



5. Informe Ejecutivo de las actividades desarrolladas por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) es un Centro Público de Investigación que forma parte de la red de Centros Públicos del CONACYT en México. El Instituto se encuentra ante los retos de promover la investigación científica y tecnológica, la formación de recursos humanos y la vinculación con los diferentes sectores de la sociedad, coadyuvando a elevar el bienestar social. El proceso de globalización de la economía demanda urgentemente un programa de investigación y desarrollo tecnológico de amplio alcance en nuestro país. La trascendencia del desarrollo científico y tecnológico debe ir más allá de los factores económicos, que indudablemente son indispensables, pero no suficientes, para promover una mejor calidad de vida.

En nuestra calidad de centro público de investigación mantenemos como actividades sustantivas la generación, el avance y la difusión del conocimiento, para el desarrollo del país y de la humanidad, por medio de la identificación y solución de problemas científicos y tecnológicos y la formación de especialistas en las áreas de Astrofísica, Óptica, Electrónica, Ciencias Computacionales y campos afines.

Durante los últimos años el INAOE ha mantenido una productividad constante en la investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos. En primer semestre de 2019 el número de artículos publicados en revistas con arbitraje fue de 121, con una planta total de 160 investigadores (tasa de 0.76 publicaciones por investigador). De estas publicaciones, 113 (93% del total) se realizaron en revistas indizadas en el Journal Citation Report (JCR), principalmente en aquellas pertenecientes a los cuartiles 1 y 2. Este resultado alcanza al 56% del cumplimiento de la meta anual la cual es de 215 publicaciones establecida en el Convenio de Administración por Resultados (CAR).

En los aspectos relacionados con la formación de recursos humanos, las metas planteadas para el 2019 fueron de 65 personas graduadas de maestría y 35 graduadas de doctorado. En este periodo de evaluación se graduaron 37 estudiantes (22 de maestría y 15 de doctorado). Se tuvo una matrícula de 441 personas, de las cuales se tuvieron 396 alumnos activos, se dieron de baja 8 y se graduaron 37, por lo que al mes de junio del año de 2019 se contó con una población activa de 441 estudiantes.



Actualmente, ocho programas de posgrado del INAOE forman parte del Padrón de Posgrados de Calidad del CONACYT (seis de Competencia a Nivel Internacional, dos Consolidados).

Se han continuado y extendido las acciones de divulgación y difusión científica del INAOE dirigidas al público en general. Durante el primer semestre del 2019 el INAOE realizó un total de 270 actividades de divulgación científica. Este número resulta de la suma de actividades realizadas como conferencias, veladas astronómicas, ferias de ciencia, exposiciones y talleres.

Mediante los diversos programas de apoyo del CONACYT, se obtuvieron proyectos de investigación y desarrollo tecnológico que apoyaron las actividades de las áreas sustantivas del INAOE. Así mismo, a través del programa de Cátedras CONACYT, se han incorporado a nuestro personal de investigación un total de 29 personas para el cierre del 2018.

En materia de vinculación productiva y social, se ha superado la meta propuesta en un 22% con la firma de 22 convenios en el área de Desarrollo Tecnológico. Como ejemplos de los proyectos en este rubro están los de la Secretaría de la Marina Armada de México (SEMAR) para el desarrollo e instalación y entrega de dos sistemas de control de tiro optoelectrónica de tiro para montajes BOFORS. Del mismo modo se trabaja con la empresa KNOWLEDGE AND CAPITAL S.A. DE C.V. para realizar una plataforma inteligente de irrigación y agricultura de precisión, para optimización hídrica y energética de cultivos agrícolas en distritos de riego, basada en análisis de datos a tiempo real. El INAOE ha contribuido sustancialmente en la sustitución de importaciones, generando mayor libertad técnica y económica y ha colaborado en un reforzamiento significativo de la seguridad de las costas nacionales.

