

The background is a vibrant, multi-colored thermal image showing human figures. Overlaid on this are two black and white portraits: a man with wild white hair (William Herschel) and a woman in a white lace collar. A black ruler with white markings is positioned diagonally across the middle. The title 'HERSCHEL y el infrarrojo' is written in large, bold letters on a red diagonal banner.

HERSCHEL y el infrarrojo

ROSA M. ROS · BEATRIZ GARCÍA · FRANZ KERSCHBAUM
RICARDO MORENO · MARINA RODRÍGUEZ BARA · MIGUEL QUEREJETA

HERSCHEL

y el infrarrojo

ROSA M. ROS · BEATRIZ GARCÍA · FRANZ KERSCHBAUM
RICARDO MORENO · MARINA RODRÍGUEZ BARA · MIGUEL QUEREJETA



Autores:

**ROSA M. ROS · BEATRIZ GARCÍA · FRANZ KERSCHBAUM
RICARDO MORENO · MARINA RODRÍGUEZ BARA · MIGUEL QUEREJETA**

Impresión: Albedo Fulldome S.L. Barcelona, España, 2022

ISBN:978-84-15771-92-0



EL EXPERIMENTO DE HERSCHEL Y EL INFRARROJO 3

Atarfe es su historia, sus primeros asentamientos, Medina Elvira, la Batalla de la Higuera, los nuevos repobladores...pero Atarfe también es Ciencia; Atarfe es su patrimonio, las construcciones que dejaron huella en nuestro pueblo que definieron un modo de vida, unas creencias, que se adaptaron a las nuevas épocas y que han dejado fiel testimonio de nuestro pasado.... pero Atarfe también es Ciencia; Atarfe es cultura, el teatro, la música, la danza, los conciertos, las artes, el público, el Centro Cultural Medina Elvira,Atarfe también es Ciencia; Atarfe es deporte, afrontando retos, superando obstáculos, son nuestras instalaciones, nuestros deportistas, nuestras promesas, nuestra afición... pero Atarfe también es Ciencia; Atarfe son sus paisajes, son sus amaneceres, la vega de Granada, el agua, las sierras que lo rodean...pero Atarfe también es Ciencia; Atarfe es educación, referente en conocimiento, saber, progreso, futuro. Donde los centros educativos apuestan por la enseñanza y la divulgación científica. Atarfe fue la cuna de Cecilio Jiménez Rueda y de hombres y mujeres de ciencia, de insignes profesionales en medicina, farmacia e ingeniería, que sembraron el germen de la ciencia y abrieron una senda que hoy, muchos de nuestros alumnos y alumnas, vecinos y vecinas, continúan. Esto es Atarfe. Y donde hemos podido disfrutar del programa internacional de Ciencia en Acción.

Una apuesta de futuro, una edición de Ciencia en Acción muy esperada, de reencuentro, de emoción y de enriquecimiento. Una edición que, celebrada a principios del mes de octubre de 2021, atrajo hasta nuestro pueblo a participantes de todo el estado además de otros países extranjeros como Andorra, Bulgaria, Irán, Italia, Portugal y Rumania.

Quiero resaltar la implicación de todo el pueblo, en la organización de esta edición, sobre todo a CienciAtarfe, que sin ellos esta realidad no habría sido posible. Además de autoridades, instituciones, comercios, empresas, administraciones públicas/privadas, colegios, maestr@s/profesores, alumnos... intentando que todos los participantes y asistentes, se sintieran como en casa, siendo nuestro sello de identidad la acogida, la atención, el cariño, la cercanía... facilitando en todo momento para que el profesorado visitante, pudiera hacer su labor educativa, siendo una experiencia enriquecedora y positiva a título particular y para el pueblo en general.

Pedro Martínez Parra
Alcalde de Atarfe

Este año el pueblo de Atarfe se ha convertido en la sede de ‘Ciencia en Acción’ en su edición XXII. Dada la situación de pandemia, se ha desarrollado una parte online y otra presencial. En esta edición el número de países visitantes se ha reducido, pero han llegado a nuestro pueblo participantes de Andorra, Bulgaria, Irán, Italia, Portugal, Rumanía y la anfitriona; España, que disfrutaron explicando a todos los visitantes y alumnos, contenidos científicos y en particular los experimentos de Herschel con la detección del infrarrojo y algunas aplicaciones.

Atarfe es historia, es cultura y es ciencia y muchos de nuestros alumnos y alumnas continúan ganando en conocimiento. En total más de la mitad de ellos pudieron visitar una de las ocho carpas organizadas por Network for Astronomy School Education NASE, dentro del marco de la International Astronomical Union IAU, y en coordinación con el programa del International Day of Light de UNESCO.

También es justo mencionar que otras importantes instituciones colaboraron para promocionar el programa científico referido al infrarrojo: la European Association for Astronomy Education EAAE, el European Southern Observatory ESO, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, el CONICET de Argentina, la Cité des Sciences de Túnez, el Ethiopian Space Science and Technology Institute ESSTI de Etiopia, la National Astronomical Research Institute of Thailand NARIT de Tailandia y el Planetario de Beijing de China. Estas instituciones han hecho difusión del Proyecto del Experimento de Herschel por todo el mundo, desde el equinoccio de marzo hasta el de septiembre. El programa concluyó con una sesión online la última semana de septiembre y una feria presencial, a principios de octubre, organizada en Atarfe dentro de la final de Ciencia en Acción, esto es Science on Stage Spain.

En particular hay que destacar el gran trabajo desarrollado por CienciAtarfe que ha invertido grandes esfuerzos en la infraestructura y organización del evento, coordinando de forma excelente el movimiento de profesores y alumnos desde los diferentes centros hasta las carpas de demostraciones; así como estructurando las visitas familiares durante el fin de semana a la feria de demostraciones de Ciencia en Acción.

Para finalizar, después de haber participado en primera línea en este festival científico, desde el Ayuntamiento de Atarfe, deseamos que esta iniciativa prosiga con sucesivos programas exitosos de NASE.

Rosa M. Ros Ferré
Presidente de Ciencia en Acción

Introducción

El “Experimento de Herschel y el infrarrojo” es un proyecto que surgió como propuesta global para celebrar “Día Internacional de la Luz” -16 de mayo- promulgado por UNESCO, en el que se recuerda el primer uso exitoso de un rayo láser creado por el ser humano. Fue una propuesta abierta a todos los profesores de primaria y secundaria que participaron en uno de los más de 250 cursos organizados por NASE (Network for Astronomy School Education) durante los 12 años que este programa de didáctica de la astronomía lleva recorridos desde su constitución dentro de la Asamblea General de Rio de Janeiro de la IAU (International Astronomical Union) en el año 2009.

