

Deborah Dultzin



# Nuevos **ojos** para ver la **luz del cielo**



“Los hombres son como los astros:  
unos brillan con luz propia y otros con la que reciben.”

JOSÉ MARTÍ

La astronomía es la ciencia de la luz por excelencia y los astrónomos somos excelentes detectives, pues para deducir todo lo que sabemos del cosmos, sólo tenemos una pista: la luz. En los más de 400 años transcurridos desde que Galileo apuntó por primera vez su telescopio al cielo, y notablemente en la segunda mitad del siglo XX, los astrónomos hemos usado y desarrollado avances enormes en las capacidades de coleccionar, almacenar y analizar la luz del cielo. Aquí hacemos una breve, seguramente sesgada (por ejemplo, no incluimos el estudio del Sistema Solar) y necesariamente incompleta, descripción de estos avances.

### Ojos para ver

**G**alileo fabricó su telescopio con un sistema de lentes (por eso este tipo de instrumento se llama refractor) y registraba sus observaciones mediante dibujos comentados. Newton inventó en 1688 el telescopio reflector (con espejos en lugar de lentes para enfocar la luz y formar imágenes), lo que constituyó un importante avance para los instrumentos de la época. En ese entonces los espejos se hacían de metal, y no fue sino hasta que se logró fabricar espejos con vidrio plateado que las cosas cambiaron y los telescopios reflectores se volvieron prácticos. Dio inicio una competencia contra los refractores y se fueron construyendo telescopios cada vez más grandes de los dos tipos. El refractor más grande terminó siendo el del Observatorio de Yerkes (Wisconsin), construido a fines del siglo XIX, con poco más de un metro de diámetro de apertura (lo que



determina su capacidad de coleccionar luz). A partir de entonces, los telescopios reflectores fueron los que dominaron la competencia.

Durante casi tres décadas (de 1948 a 1976), el telescopio óptico más potente del mundo, con un espejo primario de 5 m de diámetro, fue el telescopio Hale, situado en el Observatorio de Monte Palomar (California). En 1928 el astrónomo George Hale convenció al director de lo que es hoy la Fundación Rockefeller de donar seis millones de dólares para un telescopio gigante, aunque conseguir el dinero resultó más fácil que construir el telescopio. En pulir el espejo tardaron 11 años y sólo mover un espejo de 500 toneladas para apuntar con la precisión requerida en astronomía es toda una proeza. Durante los años de la Gran Depresión, la gente compraba boletos para ver a los técnicos pulir y montar el espejo.

En 1975 vio por primera vez la luz el BAT (del ruso *Bolshoi Azimutal Telescop*), un telescopio de 6 m de diámetro de la Academia de Ciencias Rusa situado en las montañas del Cáucaso. Desafortunadamente, la turbulencia atmosférica en ese lugar generalmente es muy alta. Las imágenes se distorsionan cuando la luz atraviesa la atmósfera. Ésta es una de las razones por las que la elección del sitio para un observatorio óptico es crucial.

Por ejemplo, en el hemisferio norte hay dos sitios privilegiados para hacer observaciones astronómicas



en el espectro de la luz visible y el cercano infrarrojo: la sierra de San Pedro Mártir en Baja California y el volcán Mauna Kea en Hawái. (Más adelante regresaremos al tema del sitio mexicano.) Asimismo, La Palma, en la islas Canarias, también es un buen lugar. Por lo que respecta al hemisferio sur, destacan las montañas cercanas al desierto de Atacama en Chile.

Las dificultades para construir y mover espejos macizos de mayor tamaño forzaron a desarrollar otras tecnologías para la fabricación de espejos ligeros. Hoy existen muchos telescopios con espejos primarios de más de 7 m de diámetro, y se planean los de nueva generación con más de 30 m. Su construcción incorpora nuevas tecnologías en la fabricación de espejos ligeros y espejos segmentados.

