



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS
AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD ZACATENCO

PROGRAMA DE DESARROLLO CIENTÍFICO Y
TECNOLÓGICO PARA LA SOCIEDAD

“La influencia de la comunidad científica en el proceso de creación
y puesta en marcha de megaproyectos científicos en México.
El caso del Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano y
el Observatorio de Rayos Gamma HAWC”

TESIS
Que presenta

Nena Minoa Reséndiz García

Para obtener el grado de

DOCTORA EN CIENCIAS

EN DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA
SOCIEDAD

Directores de Tesis:
Dr. Miguel Ángel Pérez Angón
Dra. Claudia Noemí González Brambila

Ciudad de México

JUNIO 2023

Comité doctoral

Dr. Gerardo Cabañas Moreno, Depto. Física Cinvestav

Dr. Ricardo López Fernández, CGPPM, Cinvestav

Dra. Alma Cristal Hernández Mondragón, Planeación, Profesora invitada CINVESTAV

Dr. Alberto Carramiñana Alonso, INAOE

Agradecimientos

A mi mamá por ser mi porrista incondicional y a mis hermanos que adoro

A mi compañero de vida y a mi hijo amado

A mis profesores por su paciencia, enseñanzas y acompañamiento

A mis queridos amigos Paul y Jaqui

Gracias Guille por tu apoyo

Gracias especiales a Miguel Ángel Pérez Angón, Claudia González Brambila, Alberto Carramiñana, Gerardo Herrera, Frixione, Navarro, Manuel Gil Antón, Conde Contar, Alma C. Hernández, Pepe Franco, José Guichard, María L. Vázquez, Fabian Rosales, René Asomoza, Alejandra Sánchez Vázquez, Liliana Cossetta, Eduard De La Cruz Burelo, Joaquín Hernández, José Perez, Olimpia Figueiras, América Padilla

Muchas gracias, Miguel Sosa, Sonia, Claudia y a todo el equipo del auditorio y biblioteca

Agradezco a CONACyT por otorgarme la beca para mis estudios de doctorado

Contenido

Resumen	6
Abstract	6
Capítulo 1. Introducción	8
1.1 Justificación	8
1.2 Objetivos	11
1.3 Preguntas de investigación	12
1.4 Metodología	13
Capítulo 2. La creación de grandes proyectos de infraestructura científica	15
2.1 Grandes proyectos de infraestructura científica en el mundo	15
2.2 Grandes proyectos de infraestructura científica en México	23
Capítulo 3. Comunidades científicas en el proceso de creación y puesta en marcha de megaproyectos científicos en México	25
3.1 El Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano	25
3.2 El Observatorio de Rayos Gamma HAWC	26
3.3 Línea de tiempo de la creación y puesta en marcha de GTM y HAWC	28
3.4 Resultados y discusión	32
3.4.1 Dimensión Productividad científica	32
3.4.2 Países	36
3.4.3 Red de colaboración	38
3.4.4 Inseguridad y pandemia como condiciones emergentes y su impacto en la actividad científica	49
Capítulo 4. Análisis de dimensiones del contexto de la creación y puesta en marcha GTM y HAWC	51
4.1 Dimensiones	51
4.1.1 Dimensión política	51
4.1.2 Instrumentos normativos y de política pública	52
4.1.3 Dimensión social	53

4.1.4 Dimensión tecnológica	54
4.1.5 Dimensión económica	55
4.1.6 Dimensión ambiental	60
4.2 Política pública para la creación de grandes proyectos de infraestructura científica en nuestro país	61
4.2.1 Ejemplos de instrumentos y mecanismos para la creación de grandes proyectos de investigación científica	61
Capítulo 5. Conclusiones	64
Referencias	65
Anexo 1. Grandes infraestructuras científicas en perspectiva	70
Anexo 2. Propuestas aprobadas 1ª etapa. CONACyT megaproyectos 2006	74
Anexo 3. Transcripción de la carta del Dr. Edmundo A. Gutiérrez D. 2020	77
Anexo 4. Relación de entrevistados	78

Resumen

La creación y construcción de proyectos de infraestructuras e instrumentos de gran escala que caracterizan los megaproyectos científicos requieren la participación de actores de la comunidad científica, políticos, empresas y población. Esta investigación tiene por objeto analizar la influencia, como la capacidad de intervenir en una decisión pública, de los científicos en la creación y puesta en marcha de megaproyectos científicos en México, a través del estudio de caso del Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano (GTM) y el Observatorio de Rayos Gamma (High Altitude Water Cherenkov Observatory - HAWC), ambos adscritos al Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Eléctrica (INAOE) y de carácter binacional. Cada laboratorio es utilizado por una comunidad amplia de investigadores de diferentes instituciones y nacionalidades. La investigación que se realizó es de carácter descriptivo, con una metodología de corte mixto; se analizó desde un enfoque transdisciplinario la integración de diferentes dimensiones de análisis, como la política, social, económica, ambiental, tecnológica y académica-científica, con el objeto de hacer inteligible el proceso de participación de los científicos que promovieron la creación y puesta en marcha de dichos proyectos. Los hallazgos permitirán reconstruir el camino trazado por cada proyecto y con ello contribuir al impulso y creación de otros megaproyectos que están en espera. Una de nuestras principales conclusiones indica que un aspecto crítico para garantizar el éxito de grandes megaproyectos en países en desarrollo es contar con un equipo de investigadores con amplia experiencia científica y tecnológica.

Abstract

The creation and construction of large-scale infrastructure projects and instruments that characterize scientific megaprojects require the participation of actors from the scientific community, politicians, companies, and the population. This research aims to analyze the influence, such as the ability to intervene in a public decision, of scientists in the creation and implementation of scientific megaprojects in Mexico; we study the Alfonso Serrano Large Millimeter Telescope (GTM) and the Gamma Ray Observatory (High Altitude Water Cherenkov - HAWC), both are associated to the National Institute of Optical and Electrical

Astrophysics (INAOE) and binational projects. Each laboratory is used by a wide community of researchers from different institutions and nationalities. The research carried out is explanatory, with a mixed methodology, in which the integration of different dimensions of analysis, such as political, social, economic, environmental, technological, and academic-scientific, will be analyzed from a transdisciplinary approach, to make intelligible the process of participation of the scientists who promoted the creation and implementation of these projects. The findings will allow us to reconstruct the path traced by each project and thereby contribute to the promotion and creation of other megaprojects that are on hold. We conclude that a critical aspect to guarantee the success of megaprojects in developing countries is the expertise of the team involved in such enterprises.

Capítulo 1. Introducción

1.1 Justificación

Analizamos los grandes hechos históricos en la creación y puesta en marcha de megaproyectos científicos en México, con el fin de entender parte de la idiosincrasia del desarrollo de la investigación científica en nuestro país y sus principales retos desde una perspectiva transdisciplinaria.

Adicionalmente, analizamos la influencia de la comunidad científica en la creación y puesta en marcha de megaproyectos como el GTM y HAWC que es relevante para reconocer los factores que hicieron posible la instauración de estos proyectos.

Se consideran los diferentes retos a los que se enfrentaron los proyectos (políticos, normativos, sociales, tecnológicos, económicos, ambientales y de productividad científica), para aprovechar las lecciones aprendidas y contribuir a la definición de políticas públicas que permitan la creación de nuevos megaproyectos en nuestro país.

También, el análisis comparativo de estos dos observatorios podría aplicarse a otros megaproyectos mexicanos y de América Latina desde la perspectiva de la implementación de las políticas públicas de ciencia y tecnología: el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Langebio, la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), en el caso mexicano, y en el latinoamericano el Observatorio Pierre Auger de Argentina, por mencionar algunos.

Llevar a cabo la investigación sobre la influencia, entendida como la capacidad de intervenir en una decisión pública, de los científicos en la creación y puesta en marcha de megaproyectos, contribuye a la construcción de un mapa de ruta con el objeto de apuntalar con mayor precisión las propuestas y trabajo que requiere la aprobación de nuevos proyectos.

Así mismo, contaremos con información puntual con la que podríamos sugerir, desde la comunidad científica, la incorporación de políticas públicas que favorezcan la creación de nuevos megaproyectos en México, y contribuir a superar la realidad contemporánea de la ciencia y tecnología en nuestro país.

Abordamos la investigación desde la perspectiva transdisciplinaria e implica el reconocimiento de diferentes niveles de realidad y lógicas, es multirreferencial y multidimensional, trasciende el dominio de las disciplinas, es complementaria a la investigación disciplinaria y señala la necesidad del rigor en la argumentación (Nicolescu, 1998).

Sobre la participación de la comunidad científica y académica en el ámbito político del sector educativo y científico-tecnológico se revisó la literatura de diferentes autores y documentos oficiales (García, 1980, en: FCCyT, 2013; Clark, 1991; Becher, 2001; Mendoza, 2009; Rubio, 2006; FCCyT, 2013, 2012; CONACyT, 2010; PECiTI, 2013; Ley de Ciencia y Tecnología, 2002).

Algunos autores señalan la participación de las comunidades científicas y académicas en el sistema de educación superior, en donde se presentan tensiones internas relacionadas con las discrepancias entre la coordinación de la política nacional, estatal e institucional, y las costumbres, intereses, visiones y reglas del juego que establecen los diferentes actores del sistema (Rubio, 2006). En ese escenario, entender el tejido de las organizaciones académicas permite analizar la expresión de los valores académicos y las bases de la influencia que pueden ejercer (Clark, 1991). Para los fines de esta investigación se entiende por influencia la capacidad de intervenir en una decisión pública (Franco, 2016; Xifra, 2000; López, et al, 2011; Gobernación, 2018).

Considerando lo anterior, la actividad académica no puede estar separada de las estructuras políticas y económicas que la enmarcan, ya que el clima económico es uno de los factores que condicionan el desarrollo de la educación superior, la ciencia y la tecnología (Becher, 2001). De esta manera, en lo referente a los subsidios para el desarrollo científico, se requiere del cabildeo político-profesional para conseguir subvenciones, tarea que se sugiere deben cultivar los académicos de carrera exitosos (Becher, 2001) y científicos ya que las capacidades de cabildeo son bajas (Aréchiga, 1993).

Un ejemplo de la presencia de actores de la comunidad académica-científica en el ámbito de la política es el acercamiento de los rectores de las universidades públicas, y la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), con las autoridades de la Secretaría de Educación Pública (SEP) y los legisladores de la

Cámara de Diputados para enriquecer la discusión, las negociaciones y mejorar la asignación presupuestal federal para la educación superior (Mendoza, 2009).

Particularmente, en el caso de los científicos, podemos señalar que además de generar nuevo conocimiento científico, fungen también como actores políticos (Vinck, 2014). La creación de grandes infraestructuras de investigación son resultado de la participación de investigadores que movilizan a los actores políticos y a otros agentes interesados de la propia comunidad científica (Vinck, 2014).

Una de las características fundamentales de la creación de megaproyectos, o grandes infraestructuras de investigación, es que involucra muchos años de preparación para la toma de decisiones y las negociaciones intergubernamentales para su aprobación y puesta en marcha (Vinck, 2014).

