the upper platform carries a circular track on which the telescope's azimuth arm turns. This arm is a bow-shaped structure 93 meters (304 feet) long, from which the feeds are suspended, and along which they can move to observe sources as far as 20 degrees from the zenith. By placing the feed system at a particular location, the electronic equipment receives signals from only a very small area of the sky.

It is the size of its reflector that makes the Arecibo Observatory so useful to scientists. A larger size means a larger collecting area, which allows weaker radio signals to be detected. The Arecibo telescope has the largest collecting area of any radio or radar antenna built on the Earth—giving it unrivaled sensitivity, and allowing those who use it to study weaker radio-emitting objects and to make more accurate measurements of particularly interesting sources.

Deriving the full advantage from such a large collecting area requires highly sensitive receivers. To increase their sensitivity, the Arecibo telescope's receivers must be cooled to within 20 degrees above absolute zero (–273°C, or –459°F). At these low temperatures, extraneous noise in the receivers is minimized, so

View of the suspended structure and Gregorian enclosure from the telescope control room, as seen by telescope operators and observers.



Acerca del telescopio

Es enorme. El "plato" del reflector principal tiene un diámetro de 305 metros (1,000 pies) y una profundidad de 51 metros (167 pies); además, ocupa un área de aproximadamente 8 hectáreas (18 acres), es decir, el equivalente a 26 campos de fútbol. La superficie del reflector está compuesta por 38,778 paneles de aluminio los cuales descansan sobre una red de cables de acero suspendidos a través de la cuenca natural de piedra caliza.

Suspendido por cables por arriba del reflector principal, se encuentra un conjunto de estructuras metálicas, referido localmente como "la platforma." Con un peso de 630,000 kg (700 toneladas), está sostenida en el aire por dieciocho cables, que a su vez están sujetos a tres torres de concreto armado. Las torres se mantienen balanceadas gracias a una serie adicional de cables que se extienden a tierra, hasta unos enormes bloques de concreto, a su vez anclados en la roca. La red de cables mantiene la posición de la plataforma con elevada precisión tal que, bajo condiciones normales de viento, ésta se mueve no más de una fracción de centímetro. El sistema de cables también contrarresta los cambios de temperatura que, de otro modo, afectarían la altura y la inclinación de la plataforma.

La parte superior de la plataforma consiste en un gran triángulo, cuyo borde inferior contiene un riel circular que guía el movimiento, en la dirección azimutal—es decir en un plano horizontal—de un largo brazo que tiene forma de arco, llamado "brazo azimutal." Dicho brazo mide 93 metros (304 pies) de largo, y de él se suspenden las antenas lineales y la cúpula del sistema Gregoriano, que de por sí sola mide seis pisos de alto y pesa 68,000 km (75 toneladas). Antenas lineales y cúpula pueden moverse a lo largo del brazo para permitir la observación de objetos celestes localizados hasta 20 grados de distancia del cenit. Una vez seleccionado el objeto de interés científico, el telescopio puede ser "apuntado" hacia él, configurando la posición de las componentes móviles del telescopio.

Para poder aprovechar al máximo la capacidad de esta área de reflexión tan enorme es necesario tener receptores sumamente sofisticados. Para aumentar su sensitividad, los receptores del telescopio de Arecibo se enfrían por debajo de 20 grados sobre cero absoluto (-273°C, o -459°F). Con temperaturas tan bajas se logra reducir a un mínimo el ruído electrónico de los receptores para así poder amplificar las señales de radio entrantes minimizando la interferencia del ruido propio de los receptores.

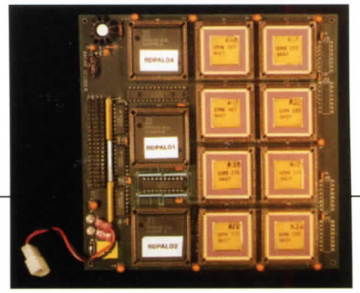
Desde la sala de control del telescopio, los operadores y técnicos que allí trabajan ven así la estructura suspendida que incluye el sistema Gregoriano.

that only the incoming radio signals are amplified without interference from the receivers' own noise.

The Arecibo system operates at frequencies between 50 megahertz and 10,000 megahertz (10 GHz), corresponding to a range of wavelengths between 6 meters and 3 centimeters. The main reflector collects the radio waves and reflects them to the Gregorian reflector system, which concentrates the signal and sends it to the receivers. Information then travels along cables to the main research building, where specialized equipment converts it into digital format, uses a computer to analyze it, and finally stores it for future reference. As the information is processed, it is also displayed on video terminals in graphic form for immediate examination by scientists using the system. Some data require so much processing that the most powerful supercomputers at Cornell University and elsewhere must be used to analyze them.

Arecibo and NAIC staff inspecting the Gregorian dome during the recent upgrade project. *Clockwise from foreground:* Kurt Samuelson, upgrade project manager; Donald Campbell, associate director, NAIC; José Maldonado, assistant director, Arecibo Observatory facilities; Paul Goldsmith, director, NAIC.

Circuit board from high-speed signal processor. The special-purpose integrated circuits were designed by NAIC to analyze radio waves emitted by atoms and molecules in the Milky Way and other galaxies.



Sistema de circuitos para el proceso electrónico de datos. Estos circuitos integrados fueron diseñados por NAIC con un propósito especial: analizar las ondas de radio que emiten los átomos y moléculas que se encuentran en la Vía Láctea y en otras galaxias.

El sistema de Arecibo funciona en frecuencias entre los 50 y los 10,000 megahercios (10 GHz), las que corresponden a longitudes de onda entre los 6 metros y los tres centímetros. El reflector principal recoge las ondas de radio y las refleja en el sistema reflector Gregoriano, que focaliza la señal y la envía a los receptores. Sucesivamente, la información viaja a través de cables eléctricos y llega al edificio principal de operaciones, donde equipo especializado la convierte en formato digital. Los datos digitales son luego analizados por computadoras y, por último, almacenados para referencia futura. Según se va procesando la información, se la ilustra en forma gráfica en terminales de video para que los científicos que están usando el sistema puedan examinarla de inmediato. A menudo, la información que reciben requiere de tanto procesamiento que, para poder analizarla satisfactoriamente, hay que usar las más potentes supercomputadoras de la Universidad de Cornell y de otras instituciones.

Miembros de personal de la NAIC y de Arecibo inspeccionan la cúpula del Gregoriano como parte de las actividades del reciente proyecto de modernización. *En primer plano, de izquierda a derecha:* Kurt Samuelson, director del proyecto; Donald Campbell, subdirector de NAIC; José Maldonado, director asociado de las facilidades del Observatorio de Arecibo; Paul Goldsmith, director de NAIC.

Facts & Figures

✦ Arecibo Observatory sits on a 48-hectare (118-acre) site outside of the city of Arecibo, Puerto Rico. There are 140 staff members at the site, and another fifteen at NAIC headquarters on the Cornell University campus in Ithaca, New York.

✦ The observatory cost $9.3 million when it was completed in 1963. The 1974 upgrade cost another $9 million. The most recent upgrade completed in 1997, the addition of the Gregorian, a new radar transmitter, and ground screen cost $25 million. If the entire facility were to be built today, it would cost in excess of $100 million.

✦ More than 8 kilometers (five miles) of 2.5 cm. (1-inch)-thick steel cables and approximately 40 kilometers (25 miles) of 0.6 cm. (quarter-inch)-thick cables support the reflector. They keep it from changing shape as temperatures fluctuate and winds blow.

✦ The dish, 305 meters (1,000 feet) across, has a surface area of eighteen acres, the equivalent of 26 football fields.

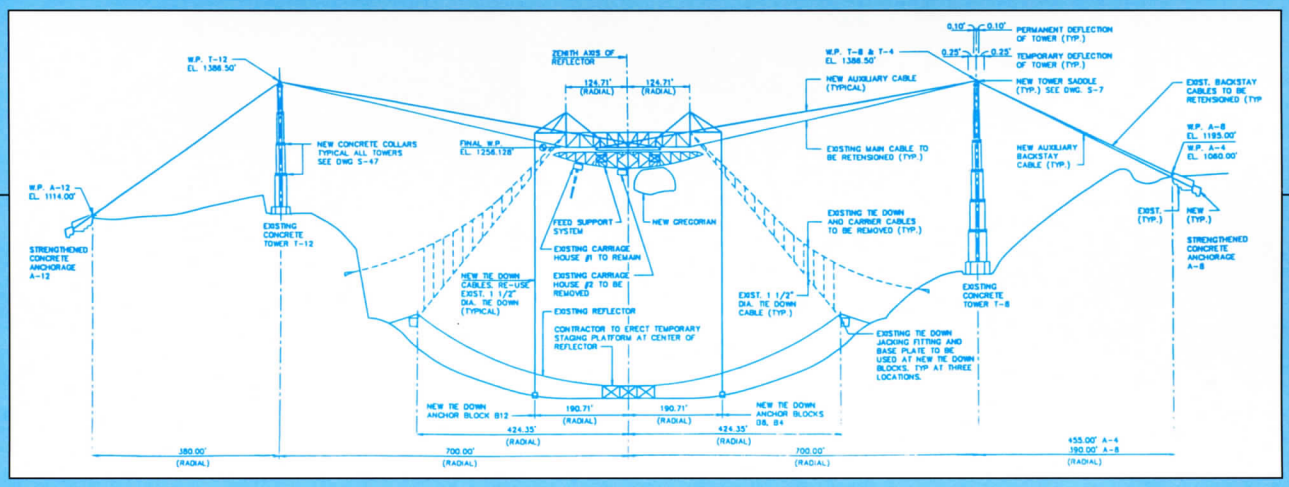
✦ An on-site plant processed 270,000 kg (300 tons) of aluminum to fabricate the perforated panels that form the spherical surface. There are 38,778 of them, each measuring 101 cm. x 203 cm. (40 x 80 inches).

✦ Arecibo's azimuth arm is 93 meters (304 feet) long, 3.7 meters (12 feet) wide, and 10 meters (33) feet deep. It rotates on a circular track 42.7 meters (140 feet) in diameter.

✦ There are three towers supporting the structure. One is 111 meters (365 feet) high, and the other two are each 81 meters (265 feet) high. All three tops are at the same elevation.

✦ The 363 kilometers (227 miles) of aluminum angle used to make the frames supporting the main reflector panels could have made a guardrail all the way around the island of Puerto Rico.

✦ The dome that houses the Gregorian reflectors is six stories high, is suspended 137 meters (450 feet) above the main reflector, and, although made of aluminum to minimize its weight, still weighs 68,000 kg (75 tons).



Detalles y Datos

✦ El Observatorio de Arecibo ocupa un área de 48 hectáreas (118 acres) en las afueras de la ciudad de Arecibo, Puerto Rico. En él trabajan 140 empleados que cuentan con la colaboración de otros 15 empleados que trabajan en la oficina central de NAIC en el recinto universitario de Cornell en Ithaca, Nueva York.

✦ El observatorio costó $9.3 millones cuando se completó en 1963. Al modernizarse en 1974 se invirtieron en él otros $9 millones. La más reciente innovación concluyó en 1997 a un costo de $25 millones, e incluye la instalación del sistema Gregoriano, un nuevo transmisor de radar y la pantalla periférica. Si hoy se fuese a construir este observatorio en su totalidad, costaría más de $100 millones.

✦ Al reflector principal lo sostienen más de 8 km (5 millas) de cables de acero de 2.5 cm (una pulgada) de espesor y aproximadamente 40 km (25 millas) de cables de 0.6 cm (un cuarto de pulgada) de espesor.

✦ El reflector esférico de 305 m (1,000 pies) de diámetro tiene una superficie de 18 acres, es decir, el equivalente a 26 campos de fútbol.

✦ Una planta local procesó 270,000 kg (300 toneladas) de aluminio para fabricar los paneles perforados que se usaron para formar la superficie esférica. En total, hay 38,778 paneles; cada uno mide 101 cm x 203 cm (40 x 80 pulgadas).

✦ El brazo azimutal del telescopio mide 93 m (304 pies) de largo, 3.7 m (12 pies) de ancho y 10 m (33 pies) de espesor vertical. El riel circular bajo el cual gira es de 42.7 m (140 pies) de diámetro.

✦ La estructura está suspendida de tres torres. Una tiene 111 m (365 pies) de alto; las otras dos torres miden 81 m (265 pies) de alto. En su parte más alta todas alcanzan exactamente la misma elevación.

✦ Los 363 km (227 millas) de aluminio angular que se usaron para fabricar las estructuras en que se apoyan los paneles del reflector principal podrían crear una baranda que rodearía toda la isla de Puerto Rico.

✦ La cúpula que alberga el sistema Gregoriano es de seis pisos de alto, está suspendida a 137 m (450 pies) sobre el reflector principal y, aunque fue hecho de aluminio con la intención de reducir su peso, aún así pesa 68,000 kg (75 toneladas).

WHAT'S A GREGORIAN?