El “Experimento de Herschel y el infrarrojo” se inició con el evento online sincrónico “Puentes de Culturas” que tuvo lugar el 21 de marzo de 2021, celebrando el equinoccio de marzo (20 de marzo) y finalizó en el equinoccio de septiembre del mismo año (23 de septiembre). El evento de clausura final se desarrolló de dos formas: una versión online el día 28 de septiembre de 2021 y un evento presencial durante el primer fin de semana de octubre en la ciudad de Atarfe (Granada, España), coincidiendo con la celebración del evento de Ciencia en Acción en el que se presentaba el trabajo de Herschel como la “Gran Experiencia”.



Fig. 1: Foto de grupo de los profesores que participaron en el evento final presencial del Experimento de Herschel en Atarfe.

En el marco de Ciencia en Acción, la primera “Gran Experiencia” propuesta por NASE tuvo lugar en 2019, integrada también dentro de las propuestas para el “Día internacional de la Luz”. En esa oportunidad NASE invitó a calcular “La Potencia del Sol” usando el fotómetro de mancha de aceite de Bunsen, creado en el siglo XIX, fácil de hacer con estudiantes en todo el planeta. En 2020 el proyecto propuesto fue el de “La Tierra Paralela”, muy fácil de replicar, no exige una configuración complicada y puede realizarse en todos los países con un mínimo de recursos económicos. Los países involucrados o no en NASE fueron invitados para repetir el experimento durante medio año, entre los equinoccios como siempre. En 2020, dada la situación de la pandemia, solo se pudo realizar el evento online.

El año 2021 presentó un nuevo panorama para la educación en un escenario mixto. En general, los maestros y profesores con gran entrega y dedicación, han podido realizar el experimento de detección del infrarrojo con sus estudiantes y han podido participar en la experiencia, especialmente online, pero a la vez se ha comenzado a recuperar la situación presencial (Figura 1).

Es necesario mencionar y agradecer la importante cooperación del Ayuntamiento de Atarfe y del grupo de profesores de CienciaAtarfe que dio soporte al programa desde todos los ámbitos posibles.

La detección y datos recolectados por los alumnos fueron volcados en planillas que se enviaron a la secretaría de NASE; ejemplos de los registros e informes se pueden ver en las figuras 2 y 3.

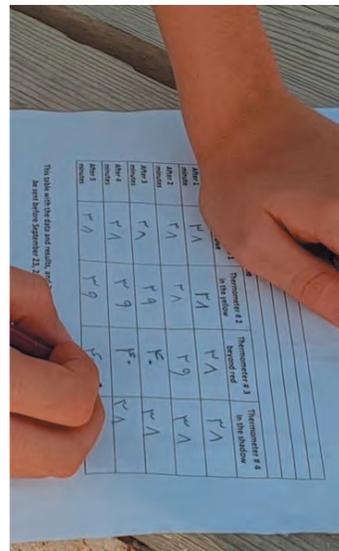
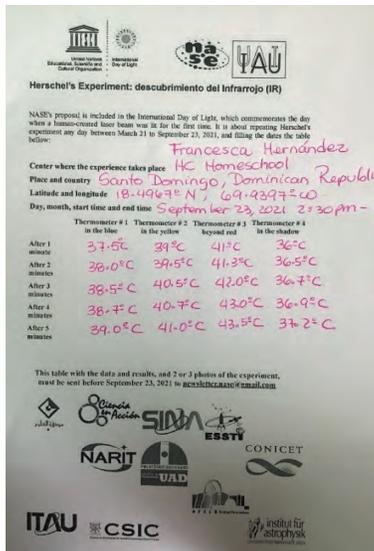


Fig. 2. Hojas de medición de Santo Domingo en República Dominicana (izquierda)

Fig. 3. Hojas del uno de los grupos de Bushehr en Irán (derecha)

1. El infrarrojo

La región infrarroja del espectro electromagnético fue descubierta por William Herschel (el descubridor del planeta Urano) en 1800 utilizando un prisma y unos termómetros. Para ello obtuvo el espectro visible, haciendo pasar la luz blanca del Sol a través de un prisma y colocó los termómetros en 3 regiones del espectro: la azul, roja (colores detectables por el ojo) y e instaló un tercer termómetro más allá del rojo, aunque cerca. Con un cuarto termómetro midió la temperatura ambiente y descubrió que la temperatura que marcaba el termómetro en la zona “por debajo” del rojo (y de ahí su nombre “infra” rojo) era mayor que la del ambiente, lo que demostraba que le llegaba una radiación invisible pero real, que calentaba el termómetro.

Herschel hizo otros experimentos con esos “rayos caloríficos” (como los llamaba): eran reflejados, refractados, absorbidos y transmitidos igual que la luz visible. Estos “rayos caloríficos” fueron posteriormente denominados rayos infrarrojos o radiación infrarroja. Esos descubrimientos fueron seguidos de otros que desembocaron en varias aplicaciones tecnológicas.

Los cuerpos emiten radiación electromagnética en frecuencias que dependen de su temperatura. Por ejemplo, nuestro cuerpo y el de los animales emiten radiación infrarroja que nuestros ojos no detectan, pero sí lo hacen otros dispositivos, como los anteojos de visión nocturna, o los termómetros clínicos actuales, que permiten medir la temperatura corporal sin contacto (Figuras 4 y 5).

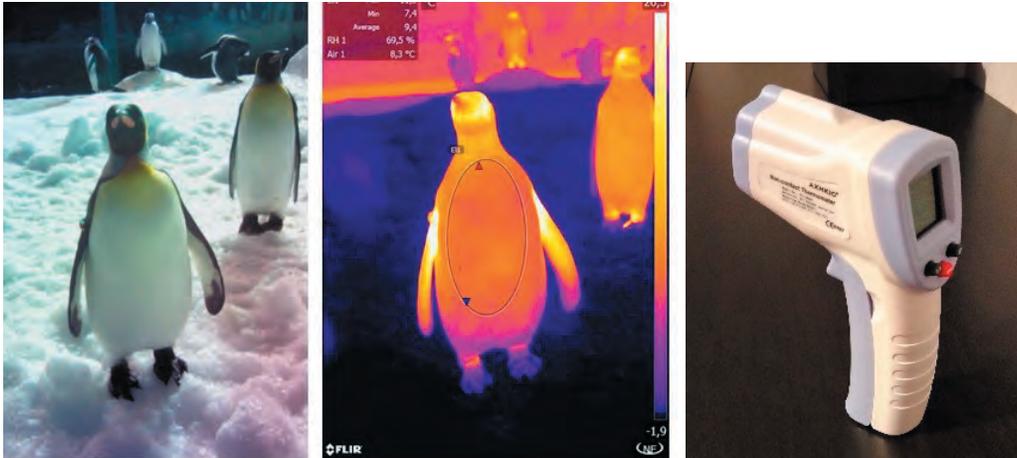


Fig. 4a y 4b: Fotografía de pingüinos en luz visible e infrarrojo. Se distinguen zonas más o menos calientes; se indican temperaturas máxima (29.3 °C) y mínima (-1.9 °C).