Respecto de la participación de la comunidad científica en el diseño e implementación de la política científica y tecnológica, se pueden señalar algunos tipos de participación entre los que se encuentran: (a) el cabildeo, asesoría y consultoría, diseño e instrumentación de la política de ciencia y tecnología y sus programas, fuga interna de cerebros entendido como la participación de personas de la comunidad científica desempeñando funciones institucionales en CONACyT (FCCyT, 2013); y (b) la evaluación vía los comités de pares académicos (FCCyT, 2012).

La comunidad científica involucrada en la creación de grandes proyectos de investigación científica es indispensable ya que son sus integrantes los que realizan actividades de acercamiento con personas del sector político y financiero; además atienden largas negociaciones, temas de gobernanza internacional y toma de decisiones, acceso a los sitios, así como temas administrativos y legales (OCDE, 2008, 2010; Müller, Schmitz, y Josten, 2020; Melchor, Josten, Elorza, Meyer, and Lacunza, 2020)

En el caso del enfoque de política pública, sus instrumentos y mecanismos, se consideran los trabajos de Villanueva (1992), Roth (1999), Wayne (2007) y Franco (2016).

Para el análisis de las relaciones entre diferentes actores, integrantes de la comunidad científica, y organismos, como CONACyT, se consideran estudios desde el análisis de redes y estudios sociales (Freeman, 2004; Gil Mendieta, 2005; Adler, L, 1994).

Respecto de los estudios sociales de ciencia, tecnología y sociedad, se retoman los trabajos de Kreimer, Vesuri, Velho, y Arellano (2014), y Latour (2008), con el fin de

estudiar la integración de las relaciones sociales y sus sinergias, considerando el enfoque sociotécnico.

1.2 Objetivos

Objetivo general

Analizar desde una perspectiva transdisciplinaria la influencia de la comunidad científica en la creación y puesta en marcha de los megaproyectos científicos GTM y HAWC en el contexto de las políticas públicas mexicanas en ciencia y tecnología.

Analizar el marco normativo de las políticas públicas y financieras involucradas en la creación de megaproyectos científicos con el fin de proponer esquemas de generación de nuevos megaproyectos en la actual legislación mexicana como resultado de las experiencias obtenidas en el GTM y HAWC.

Objetivos específicos

- Analizar las actividades realizadas por la comunidad científica involucrada en la creación y puesta en marcha del GTM y HAWC relacionadas con el cabildeo y la negociación, en los diferentes escenarios (nacional, internacional) y contextos (político a nivel federal y local, económico, y social con la comunidad de Atzizintla).
- Analizar las características generales de las tecnologías requeridas y sus implicaciones (científico-políticas) en la creación y puesta en marcha de cada proyecto.
- Comparar la productividad científica del GTM y HAWC y los factores determinantes involucrados, como reflejo del proceso de creación y puesta en marcha del GTM y HAWC.
- Comparar las condiciones económicas relacionadas con la asignación de fondos para la creación y puesta en marcha de los proyectos.
- Analizar el marco normativo ambiental para la para la creación y puesta en marcha del GTM y HAWC.

La contribución científica de este trabajo radica en la aportación de un modelo de análisis desde un enfoque transdisciplinario y conjuntar aspectos cualitativos y cuantitativos para

reconstruir hechos que permitan trazar el trayecto de los factores que dan pie a grandes proyectos científicos; esperamos determinar la influencia de los científicos en la creación y puesta en marcha de mega proyectos en México, a través del estudio del GTM y el HAWC; en particular se encontró una brecha en la teoría en donde se muestra una tendencia a privilegiar el uso de indicadores cuantitativos (publicaciones, citas) y otra vertiente donde se toman en cuenta las narrativas de los casos en términos históricos. También nos interesa contribuir a trazar una ruta para fomentar la creación de nuevos megaproyectos científicos en nuestro país, en el contexto de las políticas públicas mexicanas en ciencia y tecnología.

1.3 Preguntas de investigación

¿Cuál son los factores sociales, políticos, económicos y de investigación, que dan pie a la creación de megaproyectos en nuestro país?

¿Qué actividades realizaron los científicos fundadores para intervenir en la creación y puesta en marcha de megaproyectos en México en el caso del GTM y el HAWC?

¿Qué instituciones estuvieron involucradas y qué características presentan?

¿A qué retos se enfrentaron los proyectos en términos políticos, económicos, tecnológicos, sociales, ambientales para su creación y puesta en marcha?

¿Cuáles son las experiencias obtenidas de la creación y puesta en marcha del GTM y HAWC para la creación y operación de nuevos megaproyectos?

¿Cuáles fueron los factores que determinaron las diferencias entre ambos proyectos: tiempo de terminación (24/7 años), montos de las inversiones (200/15 mdd), producción e impacto científicos (192/399), artículos originales de investigación (68/268), ¿número de investigadores involucrados en cada colaboración (436/500+)? (Datos al 2022).

Hipótesis de investigación

La creación y puesta en marcha de mega proyectos como el GTM y HAWC no son posibles sin la participación activa de la comunidad científica que realiza actividades de cabildeo, persuasión, seguimiento y recaudación de fondos; ello permite enfrentar diferentes retos políticos, normativos, sociales, tecnológicos, económicos, ambientales y de productividad científica; asimismo contribuye a la instauración y operación de ambos proyectos sentando precedente para la creación de nuevos mega proyectos en nuestro país, dentro del marco normativo mexicano.

1.4 Metodología

La investigación es de corte mixto (cuantitativo, cualitativo), con alcance descriptivo, desde una perspectiva transdisciplinaria.

Se retomaron enfoques de política pública, productividad y estudios sociales de ciencia tecnología y sociedad, para analizar las siguientes dimensiones: política, normativa, social, tecnológica, económica, de productividad científica y ambiental.

Se colectaron datos de diferentes fuentes como entrevistas, documentos, material videográfico, y bases de datos (Robson, 2002).

Para recabar información cualitativa etnográfica (Goetz y LeCompte, 1988; Robson, 2002) se realizaron entrevistas a informantes cualificados de la comunidad científica involucrada en la creación, diseño y desarrollo del GTM y HAWC.

Se analizaron documentos que dan cuenta de la participación de los diferentes actores (personas e instituciones) de las comunidades científicas en el diseño y operación de GTM y HAWC.

Se construyó una línea de tiempo que da cuenta de la perspectiva histórica articulando los diferentes factores presentes en el contexto a lo largo del proceso de creación y puesta en marcha del GTM y HAWC.

Sobre la productividad científica se analizaron bases de datos de Web of Science. Los queries utilizados fueron: TS= ("Large Millimeter Telescope" OR "LMT/GTM") AND PY= (1994-2022); TS= ("Event Horizon Telescope" OR "Large Millimeter Telescope" OR

"LMT/GTM") AND PY= (2019-2022); TS= ("High Altitude Water Cherenkov Observatory" OR ""HAWC"") AND PY= (1994-2022).

Fue necesario considerar el Telescopio de Evento de Horizonte (EHT) ya que desde el 2017 el LMT/GTM colaboró en la toma de datos de manera simultánea junto con siete radiotelescopios que conformaron el EHT. Algunos datos fueron procesados durante dos años y dieron origen a las publicaciones sobre la primera fotografía de un agujero negro (el M87) en 2019. Dos años después, en 2022 presentaron de manera simultánea la imagen del agujero negro que se encuentra en el centro de nuestra galaxia, Sagitario A* (SgrA*) (EHT, 2019, 2022). Ambos conjuntos de publicaciones y presentaciones fueron posible gracias la participación del LMT/GTM Alfonso Serrano.

De manera adicional, se retomó la perspectiva de análisis de redes sociales como herramienta analítica (ARS) para estudiar la presencia, participación, estructura y dinámica de los actores de la comunidad científica involucrados. Se entiende por red social al conjunto de individuos u organismos que se encuentran relacionados en torno a intereses particulares; su análisis tiene como objeto estudiar las implicaciones de los vínculos, en términos relacionales, entre actores u organismos que conforman una red (Gil, y Schmidt, 2005; Adler, 1994).

Para el análisis se consideraron tres grandes etapas que se entrelazan: (a) la primera se refiere al análisis de la presencia y participación de los actores (personas e instituciones) de los ámbitos científico, político, empresarial, tanto en plano nacional como internacional; (b) la segunda se refiere a los sucesos contextuales que enmarcaron diversos retos, de diferente orden (político, económico, social, ambiental, tecnológico), que influyeron en la creación y puesta en marcha de ambos proyectos; (c) en la tercera se analizará la producción científica derivada de ambos proyectos para determinar el impacto científico de cada uno de los dos proyectos.

Capítulo 2. La creación de grandes proyectos de infraestructura científica

2.1 Grandes proyectos de infraestructura científica en el mundo

Grandes infraestructuras científicas en perspectiva

Al estudiar grandes proyectos de infraestructura científica se necesita considerar que, debido a los costos requeridos en el orden de millones de dólares, y al alto riesgo que implica dicha inversión, es probable que su aprobación y creación sean controversiales (Travis, 1993); así como la extensión del tiempo de construcción de las diferentes etapas que acompañan su evolución, y el incremento en los costos presupuestados (Flyvbjerg, 2005; 2014; Flyvbjerg, Gardner, 2023).

De acuerdo con Flyvbjerg (2017) los megaproyectos son empresas con alto grado de complejidad a gran escala y que se caracterizan por implicar costos de millones, además de requerir muchos años en desarrollarse y construirse, así mismo, involucran a diferentes partes interesadas del sector público y privado, tienden a ser transformadoras e impactan a un gran número de personas.

Algunas características involucradas en los grandes proyectos de infraestructura científica se muestran en la siguiente tabla (información completa en el Anexo 1).