El primer telescopio de este último tipo fue el Keck I, situado cerca de la cima del volcán inactivo Mauna Kea en Hawái, a 4205 msnm (metros sobre el nivel del mar). Tiene un espejo de 10 m de diámetro que consta de 36 segmentos. Este telescopio se planeó para ser el primero en funcionar conjuntamente con su gemelo, el Keck II. Como “dúo” vieron la primera luz en 1996. El costo total fue de alrededor de 140 millones de dólares, aportados por la fundación filantrópica para la ciencia W. M. Keck.

Pero también hay telescopios con grandes espejos monolíticos. Entre ellos destacan el japonés Subaru (8.2 m), en Hawái, y los Gemini, dos telescopios iguales, uno en el sur (Chile) y el otro en el norte (Hawái), con espejos de 8.1 metros.

El telescopio óptico-infrarrojo más grande del mundo es el Gran Telescopio de Canarias (GTC), con un espejo segmentado de 10.4 m. Se encuentra en la isla de La Palma, que como dijimos es un sitio excelente para la observación. En este telescopio español participan la Universidad de Florida y México, a través del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE).

Además de la apertura y la calidad del sitio donde se ubica, la instrumentación que tiene un telescopio es muy importante. El GTC cuenta con instrumentos que ofrecen más y mejores posibilidades de observación. El primer instrumento en funcionar fue OSIRIS (acrónimo de *Optical System for Imaging and low-Intermediate-Reso-*

lution Integrated Spectroscopy), una cámara y espectrógrafo de resolución baja e intermedia, que opera en el rango visible de la luz. Su diseño óptico se hizo en México, lo mismo que la construcción de su cámara. Entre los instrumentos de la segunda generación estará FRIDA (*inFRared Imager and Dissector for Adaptive optics*), una cámara espectrógrafo para el infrarrojo cercano, que aprovechará el haz corregido por un sistema de óptica adaptativa (véase el recuadro). Este instrumento incorpora una gran cantidad de tecnología de punta en ingeniería electrónica, criogenia, óptica y técnicas de reconstrucción de imagen, entre otras. Actualmente está siendo desarrollado por un equipo de expertos de México, España y Estados Unidos, que es dirigido por el Instituto de Astronomía de la UNAM.

Por su parte, el conjunto del Telescopio Muy Grande (*Very Large Telescope*, VLT) es la joya de la astronomía terrestre europea. Consta de cuatro telescopios

con espejo primario de 8.2 m cada uno, más cuatro telescopios auxiliares móviles de 1.8 m. Los telescopios pueden funcionar conjuntamente para formar un interferómetro gigante llamado VLTI (la *I* de *interferometer*).

La interferometría consiste en combinar la luz proveniente de diferentes telescopios o antenas de radio para obtener una imagen de mayor resolución. En radioastronomía —que más adelante revisaremos— se emplea desde la década de 1970 para bajas frecuencias, y recientemente se empezó a usar para ondas milimétricas y en el infrarrojo cercano (alrededor de 2 micras). En el rango óptico no se ha logrado su implementación.

En el caso del VLTI, los haces de luz se combinan mediante un complejo sistema de espejos situados en túneles subterráneos donde las trayectorias de luz deben mantenerse iguales, y se alinean con una precisión de 1/1000 mm en distancias de unos 100 m. Con este

## Óptica activa y óptica adaptativa

Algunas observaciones requieren de seguir un objeto en el cielo por varias horas. Este movimiento, a pesar de todas las precauciones de ingeniería, causa pequeñas pero constantes deformaciones en la estructura que soporta el peso del espejo primario de un telescopio, lo que provoca una deformación de su superficie. Sin una corrección continua, la observación con grandes espejos (y no sólo los segmentados) sería imposible. En el caso de los telescopios gemelos Keck, por ejemplo, la curvatura del espejo se mantiene estable mediante un sistema de sensores y actuadores coordinados por computadoras que ajustan la posición de cada segmento —con respecto a la de sus vecinos— con una precisión de cuatro nanómetros: aproximadamente 1/25000 del diámetro de un cabello humano. Este ajuste se hace dos veces por segundo.