Fig. 5: Termómetro de infrarrojos. Mide la temperatura corporal sin contacto

2. Experimento de Herschel

El objetivo de nuestro proyecto era es repetir el experimento de 1800, mediante el cual el famoso astrónomo William Herschel descubrió una forma de radiación distinta de la luz visible. Para ello necesitamos un prisma de vidrio, cuatro termómetros, rotulador permanente de tinta negra, tijeras, cinta adhesiva, una caja de cartón y una hoja blanca. Pintamos con rotulador negro los bulbos de los termómetros para que absorban mejor el calor (también es posible pintar los bulbos con tempera negra, solo hay que dejar secar). Para registrar los datos, se debe tener preparada una planilla donde indicar el tiempo y la temperatura registrada en cada termómetro (Tabla 1).

El experimento se debe realizar al aire libre, en un día MUY soleado. Si hay mucho viento, la experiencia puede hacerse en el interior, siempre que tenga una ventana por donde el Sol ingrese de manera directa. Se coloca una hoja blanca, en el fondo de la caja de cartón, para que el espectro se distinga claramente. El prisma se coloca en el borde superior de la caja, de modo que quede del lado del Sol. El interior de la caja debe quedar todo o casi todo en sombra, cosa que se logra por la proyección de la sombra por parte de las paredes de la caja (Figuras 6 y 7). Se gira el prisma cuidadosamente hasta que aparezca un espectro visible lo más amplio (desplegado o dispersado) posible sobre la hoja situada en el fondo de la caja.



Fig. 6: Caja con el prisma y los cuatro termómetros en Santo Domingo, República Dominicana

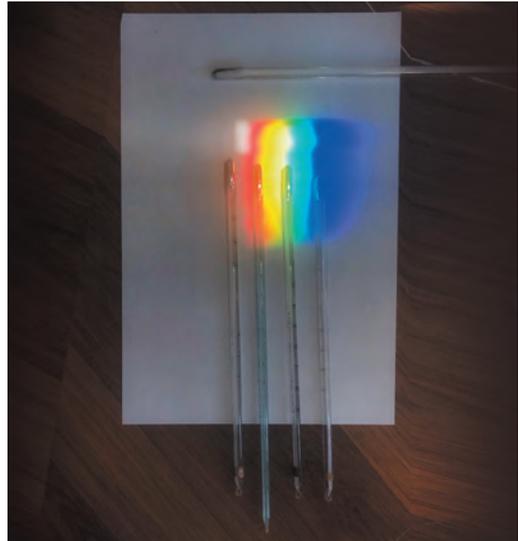


Fig. 7: Lo que marcan los tres termómetros en el azul, amarillo e infrarrojo, y en la sombra, después de 5 minutos.

Después de asegurar con cinta adhesiva el prisma en esa posición, colocamos tres termómetros de manera que cada bulbo esté en uno de los colores: uno en la región azul, otro en la amarilla y el tercero un poco más allá de la región roja visible. Se debe poder ver bien la escala graduada, para no mover el termómetro cuando tomemos las medidas. El cuarto termómetro lo ponemos en la sombra, no alineado con los anteriores.

Los termómetros tardan unos cinco minutos en alcanzar sus medidas finales. Cada minuto registramos en la tabla, las temperaturas en cada una de las tres regiones del espectro y en el de ambiente. No hay que mover los termómetros de su posición en el espectro ni bloquear su luz, aunque la caja puede moverse levemente para que no cambie la región del espectro en que se encuentra cada termómetro.

Equipos de todo el mundo, de diferentes edades y culturas diversas, hicieron este experimento y enviaron sus mediciones por correo electrónico durante el medio año en que el proyecto estuvo activo. Varios ejemplos de diferentes instalaciones, materiales, espacios tanto en escuelas como en la calle o la casa se presentan en las Figuras 8 a 17, y más extensamente se pueden encontrar en www.naseprogram.org

REGISTRO DE DATOS				
	Termómetro nº 1 en el azul	Termómetro nº 2 en el amarillo	Termómetro nº 3 más allá del rojo	Termómetro nº 4 a la sombra
Después de 1 minuto				
Después de 2 minutos				
Después de 3 minutos				
Después de 4 minutos				
Después de 5 minutos				



Fig. 8: Estudiantes en primaria realizando el experimento de Herschel (Ramygala Gymnasium en Lituania).



Fig. 9: Niñas observando el experimento en una convocatoria de ITAU (Iranian Teachers Astonomical Union) en Bushehr, Irán.



Fig. 10: Obteniendo la temperatura en diferentes zonas del espectro por Ihsan Muharrik con su alumna (MA Daarul Uluum Lido) em Bogor, Indonesia.



Fig. 11: Realizando el experimento de Herschel un grupo de estudiantes mejicanos (Universidad de Guadalajara).



Fig. 12: Realizando el experimento de Herschel un grupo de estudiantes mejicanos (Universidad de Guadalajara).



Fig. 13: Preparando los materiales para el experimento en Municipal Center for Extracurricular Activities of Dolna Mitropolia, Baykal Village in Bulgaria.



Fig. 14. Jugando e investigando a la vez en Malmo, Suecia.



Fig. 15. Preparando el experimento en Dakar en Senegal



Fig. 16: Experimento de Herschel en familia en el municipio de San Cristóbal en Venezuela.



Fig. 17: Realizando el experimento en Philippine Normal University en Caloocan City, Filipinas.



Fig. 18. Preparando el experimento en Agrupamento de Escolas Dr. Carlos Pinto Ferreira en Oporto, Portugal.

3. La Familia Herschel: Astronomía y Música

La familia Herschel era realmente singular. El padre de Carolina (Figura 19a) y William (Figura 19), Isaac, era un músico con mucho talento, que se propuso dar a sus seis hijos varones una formación en distintas disciplinas: música, matemáticas, astronomía, idiomas. Caroline Herschel a los 10 años enfermó, primero de viruela y más tarde de tifus. Estas enfermedades detuvieron su crecimiento de forma permanente. Sus padres se dieron cuenta que, debido a esta situación física, no podría contraer matrimonio. Su padre, a escondidas, le daba a Caroline lecciones de música y le enseñaba algo de astronomía.