El Laboratorio de Colorimetría continuó con los servicios de Calibración y Mantenimiento atendiendo a 27 empresas. Adicionalmente, con los Diplomados en Matemáticas se brindó atención a 2858 profesionistas de la educación y a 11 empresas a través de los cursos ofrecidos.



También está la participación del INAOE en los Laboratorios Nacionales CONACYT, tanto como sede principal del Laboratorio Nacional del GTM, así como institución asociada en el Laboratorio Nacional HAWC, el Laboratorio Nacional de Óptica de la Visión, el Laboratorio Nacional de Súper Computo del Sureste de México y el Laboratorio Nacional de Astrofísica en San Pedro Mártir B.C.

El Centro Regional para la Enseñanza en Ciencia y Tecnología del Espacio para América Latina y el Caribe (CRECTEALC) ha continuado ofreciendo cursos de Percepción Remota y Comunicaciones Satelitales, tanto a estudiantes mexicanos como a extranjeros.

Como se manifiesta en el presente informe, el número de publicaciones, la participación en congresos y conferencias, la pertenencia del personal de investigación en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y el número de estudiantes graduados, constituyen algunos de los elementos que dan un cumplimiento exitoso a las metas planteadas tanto en el CAR como en el Plan Nacional de Desarrollo de acuerdo a los numerales: 1. Política y Gobierno- ii. Garantizar empleo, educación, salud y bienestar, y 3. Economía- Ciencia y tecnología.



Reporte de actividades de enero a junio del año 2019 del proyecto Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano



Figura 1. Gran Telescopio Milimétrico con reflector primario completo de 50-m de diámetro

El año 2018 concluyó con la financiación del Consorcio GTM usando nuevos fondos de CONACYT FORDECYT (proyecto numero para operar, mantener y desarrollar la infraestructura física del GTM, y con el acuerdo firmado entre los socios de GTM (CONACYT, INAOE y la Universidad de Massachusetts) para formar el Observatorio GTM.

Desafortunadamente, en diciembre 2018 y principios de 2019, el proyecto GTM ha sufrido varios incidentes violentos de inseguridad en el área que rodea el sitio del telescopio y el campamento base en Ciudad Serdán. Los incidentes independientes no relacionados incluyen el tiroteo no fatal de uno de los miembros del personal del GTM, el robo a mano armada de un vehículo GTM y el secuestro de un miembro del grupo de mantenimiento del telescopio.

Estos resultaron en la inmediata suspensión de observaciones científicas y actividades de ingeniería en el sitio por períodos de tiempo, y por eso una reducción en la eficiencia operativa general de la instalación. Además, tenía la consecuencia de retrasos en los avances de las actividades de la primera etapa de proyectos financiados por el CONACYT-FORDECYT. El equipo de gestión de GTM y el INAOE han estado trabajando estrechamente con los gobiernos federal y estatal, en particular con la Mesa Estatal (Puebla) de Seguridad, para abordar este problema e implementar nuevas medidas de seguridad (instalación de GPS y radios en los vehículos, instalación de botón de pánico y cámaras en las casetas de vigilancia del GTM y el campamento base, nuevos protocolos de comunicación, evaluaciones y reglas de seguridad por recomendaciones de empresa internacional GS3, entre otros) mientras trabajan en el telescopio y viajan a la región cercana al Volcán Sierra Negra con acompañamientos por la Policía Estatal. En mayo 2019 reiniciamos las observaciones nocturnas, de manera reducida, con la esperanza que la situación futura de seguridad mejora en la región cercana al GTM.



Este reinicio del programa científico coincidió con el comienzo del período de verano de menor transparencia atmosférica que impactó negativamente la productividad de las observaciones. Al momento de escribir este informe, el equipo de apoyo científico de GTM se está preparando para regresar al telescopio luego del renovado compromiso del gobierno estatal de proporcionar la seguridad necesaria durante el viaje al sitio de GTM.

En este informe proporcionamos un breve informe sobre los resultados científicos publicados, las actividades de ingeniería y el desarrollo continuo de la nueva generación de instrumentos con tecnología de la vanguardia que se instalarán a fines del 2019 y principios del 2020, y finalmente las actividades de difusión.