It might be easier if we begin with the question "Who was Gregory?" Throughout history, men of the cloth—popes and friars—named Gregory have passed down their insights, philosophies, musical compositions, and scientific discoveries. However, the Gregory after whom the reflector system is named was James Gregory, one of the foremost mathematicians of the seventeenth century. James Gregory was the first professor of mathematics at the University of Edinburgh. He also devised the first practical reflecting telescope. Many optical telescopes have since been built following the Gregorian design, employing a parabolic mirror with a small concave secondary reflector. Although Gregory's effort to found the first public observatory in Great Britain fell victim to university politics, his "Gregorian reflecting telescope" was the inspiration, some 300 years later, for Arecibo's radio reflector system.

The Gregorian at Arecibo uses two reflecting surfaces or mirrors, one 22 meters (72 feet) in diameter, the other 8 meters (26 feet). The dome contains these two reflectors, as well as the radar transmitter and microwave receivers. The larger mirror collects the radio waves bounced off Arecibo's main spherical dish reflector, and relays them to the second reflector. The second mirror converges the beam to a focal point where it enters a collecting device called a "feed horn," which passes the signal to the receivers.

James Gregory, inventor of the Gregorian reflector telescope

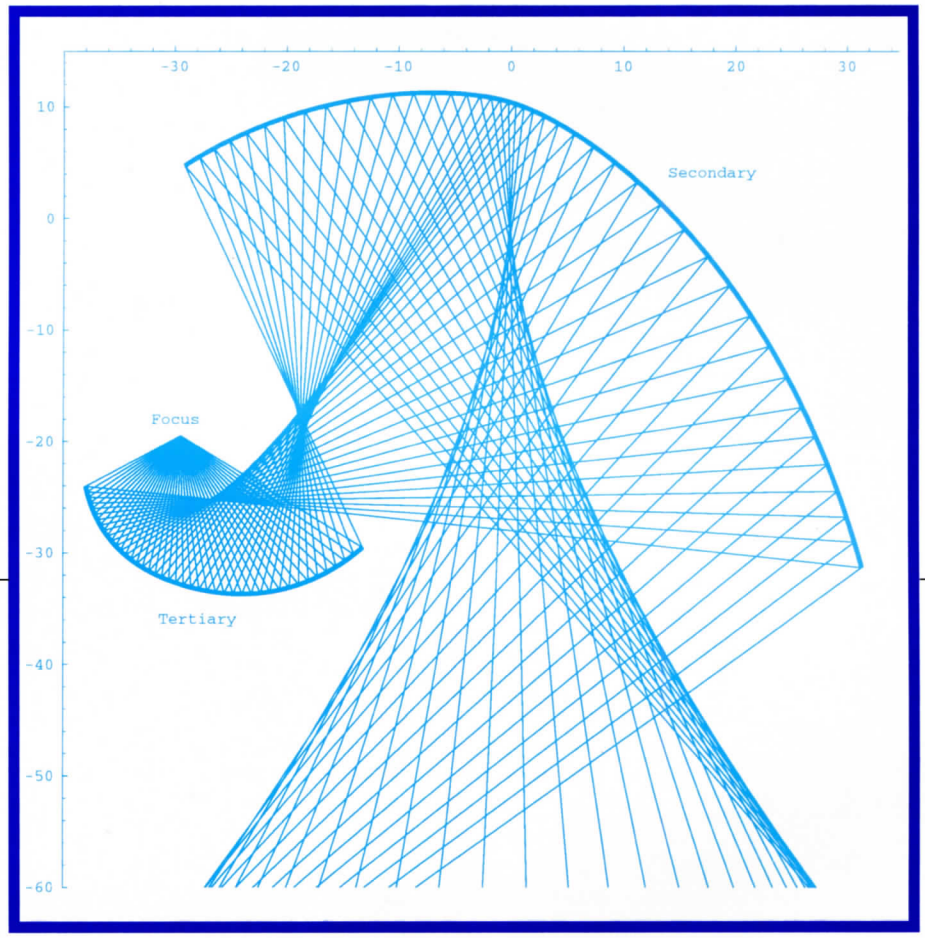
James Gregory, inventor de la configuración telescópica Gregoriana

¿QUÉ ES UN GREGORIANO?

Quizás resulte más fácil partir de la pregunta "¿Quién fue Gregory?" En la historia encontramos a muchos clérigos—Papas y frailes—de nombre Gregorio que nos han legado sus ideas, filosofías, composiciones musicales y descubrimientos científicos. Sin embargo, el Gregory que nos incumbe, cuyo nombre recibió este sistema reflector, es James Gregory, uno de los matemáticos más prominentes del siglo XVII. James Gregory fue el primer profesor de matemáticas de la Universidad de Edinburgo. Además, inventó el primer telescopio reflector práctico. Desde entonces se han diseñado muchos telescopios ópticos siguiendo el modelo Gregoriano, el cual usa un espejo parabólico que tiene un pequeño reflector cóncavo secundario. El sueño de Gregory de fundar el primer observatorio público de Gran Bretaña nunca se materializó a causa de la política universitaria. Sin embargo, su telescopio reflector Gregoriano fue, 300 años más tarde, la fuente de inspiración para la creación del sistema reflector de radio de Arecibo.

El Gregoriano de Arecibo utiliza dos superficies reflectoras o espejos, uno que mide 22 metros (72 pies) de diámetro y el otro, 8 metros (26 pies). Dentro la cúpula se encuentran estos dos reflectores así como el transmisor de radar y los receptores de microondas. El espejo más grande recoge las ondas de radio que rebotan en el reflector esférico principal y las refleja hacia el segundo reflector; éste luego dirige el haz hacia un punto focal por donde la radiación entra a un dispositivo receptor llamado "cuerno de alimentación," el cual pasa la señal a los receptores.

How does the Gregorian reflector system work? This diagram represents the two reflectors in the Gregorian enclosure. Radio signals come from the main reflector (off the bottom of the figure) and hit the secondary mirror at right. They are then reflected to the mirror on the left, which finally brings all the energy to a focus. Dimensions shown are in feet.



¿Cómo funciona el sistema reflector Gregoriano? En este diagrama vemos los dos reflectores que forman parte del sistema Gregoriano. Las señales de radio son reflejadas por el espejo principal (fuera de la parte inferior de la figura) y luego por el espejo secundario a la derecha. Sucesivamente, se reflejan en el espejo de la izquierda con lo cual se logra, finalmente, enfocar toda la energía. Las dimensiones aquí illustradas están medidas en pies.

Up Close

Exploring the Earth's Atmosphere

Atmospheric scientists study the interface between Earth and space by measuring the temperature, wind velocity, electric potential, and composition of the matter in the atmosphere, including the ionosphere, the region of the Earth's atmosphere above 50 kilometers (30 miles) altitude. The ionosphere consists of ions, which are atoms that have lost one or more of their electrons, typically as a result of solar ultraviolet radiation. What is the composition of the ionosphere? Mostly neutral gases, plus ionized oxygen, hydrogen, and helium, and also metal ions from meteor burnout. Unlike atoms, ions are electrically charged, and the strength and direction of the Earth's electric and magnetic fields affect their motion.

Space weather

Understanding the ionosphere has more than purely scientific interest. Geomagnetic disturbances—produced by sudden changes in the amount of radiation and numbers of charged particles from the Sun—can significantly disturb the ionosphere, which we use for long distance communication by bouncing radio waves from its lower layers. Longer term changes in the Sun's output also affect the ionosphere and may, in time, influence the lower atmosphere and the Earth's climate through mechanisms not currently understood. These effects are called "space weather."

Before Arecibo Observatory was constructed, the means of obtaining information about the ionosphere from the Earth's surface was to reflect short-wave radio signals from it, a method which reaches out only 320 kilometers (200 miles) above the surface. The incoherent scatter radar used at Arecibo bounces signals off the electrons and ions in the ionosphere, allowing its properties to be measured to altitudes of 6,400 kilometers (4,000 miles) or higher. Techniques for studying the temperature, composition, density, winds, and electric and magnetic fields in the ionosphere, many of which were developed at Arecibo, are now used by many observatories around the world. Together with balloon, rocket, and satellite-borne experiments, they have given us a more detailed understanding of the layers of gases that surround our planet.

Arecibo is one of a chain of radar and optical observatories, stretching from Greenland to Peru, which pursue projects such as:

- Examining how the various layers of the Earth's atmosphere respond to gravitational forces, to heating and cooling, and to magnetic and electric fields. Even the effects of the Moon's gravitational pull have been studied;
- Observing meteors and space debris—sometimes particles as small as one centimeter in diameter—as they move close to the Earth;
- Studying auroras, thunderstorms, and lightning;

De Cerca

Explorando la atmósfera de la tierra

Los meteorólogos estudian la interfase entre la Tierra y el espacio por medio de la medición de la temperatura, velocidad del viento, capacidad eléctrica y composición de la materia que se halla en la atmósfera; incluso, observan la ionósfera que es la región atmosférica de la Tierra que está por arriba de los 50 kilómetros (30 millas) de altitud. La composición de la ionósfera incluye iones, que no son otra cosa sino átomos que han perdido uno o varios de sus electrones, generalmente como resultado de la radiación ultravioleta del sol. ¿De qué consiste la ionósfera? Principalmente, está compuesta de gases neutros, pero contiene, además, oxígeno ionizado, hidrógeno, helio, e iones metálicos producidos por la combustión de meteoritos. A diferencia de los átomos, los iones tienen carga eléctrica; por esta razón, la fuerza y dirección del campo electromagnético de la Tierra afectan su movimiento.

Las condiciones del tiempo en el espacio

Tratar de comprender la ionósfera es una labor que trasciende el puro interés científico. Los disturbios geomagnéticos—producidos por cambios súbitos en la cantidad de radiación y de partículas con carga eléctrica provenientes del sol—pueden alterar seriamente la ionósfera, la cual utilizamos para las comunicaciones de larga distancia cuando rebotamos las ondas de radio contra sus capas inferiores. Los cambios a largo plazo que ocurren ocasionalmente en el nivel de energía solar también influyen en la ionósfera, lo que eventualmente afecta la atmósfera inferior y el clima de la Tierra por medio de procesos que aún no comprendemos plenamente. Nos referimos a estos fenómenos cuando hablamos de "meteorología espacial."

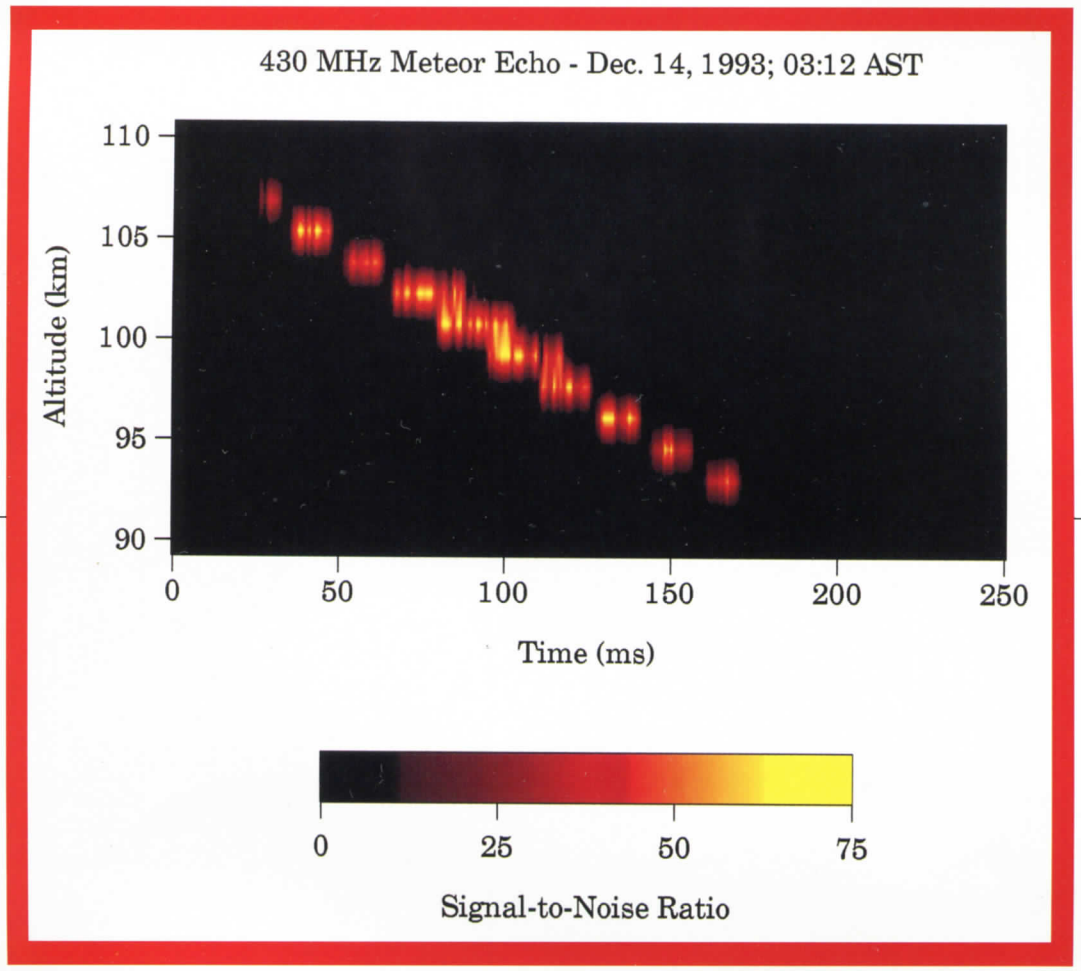
Antes de que se construyera el Observatorio de Arecibo, la única manera en que se podía obtener información sobre la ionósfera desde la superficie de la Tierra era por medio de señales de radio de onda corta; éstas se reflejaban desde nuestro planeta alcanzando apenas 320 kilómetros (200 millas) sobre su superficie. El radar de dispersión inconexa (*incoherent scatter radar*) que se usa en Arecibo rebota las señales contra los electrones e iones de la ionósfera, lo que facilita la medición de propiedades ionosféricas que se hallan a altitudes de 6,400 kilómetros (4,000 millas) o más. Las técnicas de investigación usadas en el estudio de la temperatura, composición, densidad, vientos y campos eléctricos y magnéticos de la ionósfera, muchas de ellas concebidas en Arecibo, se emplean hoy día en muchos observatorios alrededor del mundo. Estas técnicas, junto con los experimentos llevados a cabo con globos sonda, cohetes y satélites, nos brindan la oportunidad de comprender más detalladamente las capas gaseosas que rodean nuestro planeta.