Fig. 19 : Caroline Herschel



Fig. 20 : William Herschel

En 1772, William Herschel, que trabajaba en Bath, Inglaterra, pidió a su madre que su hermana Caroline, que tenía entonces 22 años, se fuera a vivir con él como ama de casa. William vio que su hermana menor tenía aptitudes para la música y las ciencias, y le dio clases de matemáticas, astronomía e inglés. En la figura 20 se puede observar un detalle de la casa de los hermanos Herschel en Bath.

William ofrecía conciertos como organista y director de orquesta en la ciudad de Bath; y Caroline actuaba como soprano. Pero William Herschel empezó a construir telescopios, y su reputación llegó a tal punto, que decidió dejar su trabajo como músico y dedicar todo su tiempo a la astronomía.



Fig. 21. Museo Herschel, en su casa en Bath. (Crédito: B. García).



Fig. 22: Casa de los hermanos Herschel en Bath. Placa en la pared que da al patio interior (Crédito: B. García)



Fig. 23: Taller de óptica en la casa de los hermanos en Bath. (Crédito: B. García)

Caroline también decidió abandonar su carrera musical para convertirse de lleno en la asistente de su hermano mayor. Su trabajo consistía en esmerilar y pulir espejos (Figura 23), anotar observaciones noche tras noche, revisarlas durante el día y hacer cálculos algebraicos para establecer distancias astronómicas. Llegó a convertirse en una notable astrónoma.

Juntos, descubrieron mil estrellas dobles, y demostraron que muchas eran sistemas binarios de estrellas, estrellas relacionadas físicamente que giraban en torno del centro de gravedad del sistema. Esta fue la primera prueba física de la acción de la fuerza de gravedad fuera del sistema solar.

Una de las historias que muestran el espíritu de la maravillosa familia Herschel, se desprende de una carta de John Herschel, hijo de William, dirigida al director del Observatorio de Dublín, Sir William Rowan Hamilton. Además de informarle de que alfa Oriónis era una estrella variable, le comparte una canción que entonaron todos los miembros de la familia juntos cuando estaban reunidos en el interior del tubo de 12 metros del telescopio reflector, celebrando el nuevo año de 1840:

***Alegres, alegres cantemos
haciendo rechinar y tintinear
al viejo telescopio...***

En la posdata se lee: “Lo anterior fue cantado a voz en cuello por toda nuestra familia, papá, mamá, Madame la Governante y siete juniors, a las 0 horas, 0 minutos, 0 segundos de la hora media, 1 de enero de 1840, dentro del tubo. Reunimos catorce, pero fácilmente habrían cabido catorce más.”

Parte de ese telescopio se conserva en el Observatorio de Greenwich (Figura 24).

Caroline Herschel fue la primera mujer que descubrió un cometa. Lo hizo el 1 de agosto de 1786, entre las constelaciones de la Osa Mayor y Coma Berenice. Como el



Fig. 24: Sección conservada del Telescopio de 12 metros construido por los Herschel. Observatorio de Greenwich. (Crédito: B. García)



Fig. 25: Detalle de la foto anterior. (Crédito: B. García)

tiempo y el cometa corrían veloces, y su hermano William estaba fuera de la ciudad por asuntos de trabajo, Caroline juzgó oportuno comunicar de inmediato su descubrimiento al secretario de la Royal Society. Por entonces no era habitual que una mujer desempeñara trabajos científicos, y Caroline no era más que la asistente de su hermano. A su regreso, William tuvo que corroborar el descubrimiento.

Poco más tarde, en 1787, Caroline publicó un artículo en la revista científica *Philosophical Transactions*, de la Royal Society. Fue la primera mujer que lo hizo. En el periodo de 1786 a 1797 descubrió tres nebulosas y ocho cometas. En los años siguientes, catalogó cada descubrimiento que habían hecho su hermano y ella. Dos de los catálogos astronómicos publicados por Caroline Herschel están en uso hoy en día.

Su ardua labor la llevó a completar, en 1798, el “Índice de observaciones de estrellas fijas de John Flamsteed”, donde incluyó 560 estrellas que el astrónomo inglés no había registrado en su catálogo de más de 3.000 estrellas. Caroline Herschel hizo entrega del listado a la Royal Society. Posteriormente, publicó el “Índice General de Referencias de cada observación, de cada estrella mencionada en el Catálogo Británico”, también con la Royal Society.

Cuando murió su hermano, el 25 de agosto de 1822, Caroline regresó a Hannover, donde recibió numerosos honores. Entre ellos, la medalla de oro de la Royal Society en 1828, de la que fue nombrada miembro honorario en 1835, a los 85 años de edad. En su 96 cumpleaños, recibió la Medalla de Oro de la Ciencia, del Rey de Prusia, por los logros alcanzados durante su vida. Caroline Herschel murió el 9 de enero de 1848, a los 97 años de edad.

4. El telescopio de Herschel en el Real Observatorio de Madrid

A lo largo de toda nuestra historia los avances científicos se han producido muy a menudo a partir de las posibilidades ofrecidas por grandes avances tecnológicos, y a su vez grandes innovaciones tecnológicas han tenido lugar a partir de los requerimientos y necesidades que en ese momento planteaba la ciencia. En astronomía, un ejemplo muy claro de esta simbiosis tan positiva entre ciencia y tecnología es la invención del telescopio. Hasta principios del siglo XVII, la astronomía se limitaba al estudio de aquellos objetos celestes visibles por el ojo humano, pero la invención en Holanda de este instrumento de observación abrió la puerta a objetos mucho más lejanos, y con ello a la respuesta a muchas preguntas clave de la ciencia del momento. Este proceso de ampliación de las fronteras astronómicas continuó durante el siglo XVIII, cuando William Herschel, en colaboración con su hermana Caroline, diseñó y construyó en Inglaterra los que eran los mejores telescopios de su época.



Fig. 28. Edificio principal del Real Observatorio de Madrid, construido por el arquitecto Juan de Villanueva.

En esas mismas fechas, a finales del siglo XVIII, se funda en España el Real Observatorio de Madrid (figure 28). Los astrónomos del Real Observatorio, con el objetivo de poder contribuir a la ciencia más puntera de su tiempo y con el apoyo del rey Carlos IV, encargan la construcción de un gran telescopio para el Real Observatorio al mejor constructor de telescopios del momento, el propio William Herschel. El telescopio fue

construido en Inglaterra, así que una vez terminado tuvo que ser empaquetado por piezas y enviado en barco a Bilbao, y desde allí transportado en carros de mulas hasta Madrid. Después de este largo recorrido, y usando las detalladas instrucciones que Herschel había incluido en el envío, pudo por fin ser ensamblado y puesto en funcionamiento en Madrid en 1804.