1. Resultados Científicos

En el primer semestre del año 2019 se publicaron un total de 9 artículos en revistas arbitradas, con 1 artículo adicional presentado y aceptado para su publicación, todos los cuales utilizan datos recopilados con los instrumentos científicos de GTM.

En este informe nos concentramos en las primeras publicaciones del Event Horizon Telescope (EHT), un importante resultado científico reconocido de 2019 en física fundamental. El experimento EHT se ha descrito en detalle en informes anteriores. En resumen, el EHT es una colección de 9 telescopios operando a las de longitudes de onda milimétricas (el GTM junto con ALMA, APEX, JCMT, SMA, SPT, SMT, IRAM y NOEMA) ubicados en México, Chile, E.E.U.U. (Hawaii, Arizona), Antártida, Francia y España que realizan observaciones interferométricas con líneas de base muy largas (hasta 13000 km) que proporcionan resoluciones angulares suficientes para detectar el horizonte de eventos (la sombra) de los agujeros negros supermasivos más cercanos en nuestra galaxia, la Vía Láctea, y en M87.

En noviembre del 2018, la colaboración de EHT comenzó a distribuir los primeros borradores de la primera serie de 6 artículos científicos, basados en los datos recopilados en abril del 2017, para revisión interna antes de su presentación a una edición especial de ApJ Letters publicada el 10 de abril del 2019. El mismo día, en ruedas de prensa coordinadas simultáneamente en todo el planeta (México, EE.UU., Países Europeos, China, Japón, Chile, Sud África entre otros) salió la primera imagen (foto) de la sombra del agujero negro ubicado en el centro de M87, una galaxia masiva localizada en el cercano cúmulo de galaxias de Virgo. Este agujero negro se encuentra a 55 millones de años luz de la Tierra y su masa equivale a 6.5 mil millones de veces la masa del Sol.

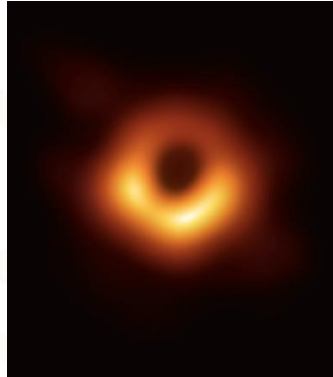


Figura 2. La primera imagen de la sombra de un agujero negro súper masivo en la banda de 1.3mm con el Telescopio de Horizonte de Eventos. La sombra es la silueta del horizonte de eventos dentro una plasma caliente girando alrededor, la singularidad. El diámetro del anillo es aproximadamente 50 micro segundos de arco – el tamaño de una naranja en la superficie de la luna.

La detección de la sombra de un agujero negro y la confirmación de la existencia de una singularidad fue la noticia más grande del mundo este mismo día. En México, el INAOE y el proyecto GTM, junto con el CONACYT, organizó un evento exitoso con la prensa y los medios Mexicanos.

Un mes después de esta publicación la National Science Foundation (NSF) anunció un nuevo premio, el NSF Diamond Achievement Award, que se entregaba por primera vez al equipo internacional de investigadores del EHT. Otorgado a discreción del Director de NSF, el Diamond Achievement Award es el premio máximo de NSF no monetario que reconoce el nivel más alto posible de logro o contribuciones hechas por ciudadanos u organizaciones privadas a la misión de NSF.

El 5 de septiembre de 2019, la Fundación de los Premios Breakthrough anunció a los ganadores de la edición 2020, entre los que se encuentran los 347 científicos que participaron en la captura de la primera imagen del horizonte de eventos del agujero negro en el centro de la galaxia M87, todo ellos miembros del Event Horizon Telescope (EHT), hoy por hoy uno de los proyectos científicos más importantes a nivel mundial.