El de Arecibo pertenece a una cadena de observatorios ópticos y de radar que se extiende desde Groenlandia hasta el Perú, entre cuyos objetivos se incluye:

- Estudiar las reacciones de las distintas capas de la atmósfera de la Tierra a las fuerzas gravitacionales, el aumento o disminución de la temperatura, los campos magnéticos y eléctricos. Se ha podido estudiar hasta los efectos de la fuerza gravitacional de la luna;
- Observar los meteoritos y las partículas cósmicas—que a veces miden apenas un centímetro de diámetro—cuando se acercan a la Tierra;
- Estudiar las auroras boreales, tormentas y relámpagos;
- Examinar el movimiento vertical de elementos atmosféricos tales como el ozono, el vapor de agua y los aerosoles

■ Examining the vertical movement of atmospheric constituents such as ozone, water vapor, and the aerosols produced by volcanic eruptions and supersonic jet planes. In recent years "lidars," laser-powered instruments that measure the structure and dynamics of the atmosphere by using light rather than radio waves as a probe, have been added to two of the facilities (including Arecibo), and are providing valuable new data.

Q. ZHOU (NAIC) AND M. KELLEY (CORNELL UNIVERSITY)



Meteors: The Earth receives over 36,000 kg (40 tons) of meteoric material each day. Most of the meteoroids burn up in the lower ionosphere and end up as atoms and dust particles. The heavier particles eventually sink through the atmosphere and provide cores around which high-altitude clouds form. The Arecibo radar is the world's most sensitive ground-based instrument for detecting meteors. This figure shows a meteor going straight down the radar beam.

Meteoritos: La Tierra recibe diariamente más de 36,000 kg (40 toneladas) de material meteórico. La mayor parte de los meteoritos se desintegra al pasar por la ionósfera inferior. Las partículas más pesadas eventualmente se "hunden" en la atmósfera y se convierten en núcleos alrededor de los cuales se forman nubes de elevada altitud. El radar de Arecibo es el instrumento más sensitivo de la superficie terrestre, para la detección de meteoritos. En esta figura vemos un meteorito cuyo descenso es detectado por el radar.

producidos por las erupciones volcánicas y los aviones *jet* supersónicos. En los últimos años, dos de los observatorios, entre ellos el de Arecibo, se han equipado con "lidars," instrumentos que usan la tecnología de rayos láser para estudiar la estructura y dinámica atmosfèricas. Al poder usar las ondas de luz en vez de ondas de radio para el sondeo, los "lidars" están proveyéndonos de muy valiosa y nueva información.

The telescope's range is from as close as 3 kilometers (2 miles) from the Earth's surface, to the most distant parts of the universe—over 10 billion light years away.

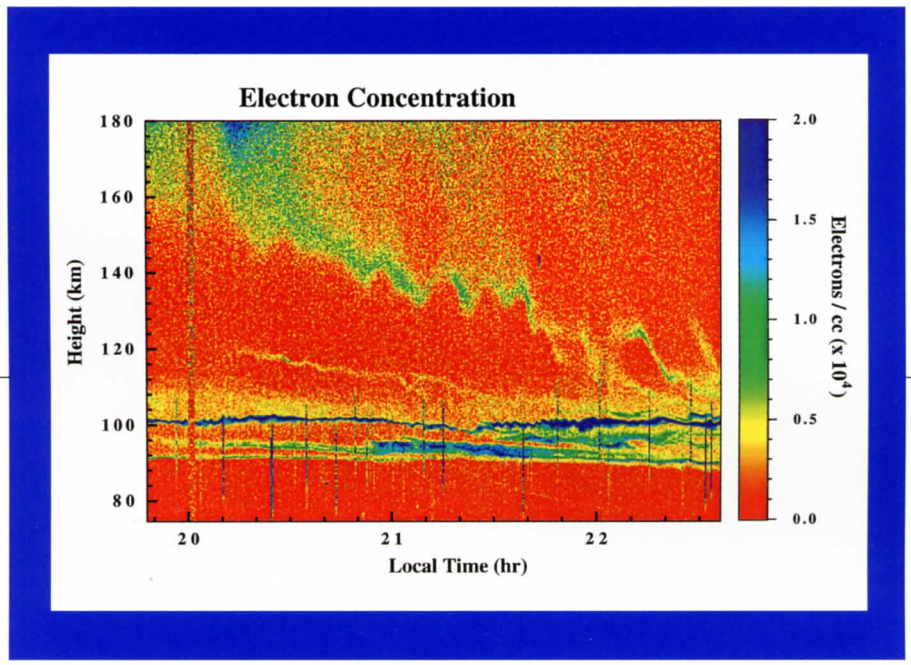
El alcance del telescopio se extiende desde 3 km (2 millas) sobre la superficie de la Tierra hasta los lugares más distantes del universo—a más de 10 billones de años luz.

What's happening in the ionosphere?

Every day at dawn, solar ultraviolet radiation quickly produces ions high in the atmosphere, knocking electrons loose from their atoms. The energy of the newly liberated electrons is exceptionally high, allowing some electrons to travel along geomagnetic lines of force from one hemisphere to the other. With radar facilities, scientists can detect these highly energetic electrons arriving from the Earth's southern hemisphere. The atmosphere behaves fairly stably during the day, but at night is extremely variable. Internal atmospheric waves bob up and down by as much as 80 kilometers (50 miles); cells similar to thunderstorms sometimes drive the ionosphere to far greater than normal altitudes. Space weather can be quite severe in these events. On occasion, streams of energetic particles from the Sun can penetrate well beyond the polar regions and create spectacular ion winds over Arecibo, with speeds much greater than those in any hurricane!

Ionospheric activity: This figure illustrates the rich variety of phenomena occurring in the nighttime ionosphere that can be observed with the Arecibo radar. The thin layers of ionization persist because of extraterrestrial metallic ions released from burning meteoroids. The up-and-down wave motions are caused by buoyancy waves (analogous to ocean waves) that travel all the way up from the lower atmosphere. Such waves are created by winds blowing across mountains and by thunderstorms, among other things. Look at the sky: you can sometimes see the same kind of wave manifested in the formation of rows of clouds with regular spacing.

J. D. MATTHEWS (PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY), M. P. SULZER (NAIC), AND P. PERILLAT (NAIC)



Tumbling Toutatis, *right*: Computer model of the asteroid Toutatis, created from radar data obtained with the Goldstone radar telescope in California and the Arecibo radar telescope in Puerto Rico. Toutatis, which crosses the Earth's orbit, is about 4.6 kilometers (3 miles) long. These views show shallow craters, linear ridges, and a deep "neck." Toutatis may have been sculpted by impacts to a single body, or it may be the result of a gentle collision of two separate objects.

Toutatis has one of the strangest rotations yet observed in the solar system. Instead of spinning about a single axis as do the planets and the vast majority of asteroids, this asteroid "tumbles" like a football after a botched pass.

Actividad ionosférica: Como vemos en la ilustración, con el radar de Arecibo se pueden observar fenómenos que ocurren en la ionósfera. Capas delgadas de ionización perduran debido a los iones metálicos cósmicos que se desprenden de los meteritos que interactúan con la atmósfera terrestre. En la atmósfera también ocurren movimientos ondulatorios que permiten transferencia de energía en sentido vertical, hacia las capas inferiores de la atmósfera. Los vientos que soplan entre montañas y las tormentas, entre otros fenómenos, producen dichas perturbaciones ondulatorias. Si mira al cielo, podrá Ud. ver cómo el mismo tipo de onda se manifiesta en la formación de hileras de nubes y el espaciamiento uniforme que a menudo se observa entre ellas.

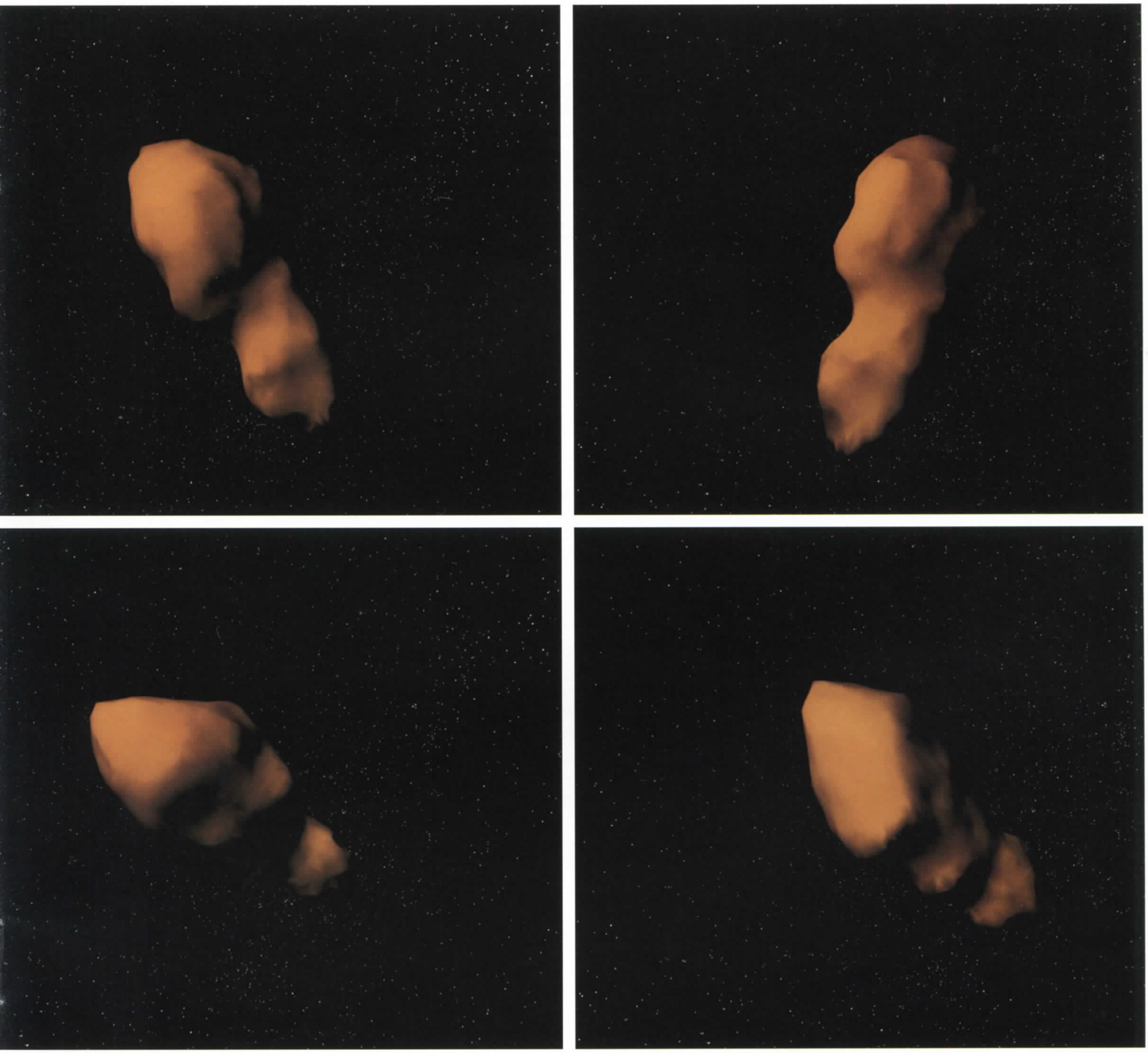
¿Qué pasa en la ionósfera?