Pero a la ciencia no solo le influye la tecnología, sino también los grandes eventos de la historia: apenas unos años después, en 1808, la Francia de Napoleón invade España, y se inicia una guerra de seis años. El ejército francés llegó a Madrid, conquistó la colina donde estaba situado el Observatorio por su importancia estratégica, y destruyó completamente el nuevo telescopio, ya que siendo pleno invierno necesitaban la madera para poder calentarse. Los astrónomos del Real Observatorio, sin embargo, habían previsto esta posibilidad, así que poco antes habían retirado y escondido algunas de las piezas más valiosas del telescopio: los espejos principales y los documentos que detallaban su construcción y funcionamiento (figura 27). Estos elementos permanecieron escondidos e ignorados en el Observatorio o los edificios cercanos, hasta que fueron recuperados a finales del siglo XX. Y a partir de ahí se produjo la vuelta a la vida del gran telescopio de Herschel en Madrid: se inició la construcción de una réplica exacta del telescopio, siguiendo las mismas instrucciones que había mandado Herschel y considerando los elementos originales que habían sobrevivido a la guerra.

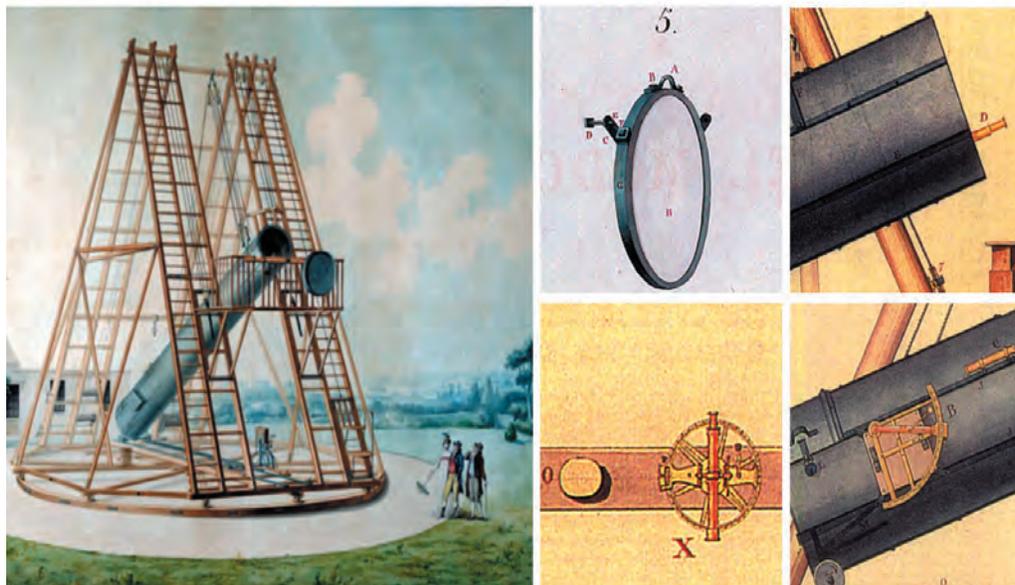


Fig. 27. Fragmentos de algunos de los planos y láminas que acompañaban el envío del telescopio de Herschel a España a finales del siglo XVIII.

La reconstrucción finalizó en 2004, y desde entonces podemos contemplar la réplica de uno de los mejores telescopios de finales del siglo XVIII en su ubicación original, el Real Observatorio de Madrid (figura 28). El telescopio no solo es interesante por su valor científico e histórico, sino que además nos permite comprender cómo se hacían las observaciones astronómicas en esa época. Se trata de un telescopio reflector, con un espejo primario de unos 60 centímetros de diámetro y una distancia focal de 7,6 metros. La luz proveniente del punto al que se estaba apuntando en el cielo entraba por el extremo del tubo del telescopio y llegaba hasta el espejo primario, que redirigía la luz de nuevo hacia el extremo abierto, donde estaba el ocular y, por tanto, donde se situaba el astrónomo. El tubo del telescopio está colocado en una gran estructura de madera, de unos 10 metros de altura. Para poder mover el telescopio es necesario mover toda la estructura, por lo que era necesaria la participación de varios hombres y la utilización de un ingenioso mecanismo de cremallera que controla la altura del tubo. Además, como la Tierra rota sobre sí misma, para poder observar una estrella durante largo rato era necesario ir moviendo el telescopio continuamente. En conjunto era un proceso arduo y muy meticuloso.



Fig. 28.: Foto de la réplica actual del telescopio de Herschel, situada en el Real Observatorio de Madrid.

William y Caroline Herschel consiguieron de hecho realizar grandes descubrimientos científicos gracias a su gran determinación y trabajo, así como a la calidad de sus telescopios. Quizás el más famoso es el descubrimiento de Urano por William Herschel en 1781, que supuso no solo el gran descubrimiento de un nuevo planeta, sino un cambio de perspectiva en cuanto a las dimensiones del Sistema Solar y sus componentes. Gracias a sus observaciones, Herschel pudo también descubrir los dos principales satélites de Urano y determinar incluso la masa del planeta. Pero estos no fueron los únicos cuerpos del Sistema Solar que los Herschel estudiaron: Caroline Herschel fue la primera mujer en descubrir un nuevo cometa, en 1786, y a lo largo de su vida descubrió un total de ocho. Sus méritos científicos hicieron que el rey de Inglaterra le asignase un salario anual, lo que le dio reconocimiento público, independencia económica e hizo que sea considerada la primera científica profesional de la historia. Los hermanos Herschel también estudiaron cuerpos celestes más allá del Sistema Solar: William Herschel realizó un estudio estadístico y sistemático del número de estrellas que se observaban en el cielo, lo que le permitió representar el primer mapa de nuestra galaxia, la Vía Láctea, y estimar su forma y su tamaño (figura 29).

Hoy en día el conocimiento científico ha avanzado enormemente respecto a la época de William y Caroline Herschel. Pero todo lo que sabemos hoy es el resultado de un largo proceso de aprendizaje que hemos realizado gracias a la curiosidad, la determinación y el trabajo infatigable de científicos y científicas como William y Caroline Herschel, y al desarrollo de instrumentos científicos como sus grandes telescopios. Si queréis saber más, os esperamos en el Real Observatorio de Madrid para conocer la astronomía del pasado y del presente, que nos llevarán a la astronomía del futuro.