Tabla 1. Ejemplo de grandes proyectos de infraestructura científica

Nombre	Timeline	Presupuesto	Localización	Sitio Web
Square Kilometre Array	2016 to 2024	1,500 million euros.	Los sitios se incluirán en Australia y Sudáfrica. Sede ubicada en Manchester, Reino Unido.	http://www.skatelescope.org/
Extreme Light Infrastructure	Target operational year of 2015.	1,000 million euros. More than 40 laboratories from 13 countries funded the ELI preparatory phase.	Sites currently built in Prague (Czech Republic), Szeged (Hungary) and Magurele (Romania). The highest intensity pillar location is still to be decided.	http://www.extreme-light-infrastructure.eu/
Very Large Telescope Array	The first unit telescope began functioning in 1999.	Investment of 78 million US dollars.	The main facility is located in Chile.	https://www.eso.org/public/teles-instr/vlt.html
Large Hadron Collider	Comenzó el 10 de septiembre de 2008 y operará durante dos meses en 2013 y se cerrará por actualizaciones. Reapertura prevista para principios de 2015.	7.5 billion euros.	Cerca de Ginebra, Suiza, donde se extiende la frontera entre Suiza y Francia.	http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/ http://lhc.web.cern.ch/lhc/

International Space Station	1998--2020.	45 billion US dollars. (45,000,000,000 dollars)	Ubicado fuera de la atmósfera de la Tierra.	http://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/index.html
Neptune Canada Undersea Observatory	Los instrumentos se instalaron en 2011 y 2012, y todavía están actualmente en funcionamiento.	12 million US dollars.	Se encuentra frente a la costa oeste de la isla de Vancouver, Columbia Británica.	http://www.neptunecanada.com/
International Thermonuclear Experimental Reactor	Comenzó en 2010 y se espera que se complete en 2020. Las operaciones programadas comenzarán en 2027.	15 billion euros.	Instalaciones principales en Francia.	http://www.iter.org/
Atacama Large Millimeter/Sub-Millimeter Array	Los pasos preparatorios comenzaron en 1995 y la operación a gran escala comenzará en 2013.	1 billion US dollars. (1,000,000,000 USD)	En la meseta de Chajnantor, 5000 metros de altitud en el norte de Chile.	http://www.almaobservatory.org/

Elaboración propia. Fuente: Network Startup Resource Center (NSRC). Big Science list. University of Oregon, <http://www.nsrc.org>

En esta relación se encuentran siete proyectos de gran infraestructura científica (SKA, Square Kilometre Array; ISS, International Space Station; ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor; ALMA, Atacama Large Millimeter/Sub-Millimeter Array; ILC, International Linear Collider – Propuesta; 1000 Genomes Project; SDSS, Sloan Digital Sky Survey) que consideran tiempos de construcción y operación en un intervalo de 10 a 20 años, con costos que oscilan entre 26 millones de dólares y 45 billones de dólares americanos (NSRC, 2019).

Flyvbjerg (2005) señala que el mayor problema de la planeación de grandes proyectos de infraestructura es el alto nivel de desinformación acerca de los costos y beneficios que los tomadores de decisiones requieren al construir y el alto riesgo que ello genera. La toma de decisiones y la planificación son procesos que involucran a un gran número de personas con conflicto de intereses, lo que contribuye a que se presenten contingencias presupuestarias inadecuadas que desestabilizan la política, la planeación, la implementación y las operaciones de los proyectos (Flyvbjerg, 2005)

Respecto a las implicaciones de la creación de grandes proyectos de infraestructura Flyvbjerg (2014) señala cuatro criterios que se presentan y conforman lo que él llama “ley de Hierro”: sobre costos respecto a la propuesta inicial, incremento en el tiempo de entrega, bajos beneficios y que esto se repite una y otra vez.

Como ejemplo de los sobre costos y el incremento en el tiempo de un proyecto de gran infraestructura científica se encuentra el Telescopio espacial James Webb de la NASA que se tardaría 12 años en construir y requirió 19 para terminarlo, y su costo final fue de 8.8 billones de dólares americanos, 450% por encima del presupuesto (Flyvbjerg, 2023).

En la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos de sobrecostos de 25 diferentes tipos de proyectos de gran infraestructura (Flyvbjerg, Gardner, 2023):

Tabla 2. Sobrecostos por tipo de proyecto

Tipo de proyecto	Sobrecosto medio %
Almacenamiento nuclear	238
Energía nuclear	120
Represas hidroeléctricas	75
Represas no hidroeléctricas	71
Aeroespacial	60
Defensa	53
Petróleo y gas	34
Energía eólica	13
Energía solar	1

Fuente: Flyvbjerg, B., Gardner, D. (2023). How big things get done. Currency. Ney York

El riesgo de sobrecostos mostrados en los ejemplos de la tabla 2 requiere especial atención para las planeaciones de largo alcance de los proyectos de gran infraestructura científica.

En ese sentido Hallonsten, (2020) verificó que la ley de hierro sí se aplica para los grandes proyectos de infraestructura científica de Europa: analizó 17 proyectos en el Foro Estratégico Europeo sobre infraestructuras de investigación. Entre los resultados se encontró que es casi imposible prever y hacer estimaciones realistas de los costos y cronogramas para todos los procesos involucrados en estos proyectos de alto grado de complejidad (Hallonsten, 2020). Debido a las incertidumbres tecnológicas involucradas en este tipo de proyectos es inevitable exceder costos y tiempos, tomando en cuenta los largos horizontes de planificación (tablas 3 y 4).

Tabla 3. Cambios en costos estimados entre 2006 y 2018 (Hallonsten, 2020)

Nombre	Costo estimado (million euros) 2006	Valor actual (millions euros) 2018	Incremento (million euros) plus
Jules Horowitz Reactor (JHR)	500	1800	1300
European Spallation Source (ESS)	1050	1843	793
Extreme Light Infrastructure (ELI)	150	850	700
European X-Ray Free-Electron Laser (XFEL)	986	1490	504
Extremely Large Telescope (ELT)	850	1120	270
European Infrastructure for Translational Medicine (EATRIS)	255	500	245
Système de Production d'Ions Radioactifs en Ligne de 2e générations (SPIRAL2)	137	281	144
Integrated Structural Biology Infrastructure (INSTRUCT)	300	400	100
Institute Laue-Langevin (ILL) upgrade	160	188	28
Biobanking and Biomolecular Resources Research Infrastructure (BBMRI)	170	195	25

Fuente: Hallonsten, O.; Cramer, K. (2020). Big Science and Research Infrastructures in Europe. Edward Elgar Publishing. UK, USA

Tabla 4. Cambios en los tiempos estimados entre 2006 y 2018 (Hallonsten, 2020)

Nombre	Fecha estimada de operación en 2006 roadmap	Fecha real de operación en 2018 roadmap	Cambio (años)
Integrated Structural Biology Infrastructure (INSTRUCT)	2007	2017*	10
Système de Production d'Ions Radioactifs en Ligne de 2e générations (SPIRAL2)		2019	8
Jules Horowitz Reactor (JHR)	2014	2022	8
European Spallation Source (ESS)	2017	2025	8
European Life-Science Infrastructure for Biological Information (ELIXIR)	2007	2014*	7
Square Kilometer Array (SKA)	2014-20	2027	7-13
The European Infrastructure for Phenotyping and Archiving of Model Mammalian Genomes (Infrafrontier)	2007	2013*	6
Integrated Carbon Observation System (ICOS)	2010	2016*	6
Extremely Large Telescope (ELT)	2018	2024	6
Biobanking and Biomolecular Resources Research Infrastructure (BBMRI)	2009	2014*	5
European Multidisciplinary Seafloor and Water Column Observatory (EMSO)	2011	2016*	5
Extreme Light Infrastructure (ELI)	2013	2018*	5
European X-Ray Free-Electron Laser (XFEL)	2013	2017*	4
Institute Laue-Langevin (ILL) upgrade	2012-17	2020	3-8
Partnership for Advanced Computing in Europe (PRACE)	2008	2011*	3
European Infrastructure for Translational Medicine (EATRIS)	2010	2013*	3
Science and Technology Infrastructure for Biodiversity Data and Observatories (LIFEWATCH)	2014	2017*	3

Fuente: Hallonsten, O.; Cramer, K. (2020). Big Science and Research Infrastructures in Europe. Edward Elgar Publishing. UK, USA

Por su parte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) como un organismo encargado de delinear políticas públicas, en el Foro Global de Ciencia propuso un mapa de ruta para establecer nuevas infraestructuras de carácter internacional a partir del análisis de las experiencias de 20 casos previos. Se propuso una planeación estratégica sistemática, con la intención de avanzar en la elaboración de políticas, retomando las prácticas pasadas basadas en el cabildeo de personas o comunidades científicas fuertemente motivadas. Las consideraciones básicas contemplan diferentes elementos (OCDE, 2008, 2010):

- a) Legales y Administrativos (acceso al sitio, recursos y datos, negociaciones internacionales, selección del sitio),
- b) Financiamiento y contribuciones (costos de operación y acceso científico a la infraestructura),
- c) Gerente de proyecto
- d) Equipamiento
- e) Personal

En lo que respecta a los estudios de la interfaz ciencia política y a la diplomacia científica inmersos en los grandes proyectos de infraestructura científica se menciona que debido a la envergadura de ese tipo de proyectos se requieren inversiones millonarias, un gran número de miembros y largas negociaciones, por lo que es indispensable una gobernanza internacional y órganos de toma de decisiones. Se tiene algunos ejemplos de grandes proyectos de infraestructuras científicas que son puntos de encuentro para investigadores de todo el mundo: CERN, SESAME, ITER (Müller, Schmitz, y Josten, 2020; Melchor, Josten, Elorza, Meyer, and Lacunza, 2020).

Algunos ejemplos del establecimiento de colaboraciones efectivas en canto a gobernanza y liderazgo de grandes proyectos de infraestructura científica son el Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN), Estación Espacial Internacional (ISS), Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER) y Luz Sincrotrón para Ciencia Experimental y Aplicaciones en Oriente Medio (SESAME) Cada ejemplo implicó un proceso de planeación largo, enfrentar cambios en el contexto político, trabajo constante

de las comunidades científicas y tomadores de decisiones interesados en los proyectos, creación de mecanismos e instrumentos de gobernanza y gestión de conflictos entre los involucrados (Robinson, 2021; Melchor, Josten, Elorza, Meyer, and Lacunza, 2020).

Entre los instrumentos que se crearon para la gobernanza de dichos ejemplos se encuentran la Convención para su establecimiento, Memorándums de entendimiento, así como acuerdos intergubernamentales. En ellos se estipulan la estructura de gobierno, organización, estatus legal, reglas de operación, contribuciones financieras, mecanismos para solución de disputas, protocolos de financiamiento, así como el establecimiento de auditorías (Robinson, 2021; CERN, 2023; NASA, 2010; ITER, 2007; SESAME, 2004).

Megaproyectos en países en desarrollo

Por otra parte, en relación con los megaproyectos (entendidos como sistemas complejos) en países en desarrollo, se identificaron algunos retos a los que se enfrentan (Damayanti, Hartono, Wijaya 2021):

Tabla 5. Retos de implementación de megaproyectos en países en desarrollo

Estructural / Proyecto	Social
Relación de gran número de tópicos (metas, actividades, tareas, conocimiento multidisciplinario; gran número de procedimientos, leyes y regulaciones; planeaciones de larga duración)	Relación entre diferentes entidades (equipo nacional e internacional, participantes, organizaciones, socios, subcontratistas, proveedores)
Falta de sincronización aspectos técnicos (región, contratos, regulaciones, tecnología, información, costo de proyecto, equipo experto)	Posibles conflictos de interés entre participantes (rechazo por parte de la comunidad, interés global, motivos, objetivos)
Condiciones de la naturaleza (clima, medio ambiente, sitio)	Falta de claridad y transparencia entre participantes grupos y roles; contexto político, opositores y riesgo financiero.
Sistema de gobernanza inmaduro (capacidad institucional débil, salario no estandarizado de trabajadores).	Falta de comunicación entre entidades
Costo del proyecto sin definir con claridad (países y organizaciones involucrados)	Optimismo de las entidades involucradas en el megaproyecto (equipo de trabajo y participantes)
Cambios inesperados en aspectos técnicos (tecnología, procesos, diseños, alcance, calidad,	Apoyo inestable, comité de gobierno y tomadores de decisiones, clientes, participantes.

avance planeado)	
Falta de experiencia y capacidad de organización, administración en megaproyectos (estudios de viabilidad, financiación, planeaciones largas, monitoreo)	Falta de sincronización entre gobierno, apoyo de partes interesadas, compromiso y participación
Complejidad en burocracia por conflicto de procedimientos, leyes y políticas públicas.	
Inestabilidad económica, legal, políticas y condiciones de regulación (incertidumbre económica)	

Fuente: Damayanti, Hartono, Wijaya (2021). Clarifying megaproject complexity in developing countries: A literature review and conceptual study. *International Journal of Engineering Business Management*, Volume 13: 1–25.