Diariamente, al amanecer, la radiación solar ultravioleta produce rápidamente iones en la parte superior de la atmósfera, al causar que los electrones se desprendan de sus átomos. La energía de los electrones recién liberados es excepcionalmente alta, lo que les permite a algunos viajar a lo largo de las líneas de fuerza geomagnéticas que se extienden de un hemisferio al otro. Con el equipo de radar adecuado, los científicos pueden detectar estos electrones de alta energía cuando vienen del hemisferio sur de la Tierra. La atmósfera es relativamente estable durante el día pero por la noche varía muchísimo. Sufre por ejemplo de perturbaciones ondulatorias de amplitud vertical de hasta 80 kilómetros (50 millas); eventos atmosféricos similares a tormentas a veces empujan la ionósfera más allá de su altitud normal. Bajo estas circunstancias, las condiciones meteorológicas en el espacio pueden ser muy violentas. Ocasionalmente, ciertas corrientes de partículas solares cargadas de energía se extienden a grandes distancias de las regiones polares, produciendo vientos iónicos espectaculares sobre Arecibo que alcanzan velocidades mayores que las de un huracán.

***Imágenes a la derecha*: Este modelo computadorizado del asteroide Toutatis se creó con la información que se obtuvo de dos telescopios de radar: el de Goldstone en California y el de Arecibo en Puerto Rico. Toutatis, que atraviesa la órbita de la Tierra, mide 4.6 kilómetros (3 millas) de largo. En estas imágenes se pueden ver cráteres de poca profundidad, cadenas lineales de relieve y un "istmo" profundo. Se especula que Toutatis pudo haberse formado por impactos sucesivos o como resultado de un choque a baja velocidad entre dos objetos separados.**

Toutatis tiene el patrón de rotación más extraño que jamás se haya observado en el sistema solar. En vez de girar en torno a un solo eje, como lo hacen los planetas y la gran mayoría de los asteroides, Toutatis "da volteretas" de una manera mucho mas compleja.

SCOTT HUDSON (WASHINGTON STATE UNIVERSITY) AND STEVEN OSTRO (JET PROPULSION LABORATORY)



Radar Exploration: Learning about Our Solar System

With Arecibo's most recent upgrade, scientists can now use one million watts of radio energy to study objects in our solar system by beaming signals at planets, moons, asteroids, comets, and planetary rings, and studying the signals they reflect to us. The high power is needed because only a tiny fraction, less than 1 part in a billion x billion x billion, of transmitted power is returned from a weak target. The Arecibo telescope can now make images with 1-kilometer (one-half-mile) resolution of the surface of cloud-shrouded Venus and can study asteroids and comets that speed around the solar system with resolutions down to 15 meters (50 feet).

A radar system transmits pulses of radio energy and receives the resulting reflections, or echoes, from the objects in its beam. By measuring the time it takes for the signal to return, and knowing the speed of the signal (the speed of light, equal to 300,000 kilometers per second, or 186,000 miles per second), astronomers can measure distances to solar system objects with high accuracy.

If the targeted object is moving, either in orbit or as the result of its rotation, the reflected signal will be Doppler shifted to a frequency slightly different than was transmitted, and we can measure the target's motion. Our knowledge of the motions of objects in the solar system allows us to guide spacecraft through the solar system to intercept other planets, asteroids, and comets. With this information, scientists can create a map of the surface of the object. The details of the reflected signal also provide us with data on the chemical composition and structure of the surface material. This information helped NASA to determine the best places for Moon landings during the Apollo missions and for the Viking landings on Mars.

Surface of Venus, *opposite page*: Because of Venus's dense cloud cover, radio or radar waves are the only means for viewing the planet's surface. This radar photo of an area 6,000 x 3,500 kilometers (4,000 x 2,200 miles) was made in 1988 with the Arecibo telescope, and is the very best snapshot of Venus that Earth-based radars have produced to date. Some interesting features:

The diffuse bright spots along the image's left edge are the volcanoes Ushas, Innini, and Hathor Mons.

Three impact craters in the dark area left of center were dubbed "the Crater Farm" because they are so close together.

Radar-bright Alpha Regio occupies the right half of the image, along with coronae, large ring-like features. The large corona near the bottom right is called Eve.

La exploración por radar: Como aprendemos sobre nuestro sistema solar

Al completarse la más reciente etapa de modernización, los científicos pueden ahora utilizar un transmisor con capacidad de un millón de vatios de energía para estudiar objetos de nuestro sistema solar por medio de señales de radio. Dichas señales son dirigidas hacia los planetas, lunas, asteroides, cometas y anillos planetarios, reflejadas por los mismos, y analizadas en detalle cuando regresan al observatorio. El nivel de energía de transmisión necesario es tan alto, pues sólo una minúscula fracción de la energía trasmitida (menos de 1 parte en un billón x billón x billón) regresa al telescopio despuès de ser reflejada por un objeto lejano. El telescopio de Arecibo puede producir ahora imágenes con definición de un kilómetro (media milla) del planeta Venus, cuya superficie está cubierta de nubes, y estudiar los asteroides y cometas que orbitan alrededor del sol con definición bajo los 15 metros (50 pies).

El sistema de radar transmite pulsos de energía y recibe la reflexión resultante, o eco, de los objetos que se hallan en la trayectorica definida por el haz. Los astrónomos pueden determinar con gran precisión la distancia que hay, por ejemplo, entre la Tierra y los objetos de nuestro sistema solar, cuando miden el tiempo que tarda la señal en regresar, sabiendo que la señal se propaga a la velocidad de la luz (300,000 kilómetros por segundo, o 186,000 millas por segundo).

Si el objeto en cuestión está en movimiénto, ya sea en órbita o como resultado de su propia rotación, la señal reflejada sufre un desplazamiento Doppler (es decir, la frecuencia de la radiación regresa con un valor ligeramente diferente de la con que se transmitió); esto permite medir el movimiento de ese objeto. Nuestro conocimiento de los movimientos de los objetos del sistema solar nos ha permitido dirigir naves espaciales para interceptar otros planetas, asteroides y cometas. Midiendo desplazamientos Doppler, los científicos han podido crear mapas de la superficie de dichos objetos. Los detalles de la señal reflejada nos proveen, además, datos sobre la composición química y estructural del material de la superficie reflejante. Esta información ha sido muy útil para NASA, a la hora de seleccionar los mejores lugares para los alunizajes de las expediciones Apolo y los aterrizajes del Viking en Marte.

WHAT'S A DOPPLER SHIFT?

Imagine that you are standing near a fire station, and that an emergency vehicle starts its siren in preparation for setting out on a mission. As the vehicle approaches you, your ear receives more peaks and valleys of sound waves per second than it does when the vehicle is at rest relative to you, so the frequency of the sound (number of peaks per second) appears higher. As the vehicle passes by and moves away from you, the frequency of the sound drops below what it was when the vehicle was stationary, since the source of the sound waves is receding and you are receiving fewer peaks and valleys each second.

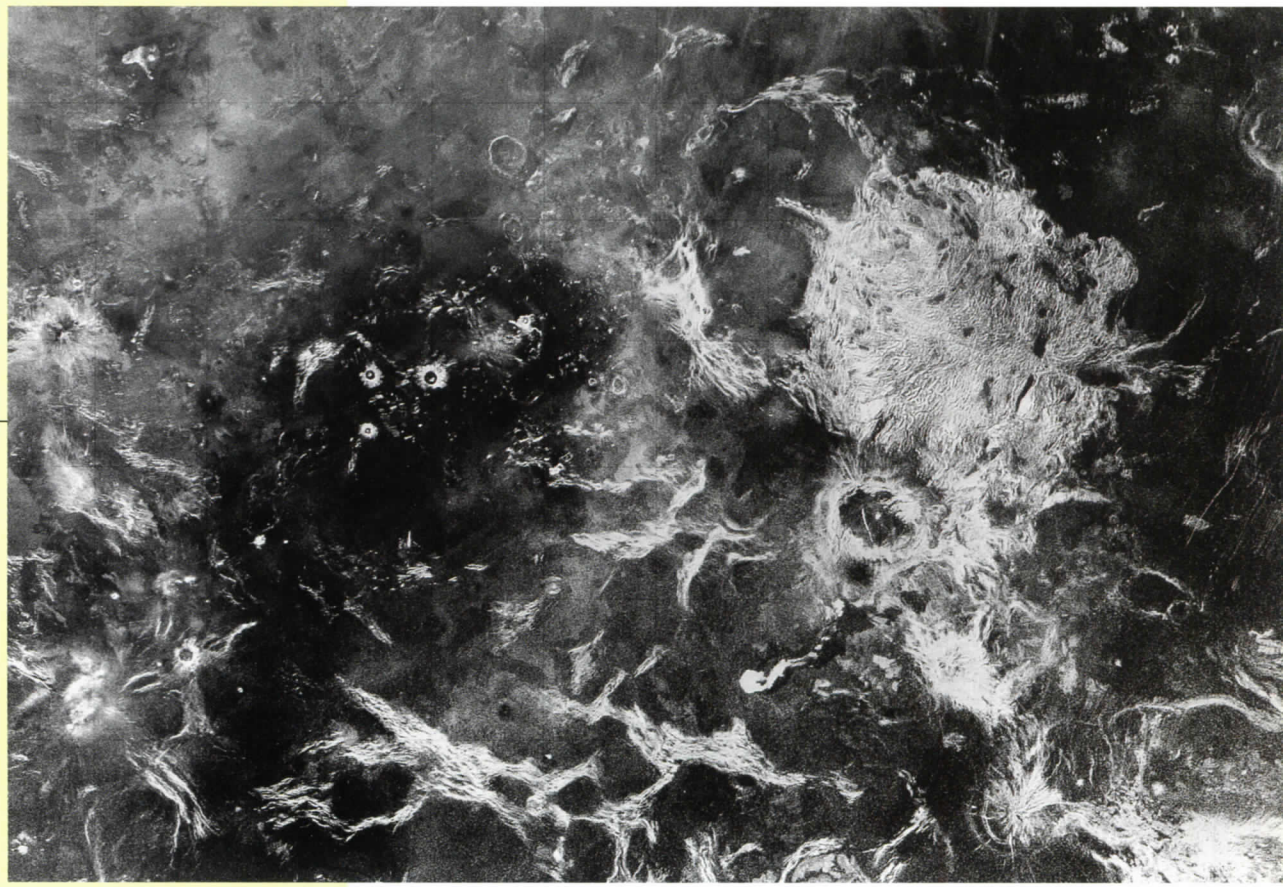
A moving energy source, such as a planet, star, or galaxy, performs in the same way, with light or radio waves. If a source moves away from us, the waves in each part of its spectrum are stretched out, so we detect waves with longer wavelengths and lower frequencies. For visible light, this pushes the color we see toward the red part of the spectrum. If a source approaches us, we detect waves with higher frequencies and shorter wavelengths, which corresponds to a blue shift in the color we see. The same behavior characterizes radio waves reflected from a moving object. We call the changed wavelengths redshifted and blueshifted even when referring to radio waves—it just means that we know that the source is moving away from us or moving towards us.

¿QUÉ ES UN DESPLAZAMIENTO DOPPLER?

Imagínese que está cerca de una estación de bombas y que uno de sus vehículos de emergencia ha comenzado a sonar la sirena porque está a punto de salir. Según se va acercando el vehículo hacia Ud., su oído percibe una mayor frecuencia de las ondas sonoras que cuando el vehículo estaba estacionado cerca de Ud. Así el tono del sonido parece más alto. Cuando el vehículo pasa de largo y se va alejando de Ud., la frecuencia del sonido es más baja que cuando el vehículo estaba estacionado; esto ocurre porque la fuente de las ondas sonoras se está alejando. Una onda sonora es una serie de valles y picos en la densidad del aire. Si Ud. se mueve hacia la fuente del sonido, el numero de valles y picos con que se encuentra por segundo (la frecuencia) es más alto que si Ud. se aleja de la fuente.

Una fuente móvil de energía, por ejemplo,un planeta, estrella o galaxia, se comporta de la misma manera, sólo que en vez de sonoras, se trata de ondas de luz o de radio. Si dicha fuente se aleja de nosotros, las ondas parecen expanderse, y nosotros detectamos longitudes de onda más largas y frecuencias más bajas. Cuando se trata de luz visible, este fenómeno "empuja" el color que vemos hacia la parte roja del espectro. Si la fuente se acerca a nosotros, podemos detectar ondas de frecuencias más altas y de longitudes de onda más cortas, lo cual corresponde a un cambio o desplazamiento hacia la parte azul del espectro. Este comportamiento lo exhiben también las ondas de radio que se reflejan desde un objeto en movimiento. Denominamos al fenómeno "desplazamiento hacia el azul" o "desplazamiento hacia el rojo" aún cuando se trata de ondas de radio—estos nombres indican si la fuente se está acercando de nosotros o se está alejando.