Por su parte, la óptica adaptativa se usa para contrarrestar la distorsión debida a la atmósfera. El telescopio Keck II fue el primero en contar con un sistema de óptica adaptativa que usa una estrella guía artificial. Para ello se desarrolló un láser que excita átomos de sodio en la alta atmósfera (a unos 90 km de altura). Al apuntarlo hacia el objeto en observación, crea una “estrella guía” artificial muy próxima

al objeto. Esta estrella artificial se usa para medir la distorsión atmosférica en la dirección de ese objeto. El corazón del sistema para corregir la distorsión consta de un pequeño espejo, de unos 5 cm de diámetro, que puede cambiar su forma hasta 2000 veces por segundo. Gracias a esta técnica, en 2004 el observatorio Keck produjo por primera vez imágenes más nítidas que las del Telescopio Espacial Hubble. Pero (siempre hay un pero...) el problema por ahora es que la óptica adaptativa no se puede usar más que para observar campos muy pequeñitos en el cielo.

Existen otras técnicas para obtener imágenes con mayor nitidez de lo que impone el límite atmosférico, pero todas tienen sus peros. Para evitar totalmente la atmósfera, la única alternativa, por ahora, son los telescopios espaciales. El Telescopio Espacial Hubble fue puesto en órbita en 1990, gracias a un proyecto conjunto de la NASA y la Agencia Espacial Europea (ESA). Tiene un espejo primario de 2.4 m y las imágenes que produce son espectaculares. Además, este telescopio nos ha permitido estudiar la parte ultravioleta de la luz que no llega a la Tierra. Actualmente está en construcción el segundo telescopio espacial, con un espejo de 6.5 m y optimizado para el infrarrojo. El plan es ponerlo en órbita para 2018.



Una de las cuatro unidades de telescopio que conforman el telescopio VLT de ESO (Very Large Telescope). Crédito: ESO/Y. Beletsky.

tipo de precisión, el VLT puede reconstruir imágenes con una resolución angular de milisegundos de arco, lo que equivaldría a distinguir los dos faros de un vehículo a una distancia similar a la que separa a la Tierra de la Luna.

Además de telescopios cada vez mayores, otros avances hicieron que la astronomía diese un vuelco en el siglo XX. Como mencionamos al principio, Galileo registraba sus observaciones en un cuaderno haciendo dibujos comentados; pero después del registro a mano, vino la placa fotográfica. Su introducción fue una de las primeras revoluciones en la astronomía. Numerosos descubrimientos se realizaron gracias a su durabilidad y estabilidad.

La siguiente revolución, en lo que a detectores se refiere, fue la introducción del detector de estado sólido

CCD (*Charge Coupled Device*) o dispositivo de carga acoplada. Tiene varias ventajas sobre las placas de vidrio que soportan la película fotográfica: es más eficiente, su respuesta a la intensidad de la luz es lineal y la información se puede manipular digitalmente. Sin embargo, todavía los mayores formatos de CCD usados en astronomía, por ejemplo, de  $8192 \times 8192$  píxeles, no tienen el área de detección y resolución de las placas fotográficas, lo que ha obligado a que las cámaras modernas utilicen conjuntos de chips CCD. Este tipo de cámaras también se usa en los mayores telescopios del mundo combinadas con otras técnicas que hacen posible la “astronomía en 3D”.

Entre los proyectos más ambiciosos de futuros telescopios óptico-infrarrojos destacan tres:

- El Telescopio Gigante de Magallanes (GMT, por sus siglas en inglés *Giant Magellan Telescope*), planeado para el 2020, es el más avanzado en su desarrollo. El espejo primario se compondrá de siete segmentos de 8.4 m de diámetro y una superficie efectiva colectora de luz de 22 m. El mayor desafío es que los seis segmentos exteriores estarán fuera de eje, lo que exige una modificación habitual del pulido y constantes procedimientos de prueba. Estará ubicado en el Observatorio Las Campanas, en los Andes chilenos.
- El Telescopio de Treinta Metros (TMT, por sus siglas en inglés *Thirty Meter Telescope*) es un gran telescopio de espejo segmentado, propuesto para ser instalado en el volcán Mauna Kea. Su construcción fue aprobada por el Comité de la Tierra y Recursos Naturales del estado de Hawái en 2013. Sin embargo, recientemente se han presentado problemas; entre ellos, protestas por motivos ecológicos y rituales de los pobladores originarios del sitio. La corte suprema de Hawái revocó la autorización de construcción en 2015, por lo que el consorcio del TMT está iniciando un nuevo proceso de permiso. De ser éste exitoso, se podría iniciar la construcción en 2017 en Hawái. El plan B incluye varios sitios alternativos; entre ellos, San Pedro Mártir.
- Los europeos que se han asociado en el observatorio ESO (*European Southern Observatory*), ubicado en el desierto de Atacama, planeaban desarrollar un te-

lescopio con un espejo de 100 m (el OWL, *Overwhelmingly Large Telescope*), pero debido a los costos abandonaron la idea y se volcaron al E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), de 30.9 m. La primera luz de éste se calcula para 2024.

### Ojos en San Pedro Mártir

Mencionamos anteriormente que uno de los sitios más privilegiados para las observaciones óptico-infrarrojas en el hemisferio norte es donde se ubica el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir (OAN-SPM), el cual es operado por el Instituto de Astronomía de la UNAM.

El punto más alto de este observatorio se encuentra a 2 830 msnm, en la sierra del mismo nombre, en el estado de Baja California. Actualmente cuenta con tres telescopios cuyos diámetros son: 2.1 m (el único en su tipo al que se adaptó un sistema de óptica activa), 1.5 m (con una cámara excelente para el infrarrojo) y 0.84 m (equipado, entre otros instrumentos, con un polarímetro/espectropolarímetro).

La sierra de San Pedro Mártir es un sitio privilegiado para la astronomía por varias razones: el número de noches despejadas, las muy bajas concentraciones de vapor de agua (mientras más seco, es más transparente al infrarrojo) y, sobre todo, su oscuridad. En 2006 se publicó en el *Diario Oficial* de Baja California la “ley del cielo”, aprobada por el cabildo de la ciudad de Ensenada. Esta ley regula el alumbrado en el municipio de Ensenada, con el fin de contrarrestar la contaminación lumínica que interfiere con las observaciones astronómicas, y en 2011 entró en vigor también para Mexicali.

La energía eléctrica en el OAN-SPM es generada *in situ* con plantas diésel, y la conexión al exterior es por una antena de microondas con capacidad de 8 Mbps. El observatorio se encuentra a unos 250 km de Ensenada y hasta hace relativamente poco, 100 km del trayecto eran de terracería.

La falta de inversión en infraestructura del sitio ha sido un problema para desarrollarlo. Para ilustrar, baste comparar con los otros tres sitios de primer nivel internacional: Hawái, Canarias y el norte de Chile. En éstos, la inversión alcanza los 6 000 millones de dólares en promedio, mientras que en OAN-SPM llega a 30 mi-

llones de dólares (un factor de 200). Afortunadamente, en 2012 se firmó un convenio entre la UNAM y la Comisión Federal de Electricidad para cofinanciar el tendido de cables de alta tensión y de fibra óptica; y con la liberación de los derechos de vía y la autorización de la Secretaría de Medio Ambiente, la de Comunicaciones y Transportes, y el Instituto Nacional de Antropología e Historia, la construcción del tramo subterráneo inició en marzo de 2015. Ello dotará al OAN-SPM de infraestructura de servicio de nivel mundial, comparable o superior a lo que ofrecen otros de los mejores sitios en el mundo.