Además del Dr. Hughes, Director del GTM, entre los galardonados se encuentran David Gale, investigador del INAOE, y los catedráticos del CONACYT Edgar Castillo Domínguez, Arturo Gómez Ruiz, David Sánchez Argüelles y Alfredo Montaña Barbaño, así como Sandra Bustamante y Milagros Zeballos, ex alumnas del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Actualmente, Milagros Zeballos es profesora-investigadora de la UDLAP. Cabe mencionar que entre los participantes del EHT se encuentran investigadores del IRYA-UNAM.



2. Ingeniería e instrumentos científicos

A pesar de los graves problemas de seguridad que han afectado la productividad científica, los equipos de ingeniería en el sitio de GTM e INAOE han continuado las actividades regulares de mantenimiento, las actualizaciones de la infraestructura del telescopio y el desarrollo de la nueva generación de instrumentos científicos.

Aumento a la precisión del reflector primario de 50-metros del GTM:

Una actividad crítica es el programa para aumentar la precisión del reflector primario de 50-metros del GTM. Los trabajos programados para 2019 se concentran en el mejoramiento de los segmentos del anillo 4 del reflector, y la especificación de los componentes requeridos para proceder con las reparaciones y mejoras de un total de 48 segmentos del anillo 3. Esta iniciativa es parte del desarrollo de las capacidades futuras del GTM y convertirse a un telescopio que puede observar en longitudes de onda sub-milimétricas (850 micras, 345 GHz). Este trabajo inicial se implica la adquisición abarca 26 mil componentes de manufactura y más de 100 mil piezas de sujeción para el anillo 3.

Considerando la necesidad de una alta precisión en la alineación de los segmentos actualizados, continuamos en el primer semestre con el programa de revisión, pruebas y mantenimiento y re-certificación de los varios equipos de metrología (laser-trackers y cámaras de fotogrametría). Además el Grupo de Metrología del Laboratorio Nacional del GTM (LANGTM) participó en el proyecto *Desarrollo y Consolidación de certificaciones y acreditaciones, en normas ISO y afines, para Laboratorios Nacionales CONACYT*, en 2018. El Laboratorio recibió certificación en ISO9001:2015 el 6 febrero del 2019, con una duración de 3 años y actualmente está buscando oportunidades de ofrecer su experiencia con contratos externos comerciales.

Conversión de antenas de telecomunicaciones para fines de radioastronomía y el VLBI:

A partir de 2015, el GTM y el LANGTM inició un programa de conversión de antenas antiguas de telecomunicaciones para fines de radioastronomía y el VLBI con observaciones en el rango de frecuencias bajas (1 – 40 GHz), siguiendo el ejemplo y en colaboración con miembros del grupo de DARA (Development in Africa with Radio Astronomy). Actualmente el LANGTM participa en dos proyectos:

- a) **México** - pretende convertir una antena de telecomunicaciones de 32 metros ubicada en Tulancingo Hidalgo. Los colaboradores incluyen la Ciudad del Conocimiento y la Cultura de Hidalgo (PCCyC), el Gobierno del Estado de Hidalgo, el Instituto de Radioastronomía y Astrofísica (IRyA) de la UNAM campus Morelia, el LANGTM-INAOE, la Agencia Espacial Mexicana (AEM), y Telecomunicaciones de México. El proyecto recibió financiamiento para la etapa inicial del Reino Unido vía el *Newton Fund*. En 2019 el Gobierno del Estado de Hidalgo aporta fondos para seguir con las actividades de la conversión.
- b) **Costa Rica** – pretende dar asesoría con el desarmado, traslado y re-armado de una antena de 11 metros, para el Centro de Investigaciones Espaciales (CINESPA) de la Universidad de Costa Rica (UCR). Esta actividad cae dentro del Tercer Proyecto de Cooperación Internacional México-Costa Rica, en cual participan el INAOE y el CINESPA.