Así mismo, en relación con las estrategias de administración para responder a la complejidad de los megaproyectos en los países en desarrollo sugieren considerar los siguientes aspectos (Damayanti, Hartono, Wijaya 2021):

Tabla 6. Elementos de la estrategia de administración para implementación de megaproyectos en países en desarrollo

Leyes, políticas, reglamentos y procedimientos.	A nivel país, se requiere establecer criterios para proyectos prioritarios, acuerdos transnacionales; negociación entre regiones para ejecución de megaproyectos; formulación de sistema legal político y regulatorio para implementación de megaproyectos; formulación de sistema para favorecer creación de empresas conjuntas (joint ventures); garantía de compromiso gubernamental en sistemas legales, políticos y regulatorios; eficiente gestión burocrática para favorecer entornos empresariales interesados en megaproyectos. Política financiera para cubrir costo de mantenimiento público a largo plazo, así como el beneficio de la sostenibilidad para la comunidad.
Desarrollo de capacidades humanas y liderazgo.	A nivel país, aumentar capacidades institucionales y empresas locales. Capacitar para mejorar habilidades de gestión de megaproyectos. Gestión de alianzas con socio experto. Capacidad del gerente de proyecto. Líder de proyecto para apoyar la planificación y estrategia de flexibilidad ante imprevistos.

	<p>Incorporar, en su caso, las necesidades de la población rural y prioridades en la política y planeación del proyecto y en participación de la comunidad, Líder de proyecto con capacidad para enfrentar diferencias culturales, favorecer sinergia cultural (local y global).</p>
<p>Gestión de la complejidad de megaproyectos (integración, flexibilidad, factor social)</p>	<p>Creación de empresa conjunta (joint venture) internacional para financiamiento y cooperación. Designar agentes jurídicos de proyecto para utilizar mecanismos operativos. Coordinación adicional para fortalecer gobernanza y apoyo gubernamental durante ejecución del megaproyecto. Marco jurídico para enfrentar posible inestabilidad económica. Agentes legales dan seguimiento a acuerdos de adquisición y dificultades de ejecución. Mitigar posibles efectos negativos de controversias y reclamaciones entre involucrados. Cooperación vertical y horizontal ente autoridades de diferentes niveles. Estimar gestión de revisiones de terceros para reducir sesgo de “optimismo”. La organización conforma estructura que favorece justificación sistemática de la inversión. Implementación de gestión de megaproyectos en la planificación, monitoreo y control para maduración del proyecto. Líder de proyecto crea ambiente abierto de intercambio entre miembros del equipo del proyecto, evalúa y mitiga riesgos y pronósticos.</p>
	<p>A nivel país, garantía gubernamental del compromiso estatal para implementación de megaproyecto. Gobierno como regulador y coordinador. Coordinar armónica entes actores de megaproyectos. A nivel organización, gestión de alianzas y reparto de riesgos a socios múltiples. Gestión de largo plazo para mitigación de riesgo por inestabilidad social y política. Comunicación abierta y transparente para las partes interesadas. Participación activa de interesados para ajustar y negociar estrategia para enfrentar posible cambio en situación social, ambiental y política. Acuerdo de intervención “ganar-ganar” entre los involucrados. Responsabilidad social de megaproyectos como empresa conjunta con</p>

	<p>pobladores indígena, local, rural. Trato formal con partes interesadas y gestión informal (influencia, confianza, amistad, autoridad política). Construcción de sistema de gestión de crisis. Equipo multifuncional entiende la cultura de trabajo entre partes interesadas (nacional, binacional, multinacional).</p>
--	---

Fuente: Damayanti, Hartono, Wijaya (2021). Clarifying megaproject complexity in developing countries: A literature review and conceptual study. *International Journal of Engineering Business Management*, Volume 13: 1–25.

Es importante mencionar que además de las implicaciones señaladas en párrafos anteriores, existen también estudios sobre los conflictos entre científicos y los habitantes rurales de las zonas en las que se instalan los grandes proyectos de investigación científica. Algunos ejemplos de estos conflictos se han presentado en Arizona, Monte Graham; Chile, Cerro de la Silla; México, Volcán la Malinche (Sánchez, 2000).

Otro ejemplo de los conflictos entre la población y los grandes proyectos de infraestructura científica es el que tuvo lugar en Kourou, Guyana Francesa con el Centro Espacial Europeo (Redfield, 2000), lugar de donde despegó el cohete Ariane 5 con el Telescopio James Webb el 25 diciembre del 2021 con apoyo de Agencia Espacial Europea (ESA), Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), y la Agencia Espacial Canadiense (CSA) (Ariane Space Group, 2021).

2.2 Grandes proyectos de infraestructura científica en México

Al estudiar mega proyectos es importante identificar los elementos que los caracterizan: la construcción de infraestructura e instrumentos de gran escala, el financiamiento que generalmente involucra grandes sumas de dinero, la participación de diferentes países, una organización académico-científica conformada por un gran número de participantes de distintas disciplinas, el acercamiento con actores políticos en el gobierno federal y estatal, la participación de empresas nacionales e internacionales, el trabajo estrecho con los habitantes de las poblaciones cercanas al territorio en que se ubican los proyectos, los permisos ambientales, el manejo de instrumentos normativos y mecanismos de política pública, la formación de recursos humanos altamente especializados, la generación de conocimiento, publicaciones, además de sinergias entre empresas y laboratorios.

Al respecto, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT) publicó la experiencia de cuatro grandes proyectos de infraestructura creados en México, que dan muestra del proceso implicado para su instauración.

Los cuatro casos documentados presentan características generales entre las que se encuentran: a) generación de la idea inicial, fortalecida por la necesidad formar recursos altamente especializados, favorecer la independencia tecnológica y científica, contribuir a la creación de conocimiento; b) acercamiento del grupo científico promotor con funcionarios de gobierno, políticos, tomadores de decisiones, empresarios y personas de la población interesadas y/o cercanas a la ubicación de la posible instalación lo que conlleva trabajo de cabildeo y negociación para su aprobación, designación de presupuesto; c) búsqueda y elección del lugar de la instalación (FCCyT, 2012).

Señala también que la visión, un gran equipo de trabajo y la capacidad de gestión resultan indispensables para llevar a cabo tales proyectos, además del reconocimiento en la estructura pública, así como de los recursos necesarios para su asegurar su operación (FCCyT, 2012).

Dos ejemplos de proyectos de infraestructura de gran escala en nuestro país son el Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano (LMT/GTM) y el Observatorio de Rayos Gamma (HAWC).

Capítulo 3. Comunidades científicas en el proceso de creación y puesta en marcha de megaproyectos científicos en México

3.1 El Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano

El Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano (LMT/GTM) se encuentra ubicado en Sierra Negra, en el estado de Puebla, a una altura de 4600 metros sobre el nivel del mar. Se caracteriza por ser el telescopio de plato único movable más grande del mundo.

El GTM fue diseñado para hacer observaciones astronómicas en longitudes de onda de 0.85 - 4mm. Permite la exploración de los procesos físicos que controlan la formación y evolución de sistemas planetarios, estrellas, hoyos negros y galaxias a través de los 13.7 mil millones de años de historia del Universo (FCCyT, 2012).

Se caracteriza por ser un proyecto binacional entre México, a través del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Eléctrica (INAOE), y los Estados Unidos de América, con la participación de la Universidad de Massachusetts. El GTM Alfonso Serrano forma parte de los Laboratorios Nacionales encargados de explorar el Universo (CONACyT, 2018).

El principal impulsor del GTM fue el Dr. Alfonso Serrano Pérez-Grovas, quien planteó su creación en 1987 y posteriormente fue el coordinador general del GTM.

El proyecto del GTM involucró a diferentes personas (actores) entre las que se encuentran José Guichard Romero, quien en su momento dirigió el INAOE; Juan Carlos Jáuregui Correa, director adjunto de Operaciones del Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ) en 2012, quien colaboró en diferentes etapas de construcción del GTM; y David Hughes, quien actualmente dirige el GTM y ha sido pieza clave en la operación del GTM.

Dada la envergadura del proyecto y por ser transexenal, ha involucrado a diferentes administraciones federales, y ha supuesto la mayor inversión en un proyecto científico en la historia de México: 200mdd (FCCyT, 2012). En enero de 2018 se dio por terminada la construcción del GTM en su totalidad, se inauguró formalmente después de treinta años de gestión y construcción de la infraestructura experimental.

Recientemente, en abril de 2019, el GTM Alfonso Serrano participó en el proyecto multinacional del Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT por sus siglas en inglés) en el que contribuyó junto con otros siete observatorios en la generación de la primera

fotografía del agujero negro que se encuentra en el centro de nuestra galaxia (INAOE 2019; FCCyT, 2019).

3.2 El Observatorio de Rayos Gamma HAWC

El Observatorio de Rayos Gamma (HAWC) es un laboratorio que se encuentra a las faldas del volcán Sierra Negra, Puebla, a una altura de 4100 metros sobre el nivel del mar. Es un proyecto binacional construido gracias a la colaboración de científicos de México y Estados Unidos. La creación del HAWC tiene por objeto realizar la medición precisa, nunca antes vista, de rayos gamma de alta energía generados por diversos objetos astronómicos.

El HAWC contó con la participación financiera de la Fundación Nacional de Ciencia (NSF) y el Departamento de Energía de Estados Unidos de América, y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT por el lado mexicano.

Otra de sus características es que involucra la participación de alrededor de treinta instituciones de México y Estados Unidos, entre las que destacan el Instituto Nacional de Astronomía Óptica y Eléctrica (INAOE), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y la Universidad de Maryland.