Así las cosas, de hecho ya se han puesto en marcha varios proyectos de colaboración internacional para desarrollar el observatorio. Entre otros, el proyecto de un telescopio de 6.5 m de diámetro optimizado en el infrarrojo. Ésta es una colaboración entre el *Smithsonian Astrophysical Observatory*, la Universidad de Arizona, el INAOE, la UNAM y otras instituciones mexicanas. El tejo del espejo primario ya fue adquirido y fundido en el *Mirror Lab* de la Universidad de Arizona y será pulido ahí mismo.

También, a finales de 2015, en las instalaciones del OAN-SPM, se inauguró el telescopio BOOTES-5 (*Burst Observer and Optical Transient Explorer System*). Este nuevo telescopio robótico de 60 cm tiene como proyecto clave el seguimiento en el óptico de contrapartes de destellos de rayos gamma, y cuenta con una montura moderna muy rápida para responder a las alertas generadas por satélites. Es el quinto telescopio de una red global, con los primeros cuatro ubicados en España (dos), Nueva Zelanda y China.

### Ojos para oír

Vemos el mundo que nos rodea con ojos que perciben el rango de rojo a violeta del espectro, con sensibilidad máxima al amarillo (¿será que evolucionamos así por ser el Sol una estrella amarilla?). Pero los objetos del cosmos emiten radiación en todo el espectro electromagnético. Para captar la energía no visible que llega a la atmósfera, los primeros avances se lograron, curiosamente, en especial en países donde la mayor parte del tiempo está nublado, como el Reino Unido. Ahí surgió primero la radioastronomía, con la que, desde



la década de 1950, hemos descubierto fenómenos que han revolucionado nuestro conocimiento del cosmos, como los cuásares.

La mayoría de los radiotelescopios utiliza una antena parabólica para amplificar las ondas de radio que penetran la atmósfera. La dificultad para tener buena resolución espacial con una sola antena llevó al desarrollo de la radiointerferometría.

El Gran Telescopio Milimétrico (GTM) es un radiotelescopio que está optimizado dentro de la región espectral de las microondas, es decir, a frecuencias muy altas, entre 75 y 300 GHz, que en longitud de onda equivale a entre 1 y 4 mm. Está situado en el volcán Tliltépetl o Sierra Negra de Puebla, dentro del Parque Nacional Pico de Orizaba, a 4 581 msnm. Consiste en una antena parabólica ubicada sobre una estructura de acero que se mueve con una precisión de relojería suiza. La antena está planeada para operar con 50 m de diámetro; actualmente se está usando la parte interior de 32 m, que tiene 84 segmentos individuales. Se necesita alinear cada segmento con los otros para crear la forma de una parábola perfecta con un margen de error de 75 micras en las deformaciones de la superficie. Cuando se coloquen los segmentos de los anillos exteriores, el GTM será la antena más grande del mundo en su rango de frecuencia. Este proyecto, hoy hecho realidad, fue concebido hace más de 15 años por científicos del

INAOE y de la Universidad de Massachusetts. En 2006 el GTM vio su primera luz en la banda centimétrica, y la primera luz en la banda milimétrica se logró en junio de 2011. En la primavera de 2013 se lanzó la primera convocatoria a todos los astrónomos en México y a los socios de la Universidad de Massachusetts para presentar proyectos de investigación con el GTM. El telescopio desarrolla investigación pionera y permitirá formar nuevas generaciones de científicos.

El ALMA (*Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*) es el mayor proyecto astronómico del mundo y fue construido por una asociación entre Europa, Norteamérica y Asia del Este, en colaboración con la República de Chile. Se trata de un interferómetro que comprende un conjunto de 66 antenas de 7 m y 12 m de diámetro, destinadas a observar longitudes de onda milimétricas y submilimétricas (0.3 a 9.6 mm). ALMA está situado en el desierto de Atacama, en la zona norte de Chile. Con un costo de más de 1 000 millones de euros, es el mayor y más caro radiotelescopio terrestre construido.