Instrumentación Científica:

El primer semestre vio la continuación del programa de desarrollo de instrumentación de próxima generación que involucra colaboraciones tanto nacionales como internacionales. Estos proyectos requieren una fuerte participación de los estudiantes, post-doctorados y en particular los Catedráticos CONACyT relacionados y asignados al GTM.

Un ejemplo es el desarrollo de amplificadores de bajo ruido (LNAs) y un receptor submilimétrico a temperatura ambiente (CHARM) que permitirá la caracterización del rendimiento actual del telescopio y las condiciones atmosféricas del sitio a 345 GHz. Este trabajo se realiza en colaboración con el Grupo de Ingeniería de Microondas y Dispositivos de Bajo Ruido, Universidad de Manchester y el Laboratorio Rutherford Appleton, Reino Unido, con el Laboratorio de Instrumentación de Ondas Milimétricas del INAOE y el GTM. Finalmente resultó en la instalación del receptor CHARM en el GTM en agosto de 2019.

También continuamos el desarrollo de las nuevas cámaras de gran formato de longitud de onda milimétrica, MUSCAT y ToITEC con el apoyo financiero de CONACYT-FONCICYT, el Newton Fund-UK y el National Science Foundations-MSIP y en colaboración con el Reino Unido y los Estados Unidos, respectivamente. Durante el primer semestre se completó la producción de sus ópticas frías y arreglos de detectores de tipo KIDS (Kinetic Induction Devices), así como la integración completa y las pruebas de los sistemas criogénicos y los sistemas de lectura de datos. Paralelamente, se concluyó el diseño de la óptica de acoplamiento y se colocaron contratos para su fabricación, se completó el diseño y la entrega de los sistemas de almacenamiento de datos para ambos instrumentos. Se espera que los instrumentos MUSCAT y ToITEC se entreguen al GTM a fines de 2019.



Figura 3. Rueda de prensa al CONACYT (10 de abril de 2019), con Leopoldo Altamirano (Director General del INAOE), Laurent Loinard (Investigador del IRyA UNAM), María Elena Álvarez-Buylla (Directora General del CONACYT), David Hughes (Director del GTM e investigador del INAOE) y William Lee (Coordinador de la Investigación Científica, UNAM) presentando la primera imagen de un agujero negro súper masivo y la contribución del Gran Telescopio Milimétrico como miembro del Telescopio de Horizonte de Eventos (EHT).



3. Divulgación

Una de las actividades más importantes del quehacer científico es la divulgación. En este sentido, a lo largo de su historia, el GTM ha desarrollado una serie de actividades enfocadas al acercamiento de la población a las actividades científicas que se realizan tanto con el telescopio como en las diferentes áreas del INAOE. Las actividades están dirigidas a todo público, haciendo énfasis en la población infantil, jóvenes y a las mujeres.

Algunos de los programas más sobresalientes de divulgación son:

1. Conferencias y Talleres con el GTM
2. Baños de ciencia con el GTM
3. Campamento Mariposas
4. Campamento "Empoderamiento Científico del GTM"
5. Instalación de stands con actividades en ferias
6. Concursos en escuelas de nivel básico hasta Universidad

Entre ellos, en el primer semestre, los catedráticos CONACYT, estudiantes y miembros del proyecto GTM, impartieron más de 20 cursos, pláticas públicas, talleres y seminarios en los siguientes estados de la República Mexicana: CDMX, Chihuahua, Durango, Hidalgo, Jalisco, Puebla, Nuevo León, Sinaloa y Veracruz, y al extranjero en Costa Rica, Honduras y Reino Unido.

Adicionalmente, se tiene un ambicioso plan para establecer un centro de difusión científica en la cabecera municipal de Atzitzintla, y establecer varias iniciativas nuevas en apoyo a la educación y desarrollo social de esa y otras comunidades aledañas al GTM.

Por lo anteriormente expuesto el GTM continuará con sus actividades sustantivas y nuestro compromiso de generar un mayor número de oportunidades para la transferencia del conocimiento científico y tecnologías relevantes para el beneficio de la sociedad mexicana.