D. B. CAMPBELL, NAIC



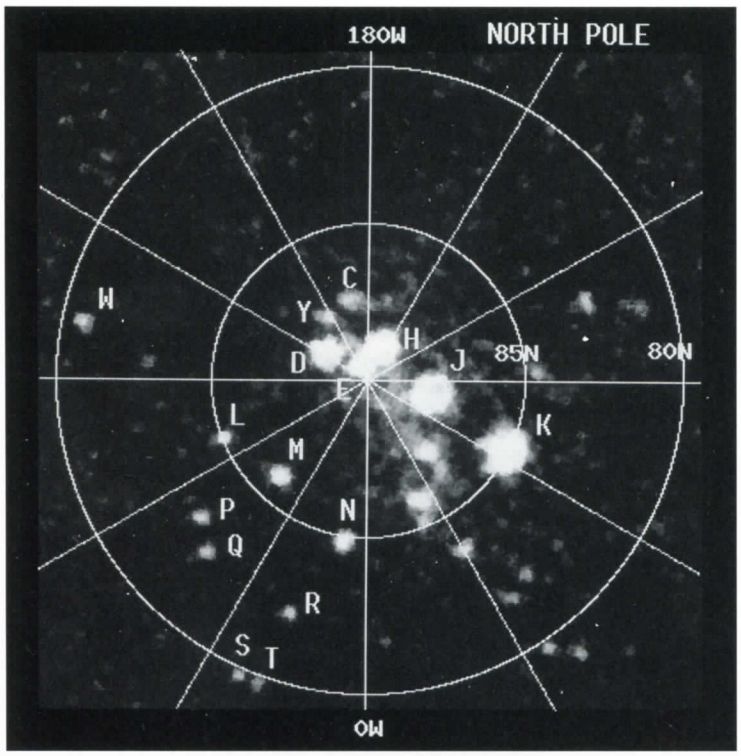
La superficie de Venus: Debido a la densa cobertura de nubes que envuelve a Venus, las ondas de radio son el único medio con que se cuenta para "ver" su superficie. Esta foto de radar, que abarca un área de 6,000 x 3,500 kilómetros (4,000 x 2,000 millas), se tomó en 1988 con el telescopio de Arecibo; es la mejor imagen (tomada por radar con base en la Tierra) obtenida hasta la fecha. Algunos detalles interesantes:

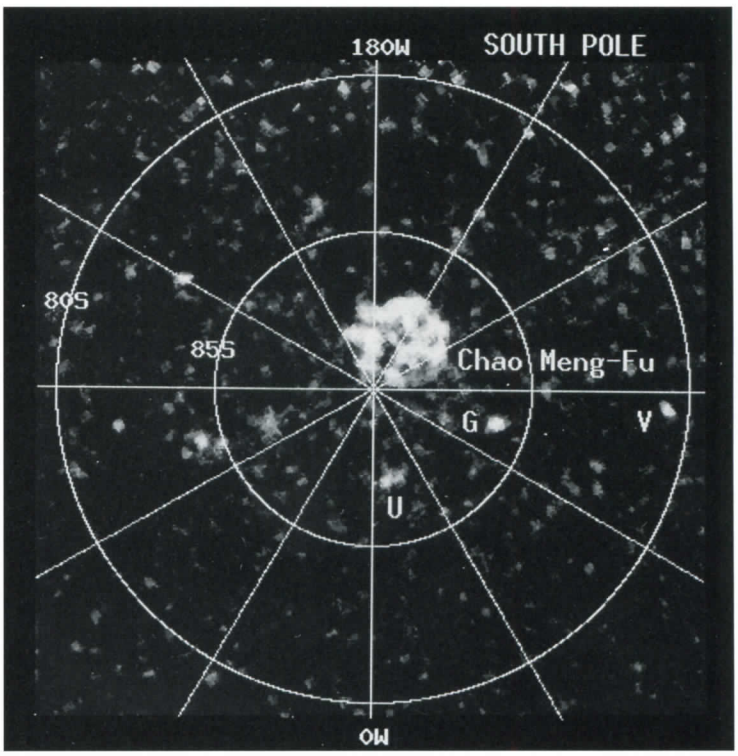
Los puntos brillantes que se extienden a lo largo del borde izquierdo de la imagen corresponden a los volcanes Ushas, Innini y Hathor Mons.

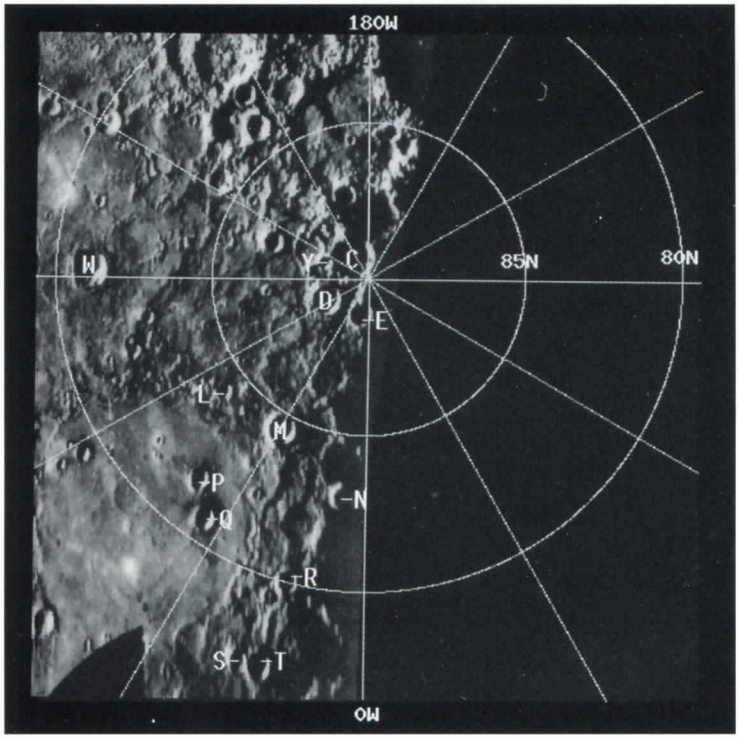
A la región de estos tres cráteres, que vemos en el área oscura hacia la izquierda del centro, se le conoce como "Finca de cráteres," por lo cerca que aquellos están entre sí.

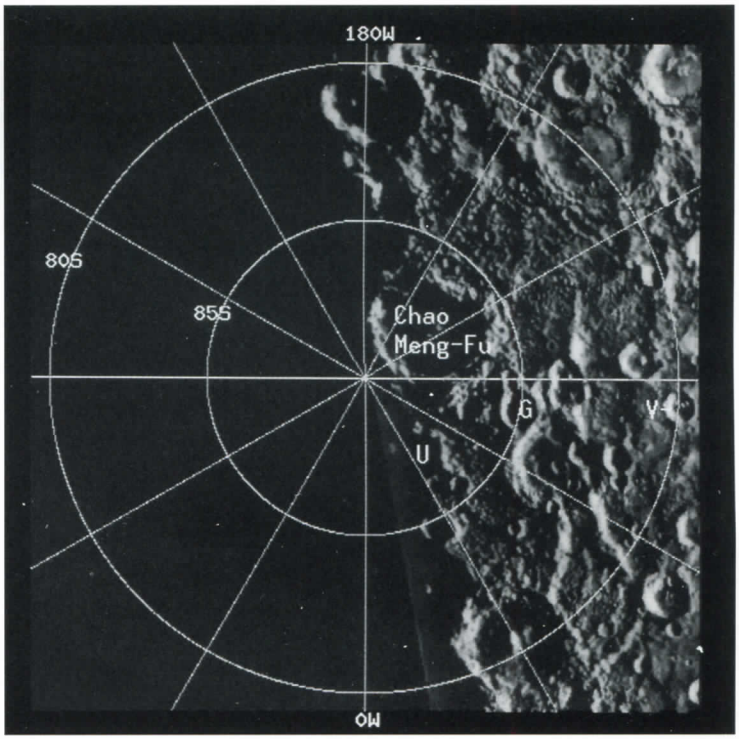
Alfa Regio, que produce ecos de radar muy fuertes, ocupa la mitad derecha de la figura junto con estructuras denominadas *coronae*, rasgos distintivos en forma de anillo. La corona más grande, en la parte inferior derecha, se llama Eva.

J. HARMON, NAIC









los planetas

What have we discovered about the planets?

■ Using the telescope's planetary radar capacities, we have been able to map our **Moon,** 380,000 kilometers (240,000 miles) away, **Venus,** 48 million kilometers (30 million miles) away, **Mars,** 65 million kilometers (40 million miles) from us, **Mercury,** 100 million kilometers (60 million miles) away, and even the rings of distant **Saturn,** 2 billion kilometers (1.3 billion miles) away. It takes almost 2-1/2 hours for the signal to travel to the Saturn system and return to Earth. The maximum radar range in the solar system is limited by signal travel time, not by sensitivity!

■ Before we could study the planet **Mercury** with radar waves, scientists thought that the planet was in "locked" rotation, always pointing the same hemisphere toward the Sun, just as our Moon always points only one face toward Earth. The very first radar experiments at Arecibo showed a much faster rotation rate: Mercury spins on its axis in 59 days, not in 88, as originally believed. Astronomers have also been able to determine that there is ice in Mercury's polar regions, in the bottoms of craters that are never illuminated by the Sun's light.

■ **Venus,** sometimes called "the veiled planet," is perpetually shrouded in dense clouds, making it impossible to study its surface with optical telescopes. But radar waves can penetrate Venus's cloud cover, and have allowed us to map large parts of the surface of Venus for the first time. Observations at Arecibo showed that Venus's rotation period is very slow, at 243 days, and the planet rotates in a direction opposite the direction of rotation of all the other planets except Uranus in our solar system.

■ Arecibo radar observations have added substantially to our knowledge about the surface of **Mars.** The depths of large craters and the heights of mountains on Mars are now known to an accuracy of about a hundred meters. Some of the Martian craters are several kilometers deep, and some of its mountains are far higher than Mount Everest.

Ice at the poles of Mercury: The upper figures are radar images of the north and south poles of Mercury, obtained from Arecibo observations. The bright spots are probably water ice deposits.

Comparison between these radar images and Mariner-10 photographs (lower figures) shows that many of the radar-bright spots coincide with craters. The north polar image consists of a score of small-to-medium-sized spots while the south pole is dominated by a large feature coinciding with the crater Chao Meng-Fu. The crater associations offer support for the ice theory; these permanently shaded crater floors are cold enough to sustain water ice for billions of years.

¿Qué se ha descubierto de los planetas?

■ Usando el telescopio de Arecibo como radar, hemos podido elaborar mapas de la **Luna**, que se encuentra a una distancia de 380,000 kilómetros (240,000 millas), de **Venus**, a 48 millones de kilómetros (30 millones de millas), de **Marte**, a 65 millones de kilómetros (40 millones de millas), de **Mercurio**, a 100 millones de kilómetros (60 millones de millas), y aún de los anillos del distante **Saturno**, a dos billones de kilómetros (1.3 billones de millas) de nuestro planeta. La señal tarda aproximadamente 2 horas y media en llegar a Saturno y regresar a la Tierra. El alcance máximo de radar en el sistema solar tiene como limitación el tiempo que tarda la señal en ir y venir, màs bien que la falta de sensitividad.

■ Antes de que pudiéramos estudiar con ondas de radio el planeta **Mercurio**, los científicos pensaban que éste tenía una rotación "vinculada," mostrando siempre el mismo hemisferio al sol, tal como nuestra Luna siempre muestra la misma faz a la Tierra. Los primeros experimentos que se llevaron a cabo en Arecibo observaron una mayor velocidad de rotación: Mercurio completa su rotación en 59 días y no en 88, como se creía originalmente. Los astrónomos han podido observar además que hay hielo en las regiones polares de Mercurio en el fondo de cráteres que no reciben luz solar.

■ **Venus,** llamado, a veces, el "planeta velado," está perpetuamente cubierto de nubes muy densas lo que imposibilita el estudio de su superficie con telescopios ópticos. Por suerte, las ondas de radar pueden penetrar dicha cubierta de nubes, permitiendo por primera vez la definición de mapas de gran parte de la superficie del planeta. Las observaciones que se han hecho en Arecibo demuestran que el período de rotación de Venus es muy lento, 243 días, y que el planeta rota en dirección opuesta a la dirección de rotación de todos los otros planetas de nuestro sistema solar, con la excepción de Urano.

■ Las observaciones realizadas en Arecibo han aportado mucho a nuestro conocimiento de la superficie de **Marte**. Con una precisión aproximada de 100 metros hoy conocemos la profundidad de los mayores cráteres y la altitud de las montañas de Marte. Algunos de los cráteres marcianos tienen una profundidad de varios kilómetros y sus montañas son mucho más altas que el Monte Everest.

Hielo en los polos de Mercurio: Las figuras superiores son imágenes de radar de los polos norte y sur del planeta Mercurio, tal como se han visto desde el Observatorio de Arecibo. Las manchas más brillantes probablemente son depósitos de agua congelada.