### El universo frío

Algunos sitios astronómicos, entre ellos el OAN-SPM, tienen condiciones para observar también en el infrarrojo, y lo que se detecta usualmente son atmósferas estelares y estrellas frías. En el mediano infrarrojo se pueden estudiar planetas, discos protoplanetarios, pol-



**Figura 1.** GMT (Gran Telescopio Milimétrico), en la Sierra Negra de Puebla. Crédito: INAOE.



**Figura 2.** ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*), gran arreglo de radiotelescopios milimétricos. Crédito: National Geographic.



**Figura 3.** Galaxia El sombrero. Imagen compuesta: rayos X (telescopio Chandra), luz visible (telescopio Hubble) y luz infrarroja (telescopio Spitzer). Créditos: NASA/UMass/Q. D. Wang *et al.* (rayos X); NASA/STScI/AURA/Hubble Heritage (óptico); NASA/JPL-Caltech/Univ. AZ/R. Kennicutt/SINGS Team (infrarrojo).

vo caliente asociado a diversos fenómenos, etcétera. En el lejano infrarrojo se detectan, básicamente, la emisión del polvo y las nubes moleculares frías. Sin embargo, nuestra atmósfera no es transparente a lo que los astrónomos nos referimos como infrarrojo medio y lejano (de unas 6 a 200 micras).

Los primeros intentos para observar fuera de la atmósfera se hicieron poniendo los instrumentos a bordo de globos o aviones. El primer gran telescopio orbital para el infrarrojo fue el IRAS (*Infrared Astronomical Satellite*), pero su misión duró sólo diez meses debido a que se evaporaron los 73 kg de helio superfluido que llevaba como refrigerante. En cambio, con su gran sensibilidad, su conjunto de detectores de gran formato, su alta efectividad observacional y su larga vida criogénica, el telescopio espacial *Spitzer* ofrece una capacidad observacional sin precedentes. Fue lanzado en 2003 y ya rebasó las estimaciones de vida.

## Ojos de Superman

### *El universo caliente*

La atmósfera también bloquea la luz de altas energías. Los rayos X son producidos cuando se calienta la materia a temperaturas de millones de grados; en el cosmos, por ejemplo, en presencia de campos magnéticos muy intensos, por atracción gravitacional extrema o explosiones de estrellas. El tenue gas intergaláctico, cuya existencia se desconocía hasta hace poco, está tan caliente que se detectó en rayos X.

El primer satélite de rayos X fue lanzado en 1970 y produjo un primer catálogo de 339 fuentes en la banda de 2-6 keV (kilo electronvoltios; que se refieren a la energía de los fotones). Entre lo que detectó, está el primer candidato a ser un agujero negro, llamado Cygnus X-1.

Desde entonces se han lanzado más de una decena de telescopios de rayos X con mucho mayores





capacidades. Y todavía varios siguen activos. Destacan, por su alta resolución y capacidad espectroscópica, el Chandra (en honor al gran Chandrasekhar, astrónomo estadounidense-hindú, premio Nobel de Física), que detecta desde alrededor de 1 hasta 10 keV. También el XMM-Newton (europeo) y el japonés Suzaku (nombre de una mítica ave escarlata).

A más altas energías aún, se pueden estudiar supernovas y pulsares (estrellas de neutrones) en otras galaxias, choques de estrellas de neutrones entre sí o con hoyos negros que se cree son responsables de los estallidos de rayos gamma, ( $\gamma$ ), agujeros negros supermasivos y otros fenómenos fascinantes del cosmos. La radiación más energética del espectro electromagnético son los rayos gamma y aquéllos con energías de billones de electronvoltios son indicadores de los fenómenos más violentos en el cosmos. También se piensa que los rayos gamma están correlacionados con los lugares de aceleración de los rayos cósmicos con carga, cuyos orígenes han sido un misterio por casi cien años.

El Compton Gamma Ray Observatory fue un telescopio de rayos gamma que estuvo en órbita de 1991 a

2000, y su rango de detección era de 20 keV a 30 GeV. Actualmente se encuentra en órbita el *Fermi Gamma Ray Space Telescope* (en honor al gran E. Fermi, premio Nobel de Física) y su rango es de 10 keV a 300 GeV.