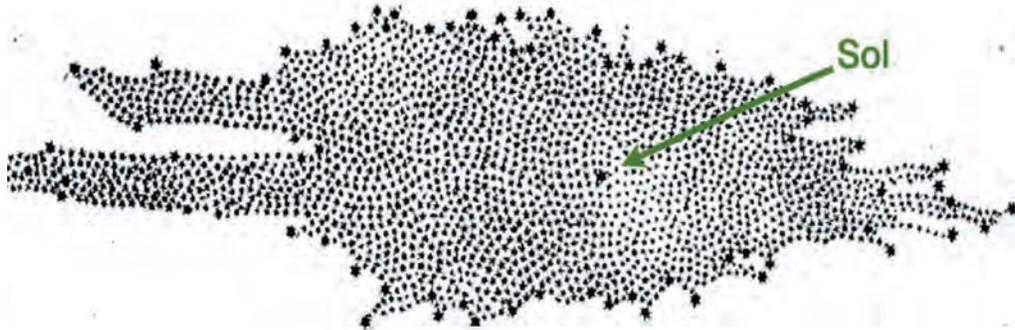


Fig. 29 : Mapa de William Herschel de la Vía Láctea, publicado en 1785. Se indica la posición estimada del Sol.

5. ¿Qué se puede hacer con una cámara termográfica de infrarrojos?

La radiación infrarroja era bastante difícil de detectar cuando los hermanos Herschel la descubrieron en 1800 e incluso un siglo y medio después. Hoy tenemos la suerte de poder no solo medir la radiación infrarroja, sino también tomar fotografías en longitudes de onda más rojas de lo que nuestros ojos pueden ver.

Hoy en día utilizamos estas cámaras infrarrojas tanto con fines científicos como técnicos todos los días. Por ejemplo, el telescopio espacial infrarrojo Herschel observa salidas de polvo y gases de estrellas gigantes envejecidas como Betelgeuse. Otro ejemplo consiste en verificar el aislamiento térmico de las casas o el motor de un automóvil usando una cámara térmica de infrarrojos.



Fig. 30: Telescopio Espacial Herschel (Crédito: ESA)



Fig. 31: Salidas de polvo y gases de Betelgeuse (Credito ESA/F. Kerschbaum)

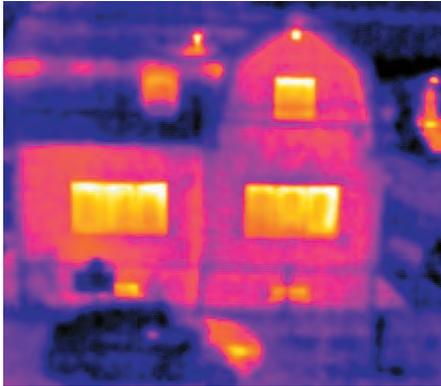


Fig. 32: Aislamiento térmico de una casa
(Crédito: F. Kerschbaum)



Fig. 33: Imagen en infrarrojo de un automóvil
(Credito F. Kerschbaum)



Fig. 34: Entrevista a los hermanos Herschel usando una cámara infrarroja. (Crédito: F. Kerschbaum)

Pero, ¿qué significan estos colores extraños en las imágenes? Para “ver” e imprimir imágenes infrarrojas, uno tiene que “traducir” los colores invisibles para nuestros ojos en colores a los que estamos acostumbrados. Después de esto, cada tono de color corresponde a una determinada temperatura medida.

En la escena de la figura 34, de entrevista infrarroja, los colores elegidos arbitrariamente permiten estimar las diferentes temperaturas de los cuerpos representados. Las áreas blancas en las caras son las superficies más cálidas por encima de los 32 ° C, las áreas de tela amarilla y verdosa muestran temperaturas entre 22 y 27°C, mientras que el fondo es más frío con temperaturas por debajo de los 20°C.

Hoy en día, estas imágenes infrarrojas de turistas que pasan se utilizan en los aeropuertos para comprobar si alguien tiene gripe o incluso una infección por Covid-19. Como ve, las cámaras infrarrojas son herramientas muy útiles en nuestra vida diaria, ¡pero también para hacer ciencia!

6. El Experimento de Herschel online y en Atarfe: ocho carpas distribuidas en la ciudad

En el proyecto sobre el experimento de Herschel 2021 han participado 22 países: Austria, Finlandia, Lituania, Filipinas, India, Indonesia, Grecia, Irán, Tanzania, Bulgaria, Rumania, Túnez, Portugal, Alemania, Andorra, España, Senegal, Paraguay, Argentina, Rep. Dominicana, Suecia, Venezuela, México, de 4 continentes. Se han recibido informes escritos de un centenar de trabajos distribuidos entre centros de primaria, secundaria, universidades, Museos de la Ciencia, Planetarios y Observatorios astronómicos profesionales. Es difícil calcular los miles de alumnos que los han realizado con la ayuda de sus profesores, aunque no hayan enviado sus resultados, pero sin duda para todos ellos habrá sido una experiencia especialmente enriquecedora. “Observar lo invisible” siempre es sorprendente a la vez que motivador para continuar con nuevas experiencias.

Los resultados recibidos están expuestos en la página web de NASE en el apartado “proyectos IAU-UNESCO”.

También la sesión online desarrollada el 28 de septiembre de 2021 fue transmitida por streaming a todo el mundo, grabada y se puede visualizar en el canal de YouTube de NASE, también disponible en la página web de NASE. El proyecto tuvo una clausura presencial abierta a todo el público y a un conjunto de escuelas durante la edición final del Festival Internacional “Ciencia en Acción” (Science on Stage-Spain) en Atarfe, Granada, España, el 1, 2 y 3 de octubre de 2021. Los países que decidieron participar en este evento tuvieron la oportunidad de mostrar sus materiales y compartir con otros sus trabajos y descubrimientos en una experiencia pública. Uno de los objetivos tanto de la Unión Astronómica Internacional, como de NASE y de Ciencia en Acción es el desarrollo de actividades científicas con presentaciones lúdicas en el marco de iniciativas de Ciencia Ciudadana y la comunicación de la Astronomía con el gran público.