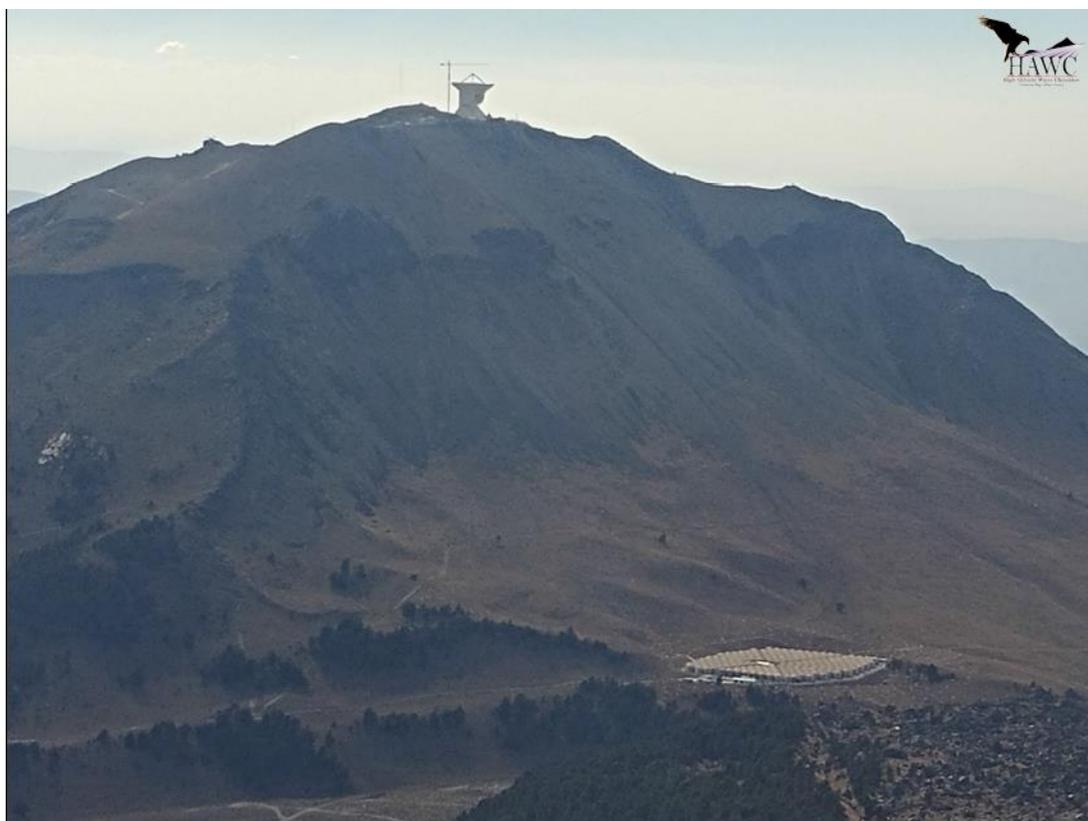
Los primeros prototipos del HAWC se probaron en 2009, 2011 y 2012. Ya para 2013 dio inicio la toma de datos y finalmente en 2015 terminó su construcción y fue inaugurado formalmente.

Analizar desde una perspectiva transdisciplinaria la influencia de los científicos en la creación y puesta en marcha de megaproyectos en México, a través del estudio de caso del GTM y el HAWC, ayudará a entender los procesos involucrados en los diferentes escenarios de tensión y negociación en las dimensiones articuladas del ámbito político, normativo, social, tecnológico, científico-académico, económico y ambiental. Con ello se espera contribuir a la instrumentación de políticas públicas de utilidad para analizar posteriormente otros casos de megaproyectos existentes, así como la posibilidad de sugerir desde la comunidad científica la creación de nuevos megaproyectos en nuestro país.

A partir de entrevistas semiestructuradas realizadas a informantes calificados de la comunidad científica involucrada en la creación y puesta en marcha del GTM y HAWC, así como del análisis de materiales videográficos con entrevistas realizadas a 88 participantes relacionados con el GTM; y del análisis de documentos relacionados y a las publicaciones generadas por los observatorios, se presentan a continuación los resultados.

La información analizada ha permitido construir diferentes dimensiones de análisis que permiten comprender las características que configuran el proceso de participación e influencia de la comunidad involucrada en ambos proyectos.

Fig 1. GTM y HAWC

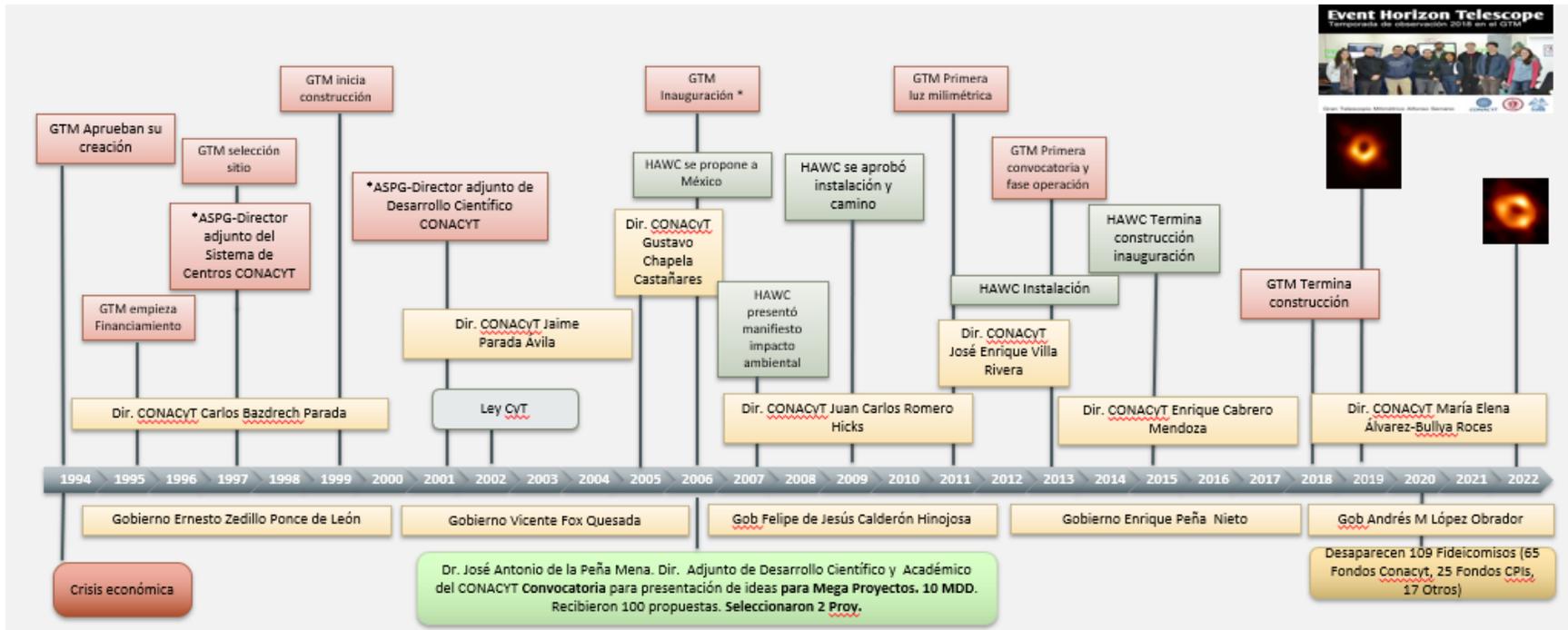


Fuente: Alberto Carramiñana, 2018. GTM (parte superior), HAWC (parte inferior).

3.3 Línea de tiempo de la creación y puesta en marcha de GTM y HAWC

Mediante el análisis de diversos documentos y la información obtenida con las entrevistas se construyó una línea de tiempo en la que se permite observar la evolución en el tiempo de la presencia y gestión de actores clave en espacios de decisión, así como los diferentes cambios que sucedieron en el contexto en la escena política tanto a nivel gobierno como a nivel sectorial correspondiente al desarrollo de ciencia y tecnología en nuestro país (fig.2).

Fig 2. Línea de tiempo de la creación y operación de GTM y HAWC



Elaboración propia 2023

En la línea de tiempo se puede observar, en los recuadros superiores, el proceso involucrado en la creación del GTM/LMT abarcando cuatro períodos administrativos presidenciales desde su aprobación hasta la terminación de su construcción (1994-2018), así como su contribución en la generación de la primer imagen del agujero negro M87 en 2019 y la primer imagen del agujero negro Sgr A* ubicado en el centro de nuestra galaxia en 2022 como resultado de las observaciones del proyecto del Telescopio de Evento de Horizonte EHT del cual forma parte junto con otros siete telescopios (EHT, 2019; 2022).

Una vez aprobado el GTM/LMT al término de la administración de Salinas nuestro país enfrentó una crisis económica, lo que impactó en el financiamiento del megaproyecto.

Al inicio de la administración de Ernesto Zedillo Ponce de León, Carlos Bazdreh Parada fue designado director del CONACyT y durante su gestión se inicia el financiamiento del GTM/LMT en 1995. En 1997 Alfonso Serrano Pérez Grovas es nombrado director adjunto del Sistema Centros CONACyT y en ese mismo año fue seleccionado el sitio para iniciar la construcción del GTM/LMT dos años después.

En el contexto político se dio un cambio de gobierno en el 2000 llegando a la presidencia Vicente Fox Quesada quien designó como director de CONACyT a Jaime Parada Ávila. Un año después Alfonso Serrano Pérez Grovas ocupó el cargo de director adjunto de Desarrollo Científico en dicha institución. Después de un arduo trabajo de cabildeo y con el apoyo de las cámaras de Diputados y Senadores se aprueba la Ley de Ciencia y Tecnología en 2002. En el 2005 renuncia Jaime Parada Ávila y nombran a Gustavo Chapela Castañares como director de CONACyT.

Un año después José Antonio de la Peña Mena como Dir. Adjunto de Desarrollo Científico de CONACyT publica una convocatoria para la presentación de ideas para Megaproyectos con fondos de 10 millones de dólares provenientes del Fondo Institucional del CONACyT (FOINS) (CONACyT, 2006). En la convocatoria se señala que el presupuesto total proyectado para la ejecución del megaproyecto podría ser del orden de mil millones de pesos. En dicha convocatoria se recibieron 100 propuestas de las cuales fueron seleccionadas dos. Fue en ese momento que se propone la creación del Observatorio HAWC (ver Anexo 2). En ese mismo año se inaugura una de las etapas de construcción del GTM/LMT.

En el siguiente año, con Felipe de Jesús Calderón Hinojosa como presidente, HAWC presentó el manifiesto de impacto ambiental para hacer posible la instalación en suelo de

conservación. Como director de CONACyT se encontraba Juan Carlos Romero Hicks. Para el 2009 se aprobó la instalación y el camino para HAWC.

Dos años después GTM/LMT genera la primera luz milimétrica y se inician los trabajos para la instalación de HAWC. En ese momento se encontraba en la dirección de CONACyT José Enrique Villa Rivera.

En el 2012 Enrique Peña Nieto entra como presidente y para el siguiente año nombra a Enrique Cabrero Mendoza como director de CONACyT. Bajo dicha administración HAWC termina su construcción y se inaugura de manera formal.

En 2018, tres años después de la inauguración de HAWC, el GTM/LMT termina su construcción. En ese año inicia la administración presidencial del Andrés Manuel López Obrador y nombra a cargo de CONACyT a María Elena Álvarez-Bullya Roces.

Un año posterior a dicho nombramiento se publica la generación de la primera imagen de un agujero negro, el M87 y dos años después la generación de la primera imagen del agujero negro del centro de nuestra galaxia, SgrA*. Ambas imágenes fueron resultado del proyecto EHT del que el GTM/LMT forma parte como señalé en párrafos anteriores.

En el 2020 a iniciativa del poder ejecutivo federal y con aprobación de ambas cámaras legislativas se extinguen 109 fideicomisos, de los cuales 65 eran Fondos CONACyT, y 25 Fondos de Centros Públicos de Investigación, lo que significó un impacto en detrimento del desarrollo científico para nuestro país.