Mientras tanto, en la Tierra se usan los telescopios Cherenkov. Éstos detectan rayos gamma de más alta energía en el rango de 25 GeV a 50 TeV. Cuando un rayo gamma colisiona con las partículas del aire en la parte superior de la atmósfera, inicia una reacción en cadena que provoca una cascada de partículas cargadas eléctricamente. Éstas pueden viajar a velocidades superiores a las de la luz en el aire (que es menor a la de la luz en el vacío, por lo que las partículas pueden superarla). Las partículas superlumínicas producen una especie de ondas de choque luminosas conocidas como destellos Cherenkov (por P. Cherenkov, también premio Nobel).

En la actualidad hay tres grandes telescopios Cherenkov en operación. El mayor, con 17 m de diámetro, es el MAGIC (*Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov telescope*). Está localizado en La Palma (islas Canarias) y su objetivo fundamental es la detección de rayos gamma de muy alta energía.



Observatorio de rayos X Chandra. Crédito: NASA/CXC/NGST



**Figura 4.** Telescopio de rayos gamma HAWC, en el volcán Tliltépetl (Sierra Negra). Crédito: <[www.hawc-observatory.org](http://www.hawc-observatory.org)>.

### Ojos líquidos

El “telescopio” HAWC (siglas de *High Altitude Water Cherenkov*) es un observatorio de rayos gamma de gran apertura, capaz de monitorear el cielo en el rango de energías de 100 GeV a 100 TeV. Para ahora, el lector se habrá percatado de cómo los astrónomos nos divertimos buscando nombres bonitos. HAWC suena como halcón en inglés (*hawk*), un ave que vuela a grandes alturas.

Este observatorio se encuentra a 4100 msnm en el flanco del extinto volcán Tliltépetl o Sierra Negra (Puebla), a sólo 7 km del GTM. Este desarrollo es resultado de una colaboración en la que participan 15 instituciones estadounidenses y 14 mexicanas; fue inaugurado el 20 de marzo de 2015 y generará 2 terabytes de datos diarios.

El HAWC fue diseñado para detectar rayos gamma a través de la medición de las partículas de la cascada atmosférica que penetran en los 300 tanques de agua que conforman el sistema del observatorio. En los tanques la velocidad de la luz es aún menor que en la atmósfera. La radiación Cherenkov es registrada por cuatro detectores especiales dentro de cada tanque y con lo obtenido de los sensores se pueden generar 2 terabytes de datos diarios. Con base en esta información es posible, además, distinguir si la cascada fue iniciada por un rayo gamma o por un rayo cósmico.

**Deborah Dultzin** estudió física en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Hizo la maestría y el doctorado en astrofísica en la Universidad Estatal de Moscú Lomonosov y en la Sorbonne (París 7). Es investigadora del Instituto de Astronomía de la UNAM y profesora de la Facultad de Ciencias de la misma institución. Pionera en México en el estudio de los hoyos negros supermasivos, en los núcleos de galaxias y cuásares. En 2010 recibió el Premio Ciudad Capital Heberto Castillo Martínez, por su trayectoria. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel III; miembro de la Unión Astronómica Internacional, y también de la Academia Mexicana de Ciencias, donde forma parte del Comité Editorial de la revista *Ciencia*.  
deborah@astro.unam.mx

### Lecturas recomendadas

- ESO, “The European Extremely Large Telescope”, *European Southern Observatory*. Disponible en <<https://www.eso.org/public/teles-instr/e-elt>>.
- ESO, “Very Large Telescope”, *European Southern Observatory*. Disponible en <<http://www.eso.org/public/teles-instr/vlt>>.
- Howell, Elizabeth (2015), “What Are the Biggest Telescopes in the World (and Space)?”, *Universe Today* <<http://www.universetoday.com/118202/what-are-the-biggest-telescopes>>.
- NASA, *James Webb Space Telescope*. Disponible en <<http://www.jwst.nasa.gov>>.