En este evento final, seis países (Andorra, Bulgaria, Irán, Portugal, Rumania, España) mostraron sus experimentos de Herschel de la detección del infrarrojo y algunas de sus aplicaciones a más de 1500 alumnos del propio Atarfe y de centros educativos colindantes (C.E.I.P. Atalaya, C.E.I.P. Clara Campoamor, C.E.I.P. Dr. Jiménez Rueda, C.E.I.P. Fernando de los Ríos, C.E.I.P. Medina Elvira, EE. PP. Sagrada Familia, I.E.S. Iliberis, I.E.S. Vega de Atarfe y Nova School Medina Elvira). Cada 15 minutos llegaba un nuevo grupo de 20 – 25 estudiantes, con edades comprendidas entre 6 y 18 años, que participaban en el experimento y después cedían su lugar al siguiente grupo. El proceso se desarrolló durante toda la mañana del viernes 1 de octubre. Esa parte terminó con una recepción en el ayuntamiento y un vino español para todos los invitados extranjeros y lugareños.

Con posterioridad se realizó una visita nocturna a la Alhambra, en la que los visitantes de Irán tuvieron la oportunidad de leer algunos de los grabados decorativas de las paredes, en las que hay citas astronómicas que nos sorprendieron a todos.

Para distribuir de forma sencilla a los alumnos de Atarfe, se dispusieron 8 carpas en distancias localizaciones próximas a los centros educativos y que también ofrecieran sus contenidos a los paseantes del municipio. La localización de las ocho carpas fue:

- Carpa 1: Puerta del Centro Cultural Medina Elvira (el equipo de Andorra) (Figura 24)
- Carpa 2 y 3: Parque Arquitecto Ramón Gardón (dos equipos de Irán) (Figuras 25 y 26)
- Carpa 4, 5 y 6: Parque Pink Floyd (un equipo de España, dos de Rumanía y uno de Bulgaria) (Figuras 27, 28 y 29)
- Carpa 7 y 8: Puerta del Ayuntamiento (un equipo de España y otro de Portugal) (Figuras 31 y 32)



Fig. 35. Carpa 1 frente del Centro Cultural Medina Elvira. Grupo de profesores del Colegio Agora International School, La Massana, Andorra (Crédito R.M. Ros)

El equipo de CienciAtarfe preparó el horario de visitas de los estudiantes (Figuras de 35 a 40), la información que se dio a los profesores y a los alumnos de los centros escolares, y se dio difusión, los días anteriores y posteriores al evento, a toda la población mediante la emisora de radio local.



Fig. 36. Carpa 2 en el Parque Arquitecto Ramón Gardón con uno de los dos equipos de Irán. Profesores del ITAU, Iranian Teachers Astronomical Union de Bushehr (Credito R.M. Ros).



Fig. 37. Carpa 3 en el Parque Arquitecto Ramón Gardón con el segundo grupo persa, procedente de Bushehr, Observatorio Mehr de ITAU, Irán. Todo ello bajo la atenta mirada del cabezudo de Charles Darwin (Crédito J. Paz)



Fig. 38: Alumnos de secundaria en la carpa 4 del grupo de Rumanía procedente de Cluj- Napoca (Crédito J. Paz).



Fig. 39: Carpa 5. Obteniendo las temperaturas en el experimento de Herschel con el segundo grupo procedente de Cluj-Napoca, Rumania (Crédito J. Paz).



Fig. 40. Explicando el infrarrojo a un grupo de alumnos en la carpa 6 del parque Pink Floyd, por parte del grupo de profesores españoles procedentes del colegio Huerta de la Cruz, de Algeciras (Crédito J. Paz).



Fig. 41: Grupo de alumnos después de la visita a las carpas del parque Pink Floyd. Posando con el cabezudo de Galileo Galilei (Crédito J. Paz).



Fig. 42: El equipo procedente del Planetario de Porto, Portugal, en la carpa 7 situada frente al Ayuntamiento de Atarfe (Crédito R.M. Ros).



Fig. 43: El alumno observador maneja un termómetro de infrarrojo en este grupo gestionado por un miembro de NASE en la carpa 8. Este experimento de Herschel tenía además un motor de seguimiento (Crédito R.M. Ros).



Fig. 44: Alumnos de primaria después de asistir a los experimentos en la plaza del Ayuntamiento de Atarfe, acompañados del cabezudo de Marie Curie (Crédito J. Paz).

En el encuentro, también se presentaron dispositivos y recursos novedosos, como un dispositivo con motor de seguimiento que permite mantener los termómetros sobre el espectro durante un período largo de tiempo, pues sigue el movimiento aparente del Sol (Figura 43) y aplicaciones para celular, que convierten los colores de una imagen en los fotogramas en colores primarios (rojo, verde y azul) y a la vez permite una imagen en color falso, simulando el infrarrojo (Figura 34).



Fig. 45. Profesor de Bulgaria con una app para teléfono móvil (izquierda) que permite visualizar en el teléfono imágenes en color falso (derecha) (Crédito C. Toma)

7. Herschel con motor de seguimiento

El experimento de Herschel que se montó en la carpa 8 fue el tradicional, con un prisma en el borde de una caja de cartón, pero usamos un trípode de telescopio (Figura 43) y un termómetro digital, similar a los termómetros clínicos, pero de rango de temperatura más amplio, al menos entre 0 y 50° C. El termómetro dispone de un puntero de láser rojo, que muestra el sitio donde está midiendo la temperatura.

La radiación solar, descompuesta en colores, incide sobre cuatro placas metálicas negras que no están en contacto entre sí, para que no se intercambien calor. Se obtuvieron recortando el lateral de una lata de refresco, y se pintan de negro con un rotulador, para que absorban mejor el calor. Se pegan sobre una hoja de cartón pluma o poriexpán, que las aísla del fondo de la caja de cartón, que acaba calentándose por el Sol. Para pegar las placas metálicas usamos cinta de doble cara.

Instalamos la caja en una montura ecuatorial de un telescopio. Como no usamos el tubo del telescopio, basta con una alineación aproximada de la montura con el eje de rotación terrestre. Al pasar el tiempo, el desplazamiento del espectro de colores sobre el fondo de la caja es notable, por la rotación terrestre. Esos desplazamientos se corrigen muy fácilmente con un motor de seguimiento, o con los mandos de la montura.



Fig. 47: Caja sobre una montura ecuatorial de un telescopio (izquierda). Detalle de la caja (derecha).

Se comprueba experimentalmente que la placa que está a la sombra tiene una temperatura notablemente menor que la que está a continuación del rojo, aparentemente también en la sombra (Figura 48). Eso demuestra que existe una radiación invisible que que incide sobre ella y que la calienta.