Actualmente en abril del 2023 se encuentra en discusión la Iniciativa con Proyecto de Decreto por el que se expide la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación. De aprobarse dicha iniciativa, enviada por el ejecutivo federal elaborada por CONACyT, dejaría sin vigencia la Ley de Ciencia y Tecnología aprobada en 2002.

Cabe señalar que diferentes grupos y personas de la comunidad científica, así como tomadores de decisiones se han manifestado de manera crítica sobre el contenido de dicha propuesta en diferentes foros públicos y de parlamento abierto. Sin embargo, las opiniones vertidas en dichos espacios no tienen carácter vinculante por lo que no necesariamente se reflejan en su integración. Hasta el 16 de abril se han realizado 2 de 7 foros del Parlamento Abierto para la discusión de la iniciativa.

3.4 Resultados y discusión

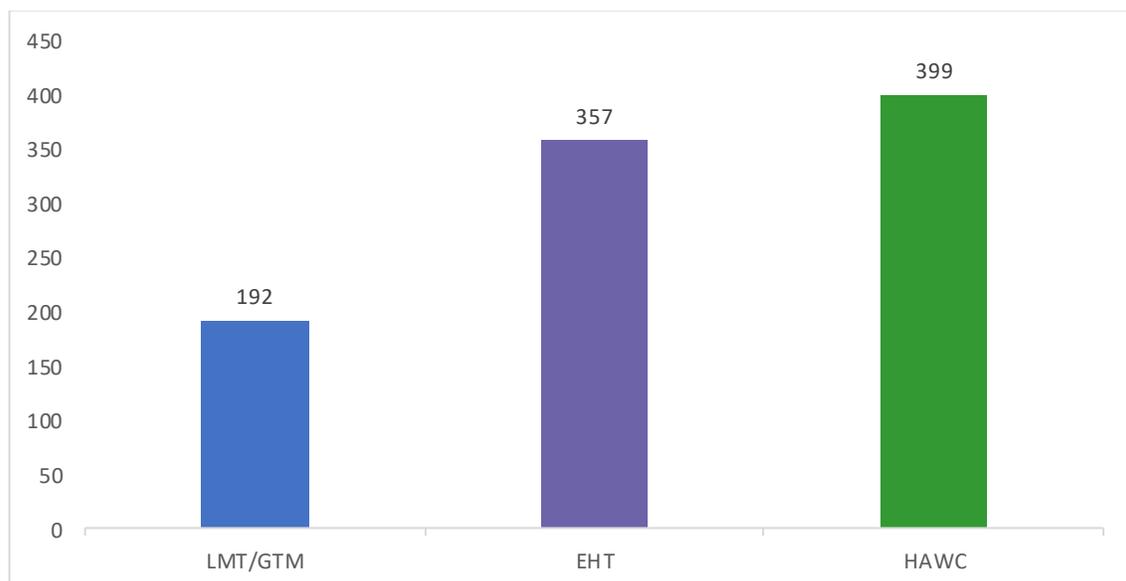
3.4.1 Dimensión Productividad científica

Publicaciones

Sobre las publicaciones de las colaboraciones del LMT/GTM, EHT y HAWC a partir del análisis de la base de datos construida con la información de WoS encontramos que el mayor número de publicaciones corresponde a HAWC con 399 y el menor al LMT/GTM con 192 en el periodo 1994-2022. Por su parte el número de publicaciones de EHT asciende a 357 considerando el período de 2019 al 2022.

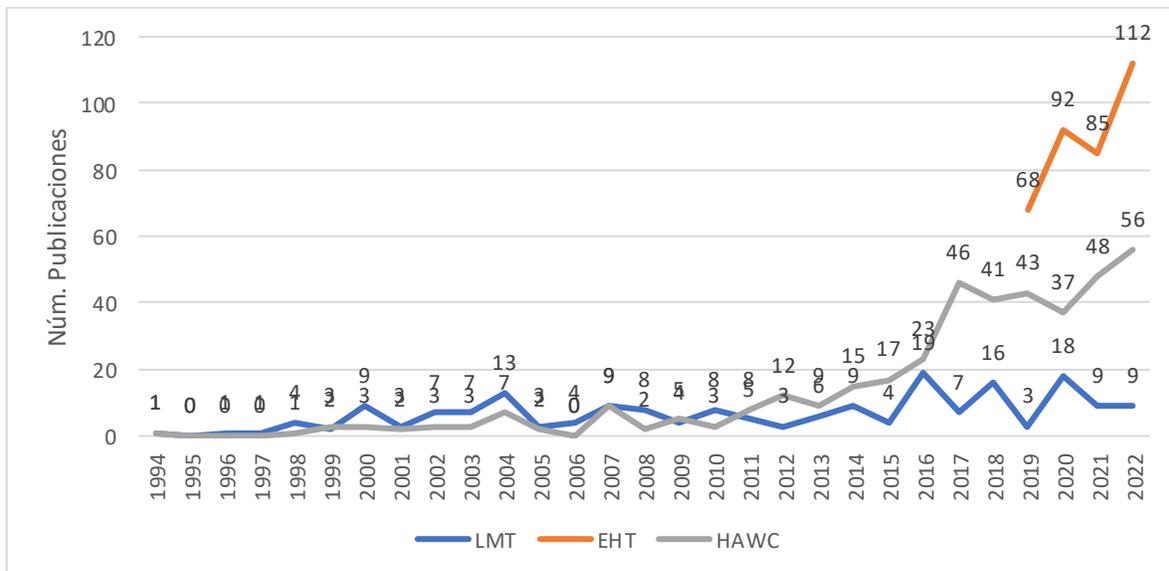
Lo anterior debido a las publicaciones en ese período a partir de la generación de la primera imagen del agujero negro M87 y la generación de la primera imagen del agujero negro del centro de nuestra galaxia SgrA* en las que la participación del LMT/GTM fue indispensable (Fig 3).

Fig 3. Número de artículos publicados por las colaboraciones LMT/GTM, EHT y HAWC (1994-2022). EHT únicamente 2019-2022.



Respecto a la evolución de las publicaciones de las tres colaboraciones, podemos señalar a partir del 2014 se presenta un incremento paulatino de HAWC llegando a 46 publicaciones en el 2017, alcanzando 56 publicaciones en el 2022. Por su parte el LMT/GTM presentó una mayor producción el 2016 con 19 publicaciones y 18 en el 2020. En contraste se observa un incremento significativo en la colaboración del EHT pasando de 68 publicaciones en 2019 a 112 para el 2022. En 2019 se publica la generación de la primera imagen del agujero negro M87 y en 2022 la generación de la imagen del SgrA* con la participación del LMT/GTM.

Fig 4. Evolución de Publicaciones GTM/LMT, EHT, HAWC (1994-2022). EHT únicamente 2019-2022.



En la tabla 7 podemos observar la evolución de las publicaciones y su correspondiente número de citas por cada colaboración. Así, para 1994 LMT/GTM la única publicación reporta 17 citas, en el 2000 con 9 publicaciones se obtuvieron 94 citas, en el 2004 con 13 publicaciones se reportaron 25 citas. Los tres años más productivos fueron 2016, 2018 y 2020 con 19, 16 y 18 publicaciones respectivamente, siendo las publicaciones del 2016 las mayormente citadas llegando a 219.

Por su parte HAWC presenta desde 2017 un incremento en el número de publicaciones pasando de 46 en 2017 a 56 en el 2022, siendo las publicaciones del 2017 las más citadas con 883, seguidas por las del 2018 con 776 citas, y las del 2020 alcanzando 401 número de citas.

En contraste el EHT reporta en el 2019, 2020, 2021 y 2022, 68, 92, 85 y 115 publicaciones respectivamente, siendo las correspondientes al 2019 las mayormente citadas con 4366 número de citas.

Tabla 7. Publicaciones y citas LMT, EHT y HAWC (1994-2022). EHT únicamente 2019-2022.

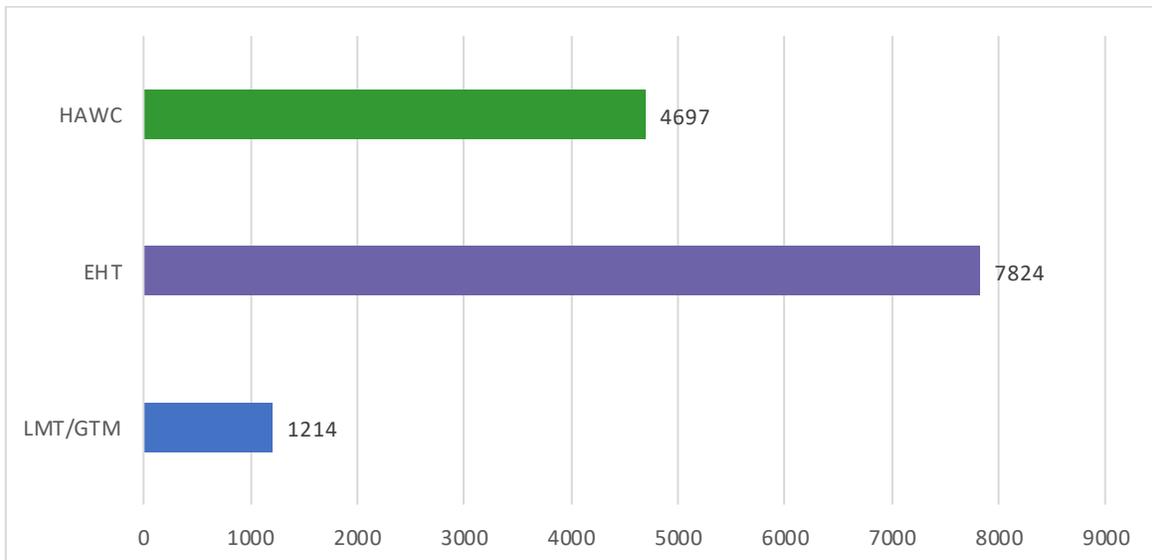
Año	LMT/GTM publication	LMT/GTM citation	EHT publication	EHT citation	HAWC publication	HAWC citation
1994	1	17			1	4
1995	0	0			0	0
1996	1	2			0	0
1997	1	0			0	0
1998	4	12			1	2
1999	2	7			3	113
2000	9	94			3	33
2001	3	7			2	21
2002	7	15			3	13
2003	7	32			3	22
2004	13	25			7	66
2005	3	25			2	10
2006	4	2			0	0
2007	9	3			9	81
2008	8	50			2	20
2009	5	116			5	26
2010	8	46			3	9
2011	5	91			8	124
2012	3	8			12	120
2013	6	26			9	131
2014	9	27			15	235

2015	4	126			17	238
2016	19	219			23	467
2017	7	45			46	883
2018	16	130			41	776
2019	3	31	68	4366	43	582
2020	18	37	92	1783	37	401
2021	9	20	85	1100	48	262
2022	9	1	112	575	56	58
Total	193		357		399	

Citas

En la figura 5 se observan el número de citas recibidas por las publicaciones de las diferentes colaboraciones, resultando la de menor número las correspondientes a LAMT/GTM con 1214, seguidas por HAWC con 4697, en contraste con las del EHT llegando a 7824 citas.