La comparación entre estas imágenes de radar y las fotografías del Mariner-10 (figuras inferiores) demuestran que muchos de los puntos brillantes en las imágenes de radar coinciden con cráteres de la superficie del planeta. La imagen del polo norte consiste en un conjunto de puntos o manchas de tamaño variable; en el polo sur, por otra parte, sobresale una gigantesca mancha que coincide con el cráter Chao Meng Fu. Estas observaciones ayudan a sostener la teoría del hielo; el fondo de estos cráteres siempre permanece en penumbras, y es lo suficientemente frío como para mantener el agua congelada por billones de años.

Radio Astronomy: Exploring the Universe

About three-quarters of the observing time at Arecibo Observatory is assigned to radio astronomy: receiving, detecting, amplifying, and recording electromagnetic radio signals produced by distant astronomical objects—pulsars; different types of stars; interstellar clouds in which new stars are forming; galaxies; and quasars.

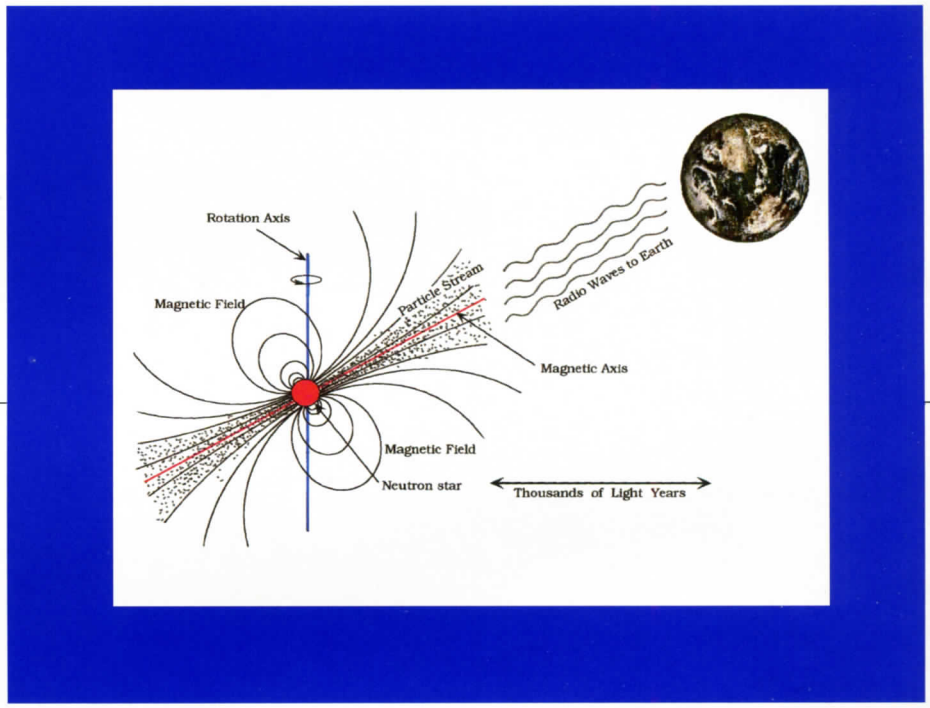
Pulsars: celestial lighthouse beacons

Among the most intriguing objects studied at Arecibo are pulsars, which were discovered in 1967 by astronomers at Cambridge University. Pulsars are rapidly rotating neutron stars that emit strong, pulsed radio waves for a portion of their lifetimes. Neutron stars form in violent supernova explosions that occur when the core of a massive star collapses after all its nuclear fuel has been consumed.

Pulsars have extremely strong magnetic fields. The weak magnetic field in a pulsar's parent star is strengthened enormously when it collapses to form a pulsar. The spinning magnetized pulsar is a generator of radio waves which are emitted from near the magnetic poles of the pulsar. When the beam sweeps past the Earth, we see a radio pulse.

Many of the known pulsars were first discovered at Arecibo and it is expected that far more will be discovered in the future. The first pulsar in a binary system was discovered at Arecibo by Russell Hulse and Joseph Taylor in 1974. Pulsars act as phenomenally

D. KAPLAN, CORNELL UNIVERSITY



Schematic diagram of a pulsar: The spherical object on the left is the neutron star, about 20 kilometers (12 miles) in diameter. The star is spinning about its rotation axis (oriented vertically), but the intense magnetic field is oriented at a slightly different angle, resulting in generation of intense radio emission as the star rotates.

Radioastronomía: La exploracion del universo

Se dedica aproximadamente el 75 por ciento del tiempo de observación en Arecibo a la radioastronomía: recibir, detectar, amplificar y grabar las señales de radio provenientes de objetos astronómicos distantes—distintos tipos de estrellas; nubes interestelares dentro de las que se forman nuevas estrellas; galaxias y cuásares.

Los púlsares: faros celestiales

Los púlsares son algunos de los cuerpos celestes más fascinantes que se estudian en Arecibo. Fueron descubiertos por astrónomos de la Universidad de Cambridge en 1967. Los púlsares son estrellas de neutrones que rotan muy rápidamente y emiten ondas de radio muy fuertes aunque sólo durante parte de sus vidas. Las estrellas de neutrones se forman como resultado de las violentas explosiones de supernovas que ocurren cuando el centro de una estrella de masa elevada se desintegra al agotársele el combustible nuclear.

Los púlsares tienen campos magnéticos sumamente fuertes. El débil campo magnético de la estrella madre se fortalece enormemente cuando la misma colapsa y se crea un púlsar. El púlsar rotante y magnetizado genera ondas de radio que se emiten desde muy cerca de sus polos magnéticos. Dicha radiación es emitida en un haz relativamente estrecho, como en el caso de un faro. Cuando el haz transita a través de la Tierra, detectamos un pulso.

Muchos de los púlsares conocidos se vieron por primera vez desde Arecibo y se espera descubrir muchos más en el futuro. El primer púlsar en un sistema binario fue descubierto por Russell Hulse y Joseph Taylor en 1974. Mientras giran, los púlsares se comportan como relojes sumamente precisos; el púlsar binario fue descubierto como resultado de cambios muy pequeños en el tiempo de llegada de los pulsos, producidos por el movimiento orbital del púlsar alrededor de otra estrella de neutrones. Estos dos cuerpos se traban en una "danza mortal," acercándose lentamente uno al otro mientras dan vueltas en sus órbitas; el inevitable choque ocurrirá en unos pocos cientos de millones de años. La danza de la muerte resulta del hecho que la aceleración de cuerpos de gran masa genera radiación gravitacional. La teoría de la relatividad de Einstein predijo este fenómeno, pero sus resultados nunca fueron observados hasta el descubrimiento de este púlsar. Taylor y Hulse recibieron el Premio Nóbel de física en 1993 por este descubrimiento.

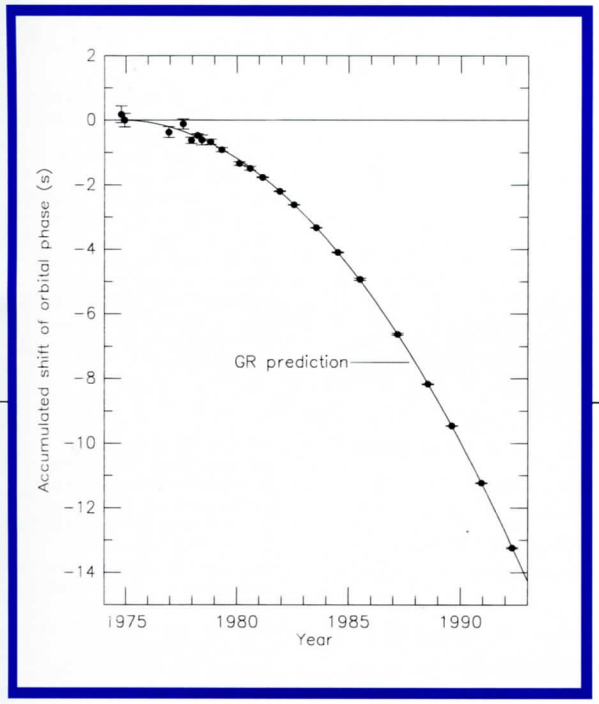
Otro famoso descubrimiento que se realizó en Arecibo está relacionado con el rápido púlsar B1257+12: se observó que tiene tres planetas en órbita a su alrededor, los primeros planetas de masa comparable a la de la Tierra que se han detectado fuera de nuestro sistema solar. Si se han formado planetas alrededor de un púlsar, es posible que se puedan formar también alrededor de otros tipos de estrellas.

Otros descubrimientos han demostrado que hay dos clases generales de púlsares. La primera está integrada por

Diagrama esquemático de un púlsar: El objeto esférico de la izquierda es una estrella de neutrones de aproximadamente 20 kilómetros (12 millas) de diámetro. La estrella aparece aquí girando sobre su eje de rotación (orientado en línea vertical) cuyo intenso campo magnético está orientado hacia un ángulo ligeramente diferente, lo que resulta en la producción de una gran cantidad de radioemisión, modulado por la rotación del astro.

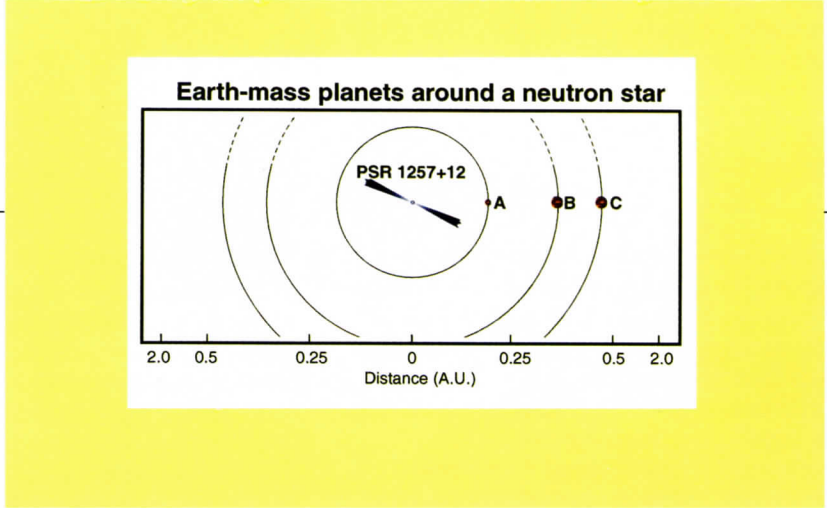
Orbital change in a binary pulsar: The figure shows the gradual change in the orbit of the first binary pulsar detected. The shift is due to gravitational radiation. The solid curve shows the prediction of Einstein's theory of general relativity, which fits the data perfectly!

J. TAYLOR, PRINCETON UNIVERSITY



Planets around a pulsar: Three planets orbit an old neutron star, the 6.2 millisecond pulsar PSR B1257+12. The planets' rotations take 25.3, 66.5, and 98.2 days.

ALEX WOLSZCZAN AND BRIAN CADWELL (PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY) AND WAYNE LYTLE (CORNELL THEORY CENTER)



Cambio de órbita en un púlsar binario: La figura muestra el cambio gradual que ha ocurrido en la órbita del primer púlsar binario, según se ha detectado hasta ahora. Este cambio se debe a la emisión de radiación gravitacional. La curva sólida representa la predicción de la teoría de la relatividad de Einstein que, como vemos, corresponde perfectamente a los datos obtenidos posteriormente.

Planetas alrededor de un púlsar: Tres planetas giran alrededor de una estrella de neutrones llamada púlsar PSR B1257+12. El período de rotatación de estos planetas es de 25.3, 66.5, y 98.2 días.

accurate clocks as they spin, and the binary pulsar was discovered as a result of small changes in the arrival times of pulses, due to the pulsar's orbital motion around another neutron star. These two objects are locked in a dance of death, slowly spiraling toward one another, toward an eventual collision that will occur in a few hundred million years. The dance of death results from the fact that the acceleration of massive objects generates gravitational radiation. This effect had been predicted by Einstein's general theory of relativity, but its results had never been observed prior to the discovery of this pulsar. Taylor and Hulse were awarded the 1993 Nobel Prize for physics for their discovery.

Another famous Arecibo discovery concerns the rapidly rotating pulsar B1257+12, which was found to have three planets in orbit around it, the first Earth-like planets ever detected outside the solar system. If planets can form around pulsars, they can probably form around many different kinds of stars.

Other discoveries show that there are two broad classes of pulsars. First, there are the relatively slowly rotating objects, with rotation periods of about 1 second, that move rapidly through the Milky Way, about 100 times faster than other stars. The rapid motion originates from off-center supernova explosions. Many pulsars (at least 25 percent) will escape the gravitational pull of the galaxy and enter intergalactic space. Pulsars in the second class of objects—millisecond pulsars—rotate very rapidly, several hundred times per second, yet they are moving through the galaxy relatively slowly compared to the first class, though faster than most stars. The millisecond pulsars seem to form under different circumstances than the rapidly moving population of pulsars.