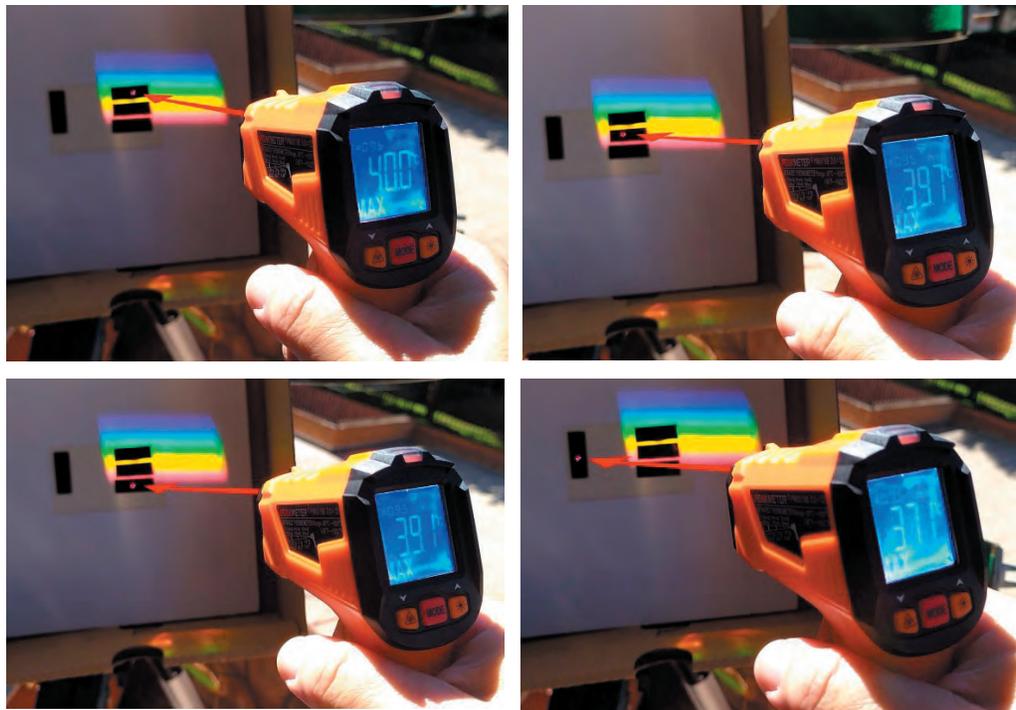


Fig. 48: El termómetro digital señala con el puntero láser rojo la superficie donde se mide la temperatura. Los valores registrados son 40.0 en el verde (arriba, izquierda), 39.7 en el amarillo (arriba, derecha), 39.1 en el infrarrojo (abajo, izquierda) y 37.1 a la sombra (abajo, derecha). Es evidente que el termómetro del infrarrojo señala dos grados más que el termómetro en la sombra. Aunque no se puede ver, hay una radiación que llega y calienta en la zona por debajo del rojo. Para una buena precisión en las medidas, el termómetro debe estar a unos 25 cm de las plaquitas negras

Este forma de hacer el experimento tiene la ventaja de ser visible a cierta distancia, por varias personas a la vez, y que pueden ser ellas las que toman fácilmente las medidas de temperatura.

En este video se muestra cómo hacer el montaje: <https://youtu.be/qFOUs2IeeVQ>

8. Resultados

NASE recibió más de un centenar de informes escritos. Estos trabajos pueden verse en la página web de NASE.



Fig. 49: Distribución por continentes del más de un centenar de trabajos recibidos.

Los informes incluyen evidencias de las observaciones, registro de las cinco series de medidas en los termómetros, efectuadas con una diferencia de un minuto, y fotografías del montaje del experimento, de los asistentes, y los datos geográficos y térmicos del lugar de observación.

Los participantes más numerosos son alumnos de secundaria, aunque es sorprendente que lo hayan realizado, sin duda con ayuda de algún adulto, niños muy pequeños. También hay varias instalaciones propuestas por alumnos universitarios.

Los resultados tienen una pauta común: el termómetro en la sombra marca 1 ó 2 grados menos que el termómetro en el infrarrojo, que a su vez es casi igual o algo superior al termómetro en el azul y amarillo, como cabría esperar.

Quedaba fuera de los objetivos del proyecto una correlación de las medidas obtenidas con las energías de la radiación del Sol en las diferentes longitudes de onda, en su carácter de cuerpo negro. La precisión de los termómetros escolares, la poca diferencia entre las temperaturas de los colores y la dificultad para controlar otros parámetros lo imposibilitaron, pero es una posibilidad de ampliación de este proyecto para los grupos que quieran profundizar más en este el tema.

9. Conclusiones

En lo local, los resultados obtenidos en este proyecto han sido un éxito en Atarfe

- Aproximadamente 1500 estudiantes de 10 escuelas secundarias de Atarfe tuvieron la oportunidad de detectar el infrarrojo y aprender algo de astrofísica.
- Las personas que paseaban por la ciudad de Atarfe el 1 de octubre encontraron varias carpas donde descubrían una nueva radiación que no podían ver, pero si detectar mediante el experimento adecuado, a la manera de Herschel, registrando su temperatura.

A escala europea y global, como resultado de este proyecto:

La asociación EAAE (European Association for Astronomy Education) se va a sumar a la propuesta de proyecto global el próximo año lanzando la convocatoria de forma conjunta con NASE y promoviendo entre sus profesores afiliados y simpatizantes la realización del experimento que sea propuesto, seguramente tan interesante como el de la detección del infrarrojo.

NASE planea repetir un nuevo proyecto global para 2022 que involucre a países en diferentes continentes y repetir un evento final probablemente en más de un país para facilitar la reunión cara a cara entre varios equipos.

Finalmente es necesario agradecer a varias instituciones internacionales que han brindado apoyo al “Proyecto Experimento de Herschel” promoviéndolo en sus países y áreas de influencia:

Cité de la Science en Túnez, Túnez

CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.

EAAE Asociación Europea para la Enseñanza de la Astronomía

ESSTI Instituto Etíope de Ciencia y Tecnología Espacial, Etiopía

IFA Instituto para Astrofísica de la Universidad de Viena

ITAU Unión Astronómica de Profesores Iraníes

SINA Red Internacional Astronómica de Estudiantes

NARIT Instituto Nacional de Investigación Astronómica de Tailandia

Planetario de Beijing, China

Escuela del Magisterio, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

Bibliografía

J. A. Belmonte, F. Berthomieu, A. Costa, H. Deeg, S. Deustua, J. Fierro, B. García, M.K.Hemenway, R. Moreno, J.M. Pasachoff, J. Percy, R.M. Ros, M. Stavinschi, **14 pasos hacia el Universo**, Rosa M. Ros y Beatriz García edi., Barcelona, 2018.