Fig 5. Número de citas obtenidas por los artículos publicados de las colaboraciones GTM / LMT, EHT y HAWC (1994-2022). EHT únicamente 2019-2022.



Tipo de publicaciones

Sobre la distribución del número de publicaciones por tipo de documento correspondiente a cada colaboración encontramos que los artículos originales de LMT/GTM ascienden a 68, seguidos por HAWC con 268 y por EHT con 308. El otro tipo de documento más abundante se refiere a los artículos en memorias, en donde LMT/GTM y HAWC presentan resultados semejantes 127 y 126 respectivamente, en contraste con el de menor número con 34 para EHT.

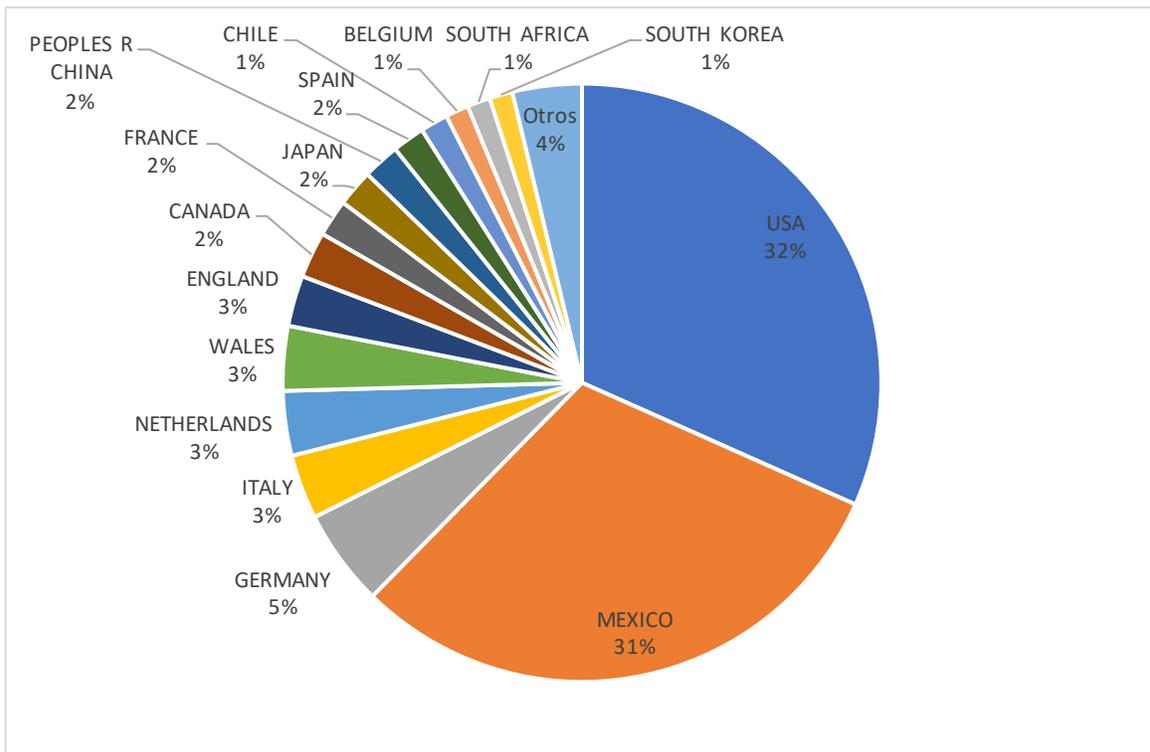
Tabla 8. Distribución del número de publicaciones por tipo de documento de las colaboraciones LMT y HAWC (1994_2022). EHT únicamente 2019-2022.

	Artículos originales	Artículos en memorias	Correcciones	Material Editorial	Resúmenes	Notas Revisiones	Review
LMT/GTM	68	127	1	0	1	0	0
EHT	308	34	0	7	0	1	10
HAWC	268	126	2	1	0	2	8

3.4.2 Países

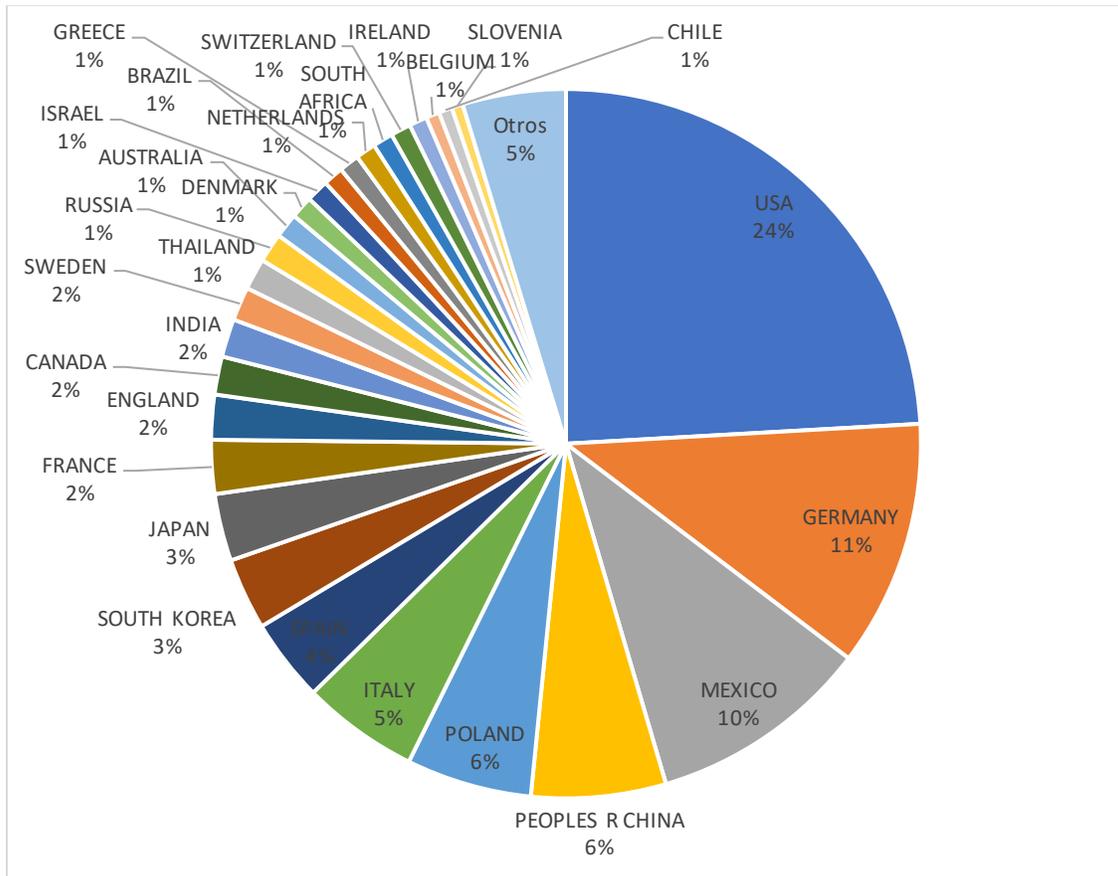
En lo que se refiere a la distribución del número de co-autores involucrados en las publicaciones del LMT/GTM por país, se observa que el de mayor presencia es Estados Unidos en el orden de 32, seguido por México en el orden de 31, siendo los de menor participación diversos países, entre ellos Alemania en el orden de 5.

Fig 6. Distribución del número de co-autores involucrados en las publicaciones del LMT/GTM por país (1994-2022).



Para el caso de HAWC, la distribución del número de co-autores involucrados en las publicaciones de por país, podemos observar que el país con mayor presencia es Estados Unidos con un orden de 24, seguido por Alemania, México y China con un orden de 11, 10 y 6, respectivamente.

Fig 7. Distribución del número de co-autores involucrados en las publicaciones de HAWC por país (1994-2022).

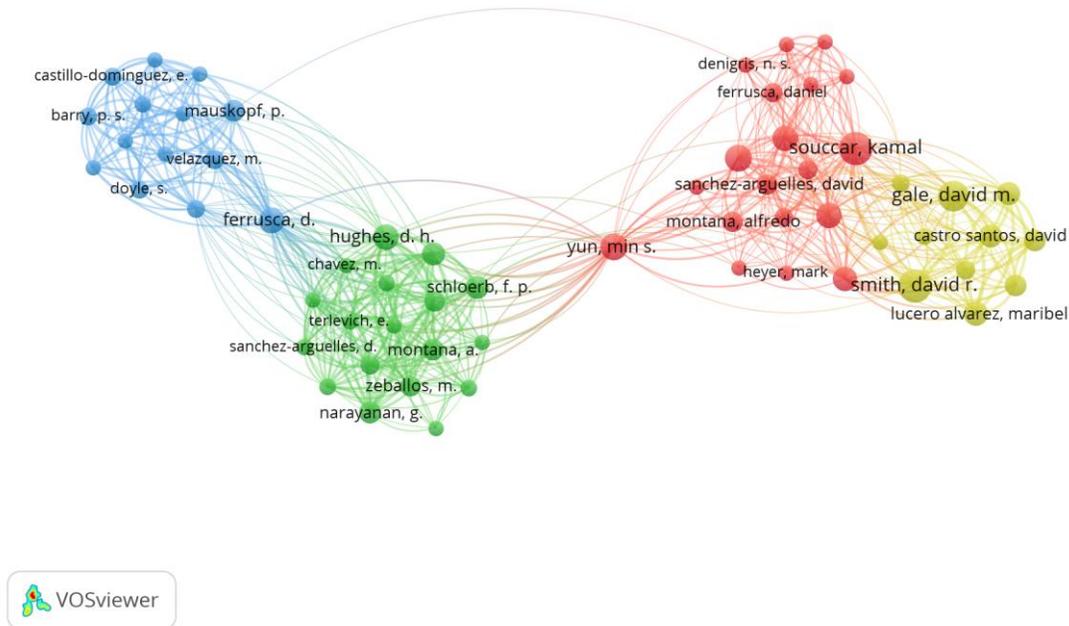


3.4.3 Red de colaboración

Respecto a las redes de colaboración de cada proyecto de gran infraestructura científica se utilizó VosViewer para generar las visualizaciones de dichas redes a partir de los datos de WoS.