Quasars: quasi-stellar radio sources

Quasars are extraordinary astronomical objects. Discovered in 1964, quasars are apparently the central regions of young galaxies, within which a tiny volume of matter releases an enormous amount of energy. A region no larger than the distance to the Earth's nearest stellar neighbor can emit 100 times the luminosity of an entire galaxy. Quasars are at enormous distances from the Earth, often beyond 90 percent of the radius of the observable universe. They are receding at speeds up to 95 percent of the speed of light. The radio energy that we are receiving from quasars has been traveling for more than 10 billion years!

Pulsar orbits in the galaxy: The figure shows computer simulations of the trajectories of neutron stars as they move relative to the stars on our galaxy, indicated by black dots. The slower pulsars (blue lines) move back and forth through the disk of the galaxy. Many of the faster ones (red lines) escape completely from the galaxy.

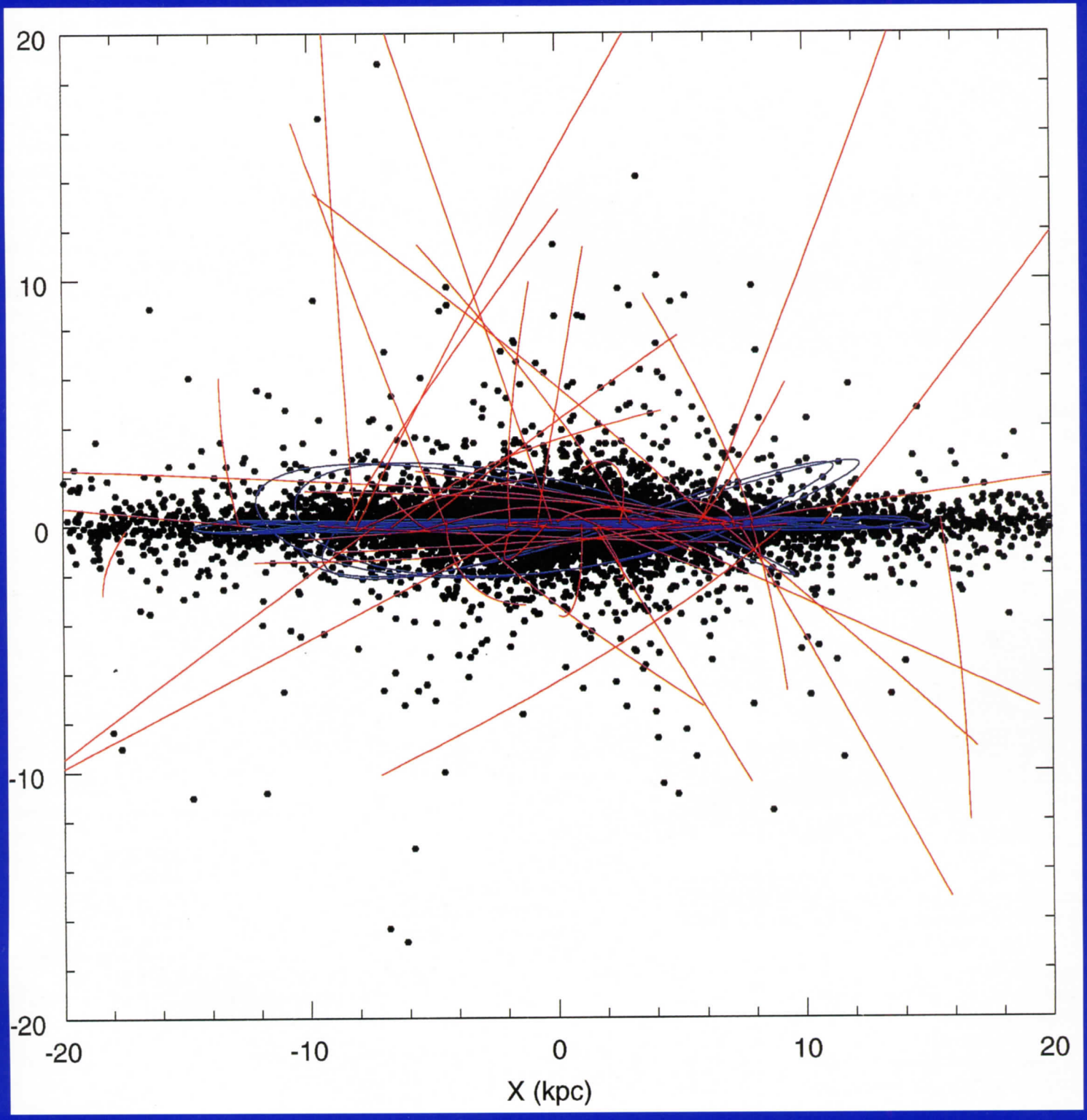
cuerpos de lento período de rotación, de un segundo aproximadamente, que se mueven velozmente a través de la Vía Láctea, hasta cien veces más rápidamente que otras estrellas. Esta translación rápida se origina en explosiones asimètricas de supernovas. Por lo menos el 25 por ciento de los púlsares logran evadir la fuerza gravitacional de la galaxia y escapar al espacio intergaláctico. Los púlsares que pertenecen a la segunda clase—púlsares de milisegundo—rotan a gran velocidad, cientos de veces por segundo, pero se mueven a través de la galaxia màs lentamente que los púlsares de la primera clase, aunque mucho más rápido que la mayoría de las estrellas. Según parece, los púlsares de milisegundo se forman bajo circunstancias diferentes a las de los otros púlsares.

Cuásares: Fuentes de radio cuasi estelares

Los cuásares (también, quásares) son cuerpos astronómicos extraordinarios, descubiertos en 1964. Los cuásares parecen ser las regiones centrales de galaxias jóvenes en el centro de las cuales un pequeño volumen de materia produce una enorme cantidad de energía. Una región que es apenas más grande que la distancia que hay entre la Tierra y su vecino estelar más cercano puede emitir 100 veces la luminosidad de una entera galaxia. Los cuásares se encuentran muy lejos de la Tierra, a veces más allá del 90 por ciento del radio del universo observable. Se alejan de nosotros a velocidades de hasta el 95 por ciento de la velocidad de la luz. Las señales de radio que recibimos de los cuásares han estado viajando hacia nosotros por más de 10 billones de años.

Órbitas de púlsares en la galaxia: Esta ilustración muestra una simulación computadorizada de las trayectorias de las estrellas de neutrones que se mueven en relación con las estrellas de nuestra galaxia (puntos negros en la imagen). Los púlsares más lentos (líneas azules) oscilan a través del disco de la galaxia. Muchos de los más rápidos (líneas rojas) evaden completamente la galaxia.

J. CORDES AND D. CHERNOFF, CORNELL UNIVERSITY



Galaxies and dark matter

Galaxies are enormous aggregations of stars, strewn through the deep reaches of the universe. In the late 1970s, observations made at Arecibo showed that galaxies are far more massive than previously thought, largely made of matter that cannot be seen directly, which only reveals itself by its effects on the motions of observable stars and gas. This constituent of the universe, which astronomers call "dark matter," is now thought to provide the bulk of all the matter in the cosmos.

Galaxies have been detected in the very early phases of their evolution, exhibiting extended gas haloes that may be the precursors of the disks of present-day galaxies such as the Milky Way.

In the 1980s, detailed maps were obtained of the three-dimensional distribution of galaxies, showing an intricate web of huge filamentary structures, which included thousands of galaxies and stretched over huge distances. These structures are thought to carry the imprint of "wrinkles" that arose in the very earliest phases of evolution of the universe.

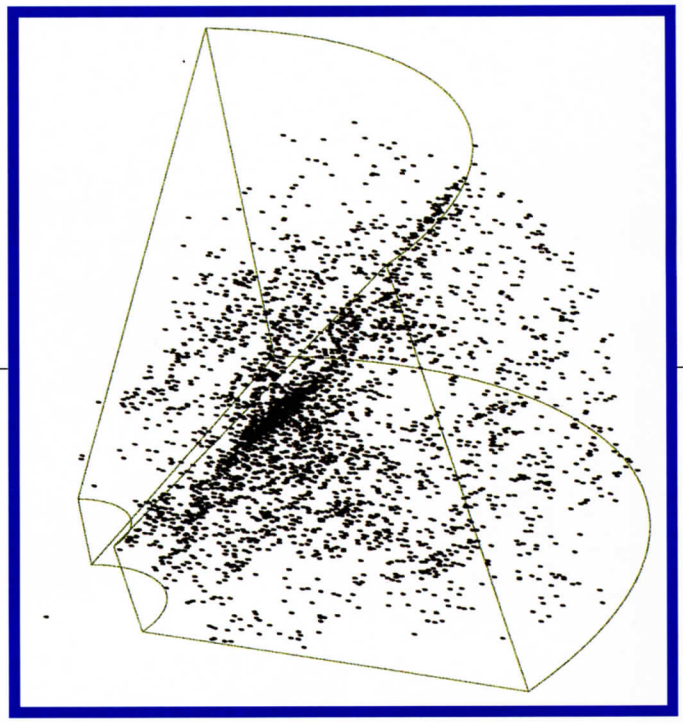
Chemistry lab in space

Another major area of research for scientists at the Arecibo Observatory is the study of atoms and molecules in space. With the upgraded telescope, astronomers can observe radio waves emitted by molecules at frequencies previously inaccessible.

Different types of molecules emit radio waves at a variety of different wavelengths. Using spectroscopy, observers can identify those types, which create a sort of interstellar chemistry laboratory. Included among the approximately one hundred molecular species found in interstellar clouds are alcohol, formaldehyde, and carbon monoxide. By studying molecules in space, astronomers have learned a great deal about chemistry at low temperatures.

The radiation emitted by different molecules in dense interstellar clouds can also provide important clues about what is going on in these regions that astronomers sometimes call "stellar nurseries," because they are the sites of the formation of new stars. Astronomers have charted these clouds of gas in the Milky Way and have also found similar clouds in other galaxies. In the future, they hope to use the Arecibo telescope to study how material begins its transformation from these diffuse, cold regions to the fiery furnaces of stars.

D. DALE, R. GIOVANELLI, AND M. HAYNES, CORNELL UNIVERSITY



Galaxies in space relative to the Sun, represented by the dot at the lower left corner of the figure. The scale of the figure is approximately 500 million light years.

Las galaxias y la materia oscura

Las galaxias son enormes conglomerados de estrellas, distribuídos a través del entero universo. Hacia finales de la década de los 70, ciertas observaciones realizadas en Arecibo demostraron que las galaxias son mucho más vastas de lo que se había creído hasta entonces. Están compuestas principalmente de materia que no se puede ver directamente y que se revela por medio de sus efectos en los movimientos de las estrellas y los gases interestelares. Se cree ahora que este componente cósmico, que los científicos llaman "materia oscura," constituye la mayor parte de toda la materia que hay en el universo.

Se han podido detectar galaxias en sus etapas evolutivas más tempranas exhibiendo halos extensos de gas que bien pueden ser los precursores de los discos que tienen hoy día las galaxias, como la Vía Láctea.

En la década de los 80, se pudieron obtener mapas de la distribución tridimensional de las galaxias en el espacio, los cuales mostraban enormes y complejas estructuras, parecidas a filamentos, cada una conteniendo miles de galaxias y extendiendose a través de enormes distancias. Se cree que estas estructuras son vestigios de fluctuaciones primordiales, especie de "arrugas" que se formaron durante las etapas más tempranas de la evolución del universo.

Laboratorio químico del espacio

Otra importante área de investigación de los científicos que trabajan aquí es el estudio de átomos y moléculas espaciales. Con el moderno telescopio de Arecibo, los astrónomos pueden observar las ondas de radio que emiten las moléculas, en frecuencias a las que antes no se tenía acceso.

Hay distintos tipos de moléculas que emiten ondas de radio de diferente longitud de onda. Por medio de la espectroscopía, los estudiosos pueden identificar la variedad de substancias que constituyen una especie de laboratorio químico interestelar. Se han detectado aproximadamente cien especies moleculares en las nubes interestelares, entre ellas las de alcohol, formaldehido y monóxido de carbono. Con el estudio de las moléculas espaciales, los astrónomos han aprendido muchísimo acerca de la química de bajas temperaturas.

La radiación que emiten las distintas moléculas de las densas nubes interestelares también provee indicios importantes sobre los procesos que tienen lugar en estas regiones, que los astrónomos llaman, a veces, "jardín de infancia estelar" ya que son los centros donde nacen y se forman las estrellas. Los astrónomos han estudiado estas nubes de gases en la Vía Láctea y tambièn han descubierto nubes similares en otras galaxias. En el futuro, ellos esperan poder usar el telescopio de Arecibo para estudiar cómo se transforma el material del que se componen estas difusas y frías regiones para convertirse en los ardientes hornos que son las estrellas.

Las galaxias en el espacio en relación con el sol (el punto en la esquina inferior izquierda de la figura). La escala de la figura es de aproximadamente 500 millones de años luz.

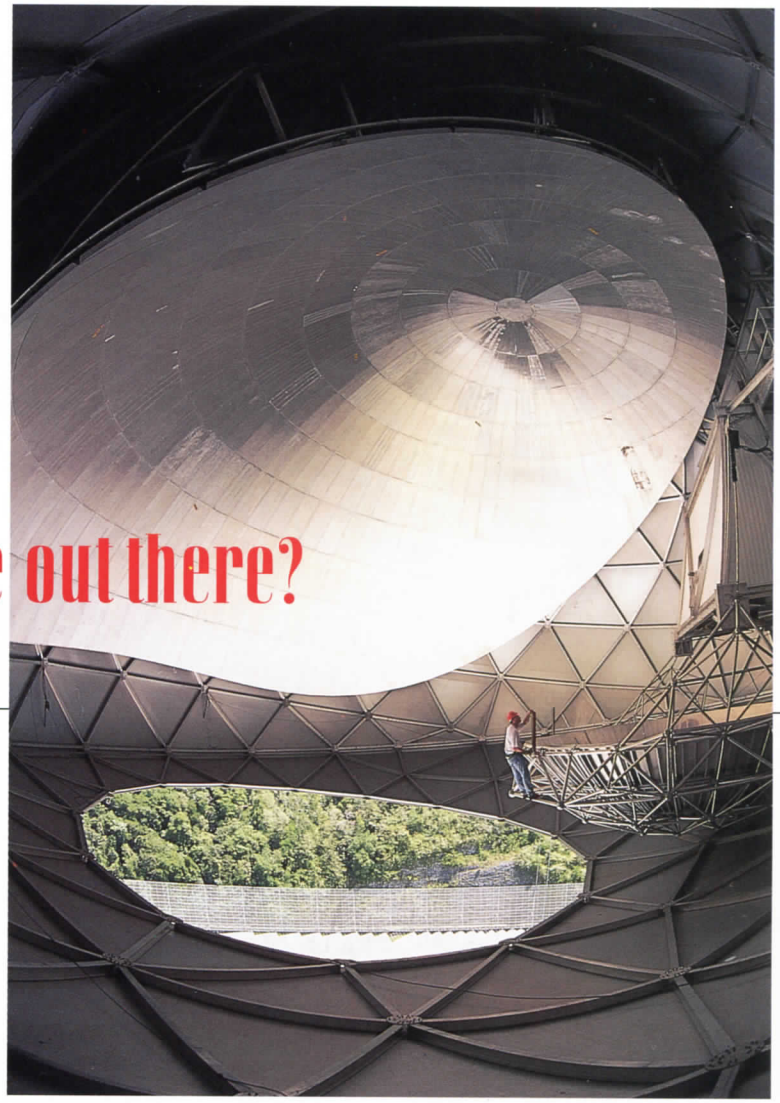
Is there intelligent life out there?

There are some 300 billion stars in the Milky Way galaxy alone. Some of these have planets, and it is possible that life has appeared and evolved on some of them. Some of those life forms may have reached or surpassed our level of understanding of natural phenomena. Is communication with any of those other worlds possible?

The Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI) is a collection of projects that aim to answer some of those questions. A major SETI program is now operated by the SETI Institute in California with private funds; other SETI programs are active at Harvard University and the University of California at Berkeley.

There have been some false alarms. When pulsars were first detected, for instance, the extreme regularity of their pulses appeared so unnatural that the discoverers suspected some kind of extraterrestrial intelligence and called the pulsing sources LGMs, for Little Green Men. Scientists are continuing to search for signals using techniques to distinguish "artificial" from "natural" signals. To date, there has been no detection of any signal attributable to extraterrestrial intelligence.

Inside the Gregorian enclosure: at the top, we see the secondary reflector, divided into panels. To the right, we see the tertiary reflector, suspended from the feed tower. A small segment of the main reflector and ground screen is visible through the opening in the enclosure.



Is there intelligent life out there?

¿Hay formas de vida inteligentes en el espacio?

Hay más de 300 billones de estrellas en la Vía Láctea. Algunas tienen planetas y es muy posible que haya vida en algunos de ellos. Algunas de esas formas de vida pueden haber alcanzado o superado nuestro nivel de comprensión de los fenómenos naturales. ¿Es posible que nos podamos comunicar con otros mundos?

El Centro de Investigación de Vida Extraterrestre (SETI, por sus siglas en inglés) consta de una serie de proyectos cuyo propósito es tratar de contestar algunas de estas preguntas. Uno de los principales programas de SETI recibe fondos privados bajo la administración del Instituto SETI de California; otros programas de SETI se encuentran en la Universidad de Harvard y la Universidad de California en Berkeley.

Han habido algunas falsas alarmas. Por ejemplo, cuando se detectaron los púlsares por primera vez la gran regularidad de sus pulsos parecía tan poco natural que sus descubridores pensaron que se trataba de alguna forma de vida extraterrestre; llamaron a las fuentes de estos impulsos LGMs (*Little Green Men*—Hombrecitos verdes). Se continúa buscando señales de vida aplicando técnicas que distinguen las señales "naturales" de las "artificiales." Hasta la fecha no se ha detectado ninguna señal de inteligencia extraterrestre.

Dentro de la cúpula del sistema Gregoriano: en la parte superior, vemos el reflector secundario y su división en paneles. A la derecha, vemos el reflector terciario, suspendido bajo la estructura que contiene los receptores. Un pequeño segmento del reflector principal y de la pantalla periférica se ve parcialmente a través de la apertura inferior de la cúpula.

de vida inteligentes en el espacio?

The Fundación Angel Ramos Visitor and Educational Facility

The hundreds of scientists from all over the world who travel to Arecibo each year to conduct research using the world's largest radio telescope are a small contingent compared to the number of visitors—from school children to senior citizens, from local scholars to tourists—who come to view the facility and to learn more about science and technology. More than 100,000 visitors each year are expected at the Fundación Angel Ramos Visitor and Educational Facility.

Designed by architect Luis Badillo of Puerto Rico and named for the publisher and philanthropist Angel Ramos, the facility provides guests with a wide-angle view of the 305-meter (1,000-foot) diameter radio telescope. The visitor center also houses a 100-seat multipurpose theatre, meeting rooms, and an extensive exhibit explaining, in English and Spanish, the work done at Arecibo in radio astronomy, radar astronomy, and atmospheric science. A viewing platform is located 60 meters (200 feet) above the main reflector's rim; here, visitors learn how the telescope works. The main rooms of the building house an exhibit titled "More Than Meets the Eye—Exploring the Invisible Universe," which reflects the idea that we can study the unseen sky with telescopes that extend our direct sensory experience.

In the theatre, a 15-minute presentation, "A Day in the Life of the Arecibo Observatory," tells the story of the people who make Arecibo possible. The theatre is also a venue for workshops and training in the sciences for educators. It is the locale for colloquia engaging the local academic community, as well as for international scientific meetings.

Visiting Hours

M, T: closed
W, Th, F: Noon–4:00 p.m.
Sat., Sun., holidays: 9:00 a.m.–4:00 p.m.

Student groups by appointment; call 787 878-2612

Arecibo Observatory's Fundación Angel Ramos Visitor and Educational Facility

Centro Educativo y Turistico "Fundación Angel Ramos"

Cada año, cientos de científicos vienen de distintos países a Arecibo para usar el radiotelescopio más grande del mundo en sus investigaciones. Aún así, se trata de un pequeño número de personas cuando se compara con la cantidad y variedad de visitantes—tanto niños de edad escolar como personas jubiladas; especialistas así como turistas—que vienen a ver esta estructura y a aprender más sobre la ciencia y la tecnología. Se espera más de 100,000 visitantes cada año en el Centro Educativo y Turístico "Fundación Angel Ramos."

Este centro, lleva el nombre del publicista y filántropo Angel Ramos, fue diseñado por el arquitecto puertorriqueño Luis Badillo. Las facilidades del centro brindan a sus visitantes una vista amplia de los 305 metros (1,000 pies) que mide el telescopio. Tiene, además, un teatro de usos múltiples que cuenta con 100 asientos, salones para reuniones y una exhibición muy completa que explica, en español y en inglés, los trabajos que se llevan a cabo en Arecibo en los campos de la radioastronomía, la astronomía de radar y las ciencias atmosféricas. Desde una plataforma construida a 60 metros (200 pies) por encima del borde del reflector principal, el visitante puede disfrutar de la impresionante vista a la vez que aprender más sobre el funcionamiento del telescopio. Las salas principales del edificio albergan una exhibición titulada "Más allá de lo que ven nuestros ojos: La exploración del universo invisible," la cual recalca la idea de que podemos estudiar lo oculto del universo con la ayuda de los telescopios que amplían nuestra experiencia sensorial.

En el teatro vemos una presentación de 15 minutos titulada "Un día en la vida del Observatorio de Arecibo" que cuenta la vida de las personas que trabajan en el observatorio. El teatro también se usa para ofrecerles a maestros y profesores talleres de adiestramiento en las ciencias. Aquí se da cita la comunidad académica y se llevan a cabo reuniones de asociaciones científicas internacionales.

Horario de Visitas

L, M: cerrado
M, J, V: Medio dia–4:00 p.m.
S, D, feriados: 9:00 a.m.–4:00 p.m.

Groupos escolares por acuerdo llamando al 787 878-2612

Centro Educativo y Turístico "Fundación Angel Ramos"

Suggested Reading

The Astronomers, by D. Goldsmith (St. Martins Press, New York, 1991)

Cosmos, by C. Sagan (Random House, New York, 1980)

Pale Blue Dot, by C. Sagan (Random House, New York, 1994)

The Invisible Universe Revealed: The Story of Radio Astronomy, by G. L. Verschuur (Springer-Verlag, New York, 1987)

Frozen Star: Pulsars, Black Holes, and the Fate of Stars, by G. Greenstein (New American Library, New York, 1983)

Mysteries of the Milky Way, by D. Goldsmith and N. Cohen (Contemporary Books, Chicago, 1991)

An Introduction to Radio Astronomy, by B. F. Burke and F. Graham-Smith (Cambridge University Press, Cambridge, 1997)

A Field Guide to the Atmosphere, by V. J. Schaefer and J. A. Day (Houghton Mifflin, Boston, 1981)

1001 Questions Answered about the Weather, by F. H. Forrester (Dodd, Mead, New York, 1957)

Lecturas sugeridas

El Descubrimiento del Universo, por S. Hacyan (Fondo de Cultura Económica, México, 1986)

Cómo acercarse a la Astronomía, por J. Fierro (Limusa, México, 1991)

Los Mundos Cercanos, por Dra. J. Fierro (McGraw-Hill, México, 1997)

Arecibo Observatory is operated by Cornell University under a cooperative agreement with the National Science Foundation. Additional support is provided by the National Aeronautics and Space Administration. For more information, contact:

National Astronomy and Ionosphere Center
Cornell University
504 Space Sciences Building
Ithaca, NY 14853-6801

Telephone: 607 255-3735

Arecibo Observatory
P.O. Box 995
Arecibo, PR 00613

Telephone: 787 878-2612

Web address: *http://naic.edu*

***Cover*: Arecibo Observatory, showing the Gregorian reflector system, suspended by steel cables from three towers, 137 meters (450 feet) above the main reflector dish.**

Printed on recycled paper.

Produced by Office of Communication Strategies and Office of Publications Services. Chief writer: Peggy Haine; editor: Pat Leary; designer: Sally Dutko; translator: Nilsa Maldonado Mendez.

Photographs: cover, pages 1 and 27 by David Parker/Science Photo Library; pages 9 (right) and 28 by Tony Acevedo, Arecibo Observatory; page 14, by Paul Goldsmith, NAIC; pages 4, 7, 8, and 9 (left) by Charles Harrington, Cornell University Photography.

697 50M BP

La Universidad de Cornell administra el Observatorio de Arecibo bajo un convenio cooperativo con la Fundación Nacional de Ciencias (NSF). Cuenta, además, con el auspicio de la Administración Nacional de Aeronáutica y Estudios del Espacio (NASA). Si desea obtener más información, puede comunicarse con las siguientes entidades:

National Astronomy and Ionosphere Center
Cornell University
504 Space Sciences Building
Ithaca, NY 14853-6801

Teléfono: 607 255-3735

Observatorio de Arecibo
P.O. Box 995
Arecibo, PR 00613

Teléfono: 787 878-2612

Web: *http://naic.edu*

***Tapa*: El telescopio del Observatorio de Arecibo, mostrando la cúpula que contiene el sistema reflector Gregoriano suspendido por cables de acero de tres torres, a 137 metros (450 pies) de altitud sobre el reflector principal.**

Impreso en papel reciclado.

Producido por Office of Communication Strategies y Office of Publications Services. Autora principal: Peggy Haine; editora: Pat Leary; diseñadora: Sally Dutko; traductora: Nilsa Maldonado Mendez.

Fotografías: tapa, páginas 1 y 27 por David Parker/Science Photo Library; páginas 9 (derecho) y 28 por Tony Acevedo, Observatorio de Arecibo; página 14, por Paul Goldsmith, NAIC; páginas 4, 7, 8, y 9 (izquierdo) por Charles Harrington, Cornell University Photography.