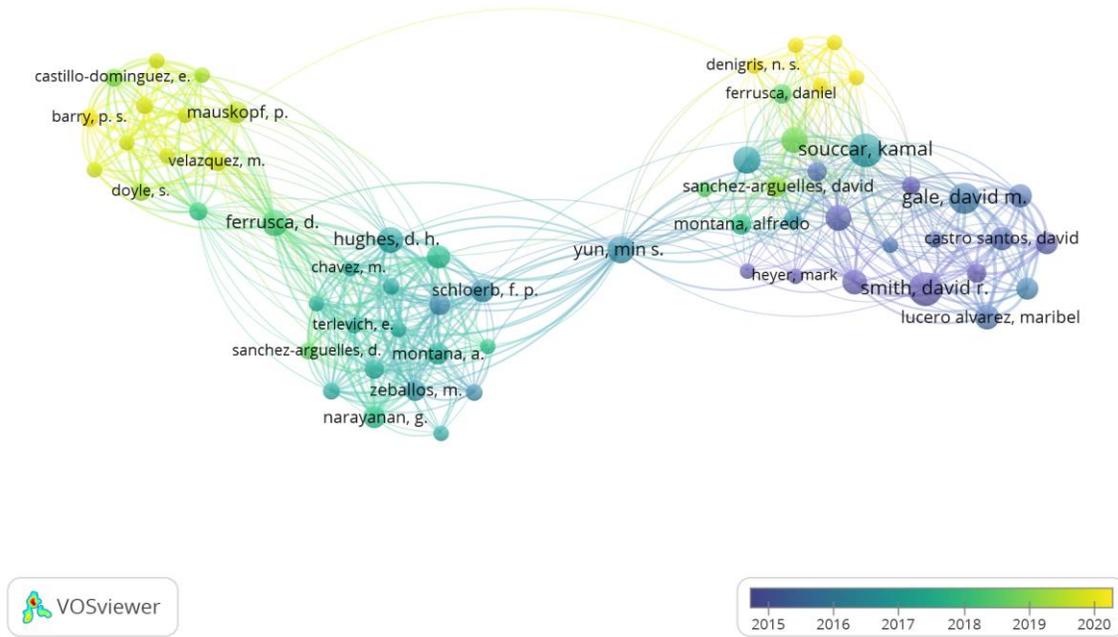
En cuanto a la red de colaboración del LMT/GTM se encontró que su estructura se compone de 4 clusters: el cluster 1 se compone de 19 autores (rojo), el cluster 2 contiene 18 autores (verde), el 3º se integra de 14 autores (azul), y el cluster 4º lo integran 11 autores (amarillo). La estructura muestra los vínculos entre los autores y sus clusters lo que indica la colaboración y su densidad con 584 vínculos (Fig 8).

Fig 8. Red de colaboración LMT/GTM



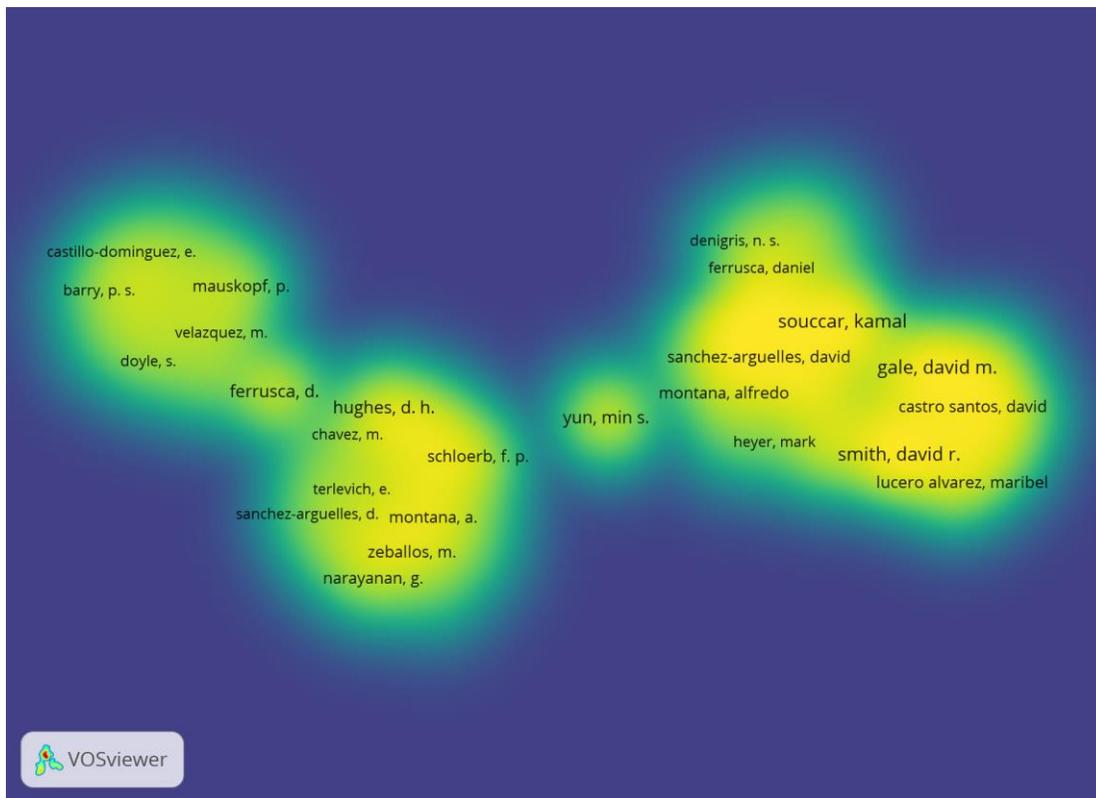
En la Figura 9 podemos observar la evolución de la red de colaboración de LMT/GTM del 2015 al 2022. En la imagen podemos observar el proceso de maduración del trabajo en coautoría de los grupos de investigación que conforma la red. Los colores más oscuros corresponden a los clusters de trabajo más consolidados y los de color más claro son los clusters de más jóvenes.

Fig 9. Evolución de la red de colaboración LMT/GTM 2015 - 2022



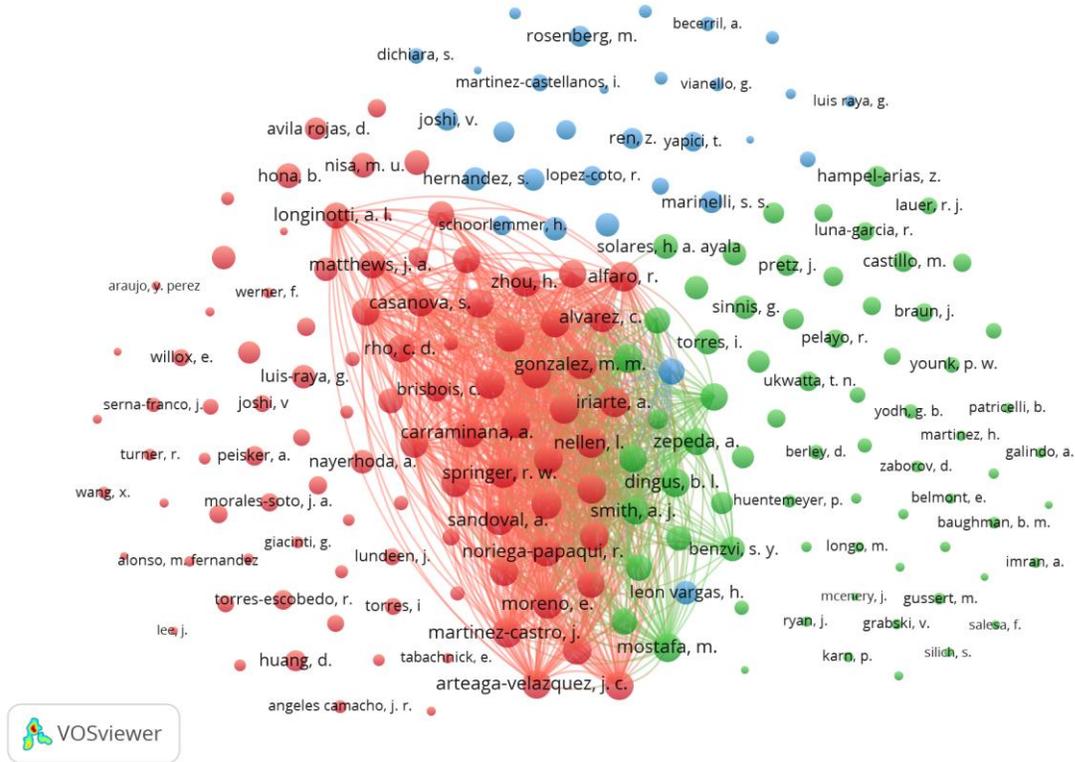
En la figura 10 se puede observar la densidad de la red de la colaboración del LMT/GTM. En ella se distinguen los diferentes clusters así como la cohesión de los grupos de trabajo de la red de coautoría.

Fig 10. Densidad de la red de colaboración LMT/GTM



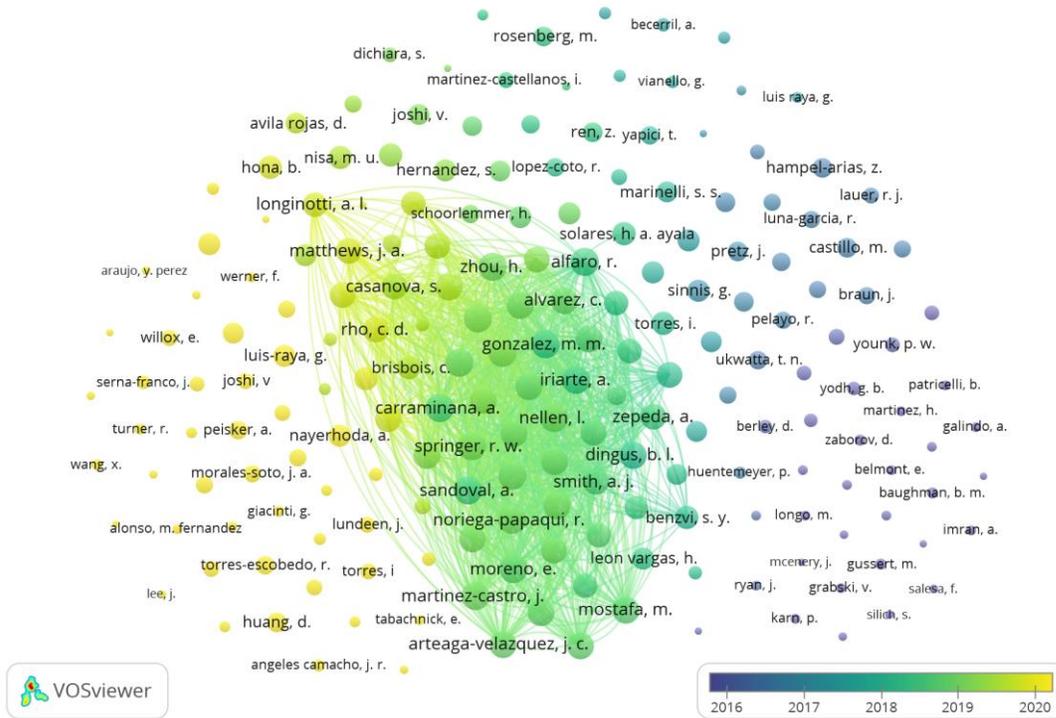
Respecto a la red de colaboración de HAWC (Fig 11) encontramos que está integrada por tres clusters: el 1º con 97 ítems (rojo), el 2º lo componen 70 ítems (verde) y el 3º con 30 ítems. La red de colaboración cuenta con 16103 vínculos. En la imagen se aprecia la centralidad de la red ocupada por los dos primeros clusters en los que se agrupan 167 ítems.

Fig 11. Red de colaboración HAWC



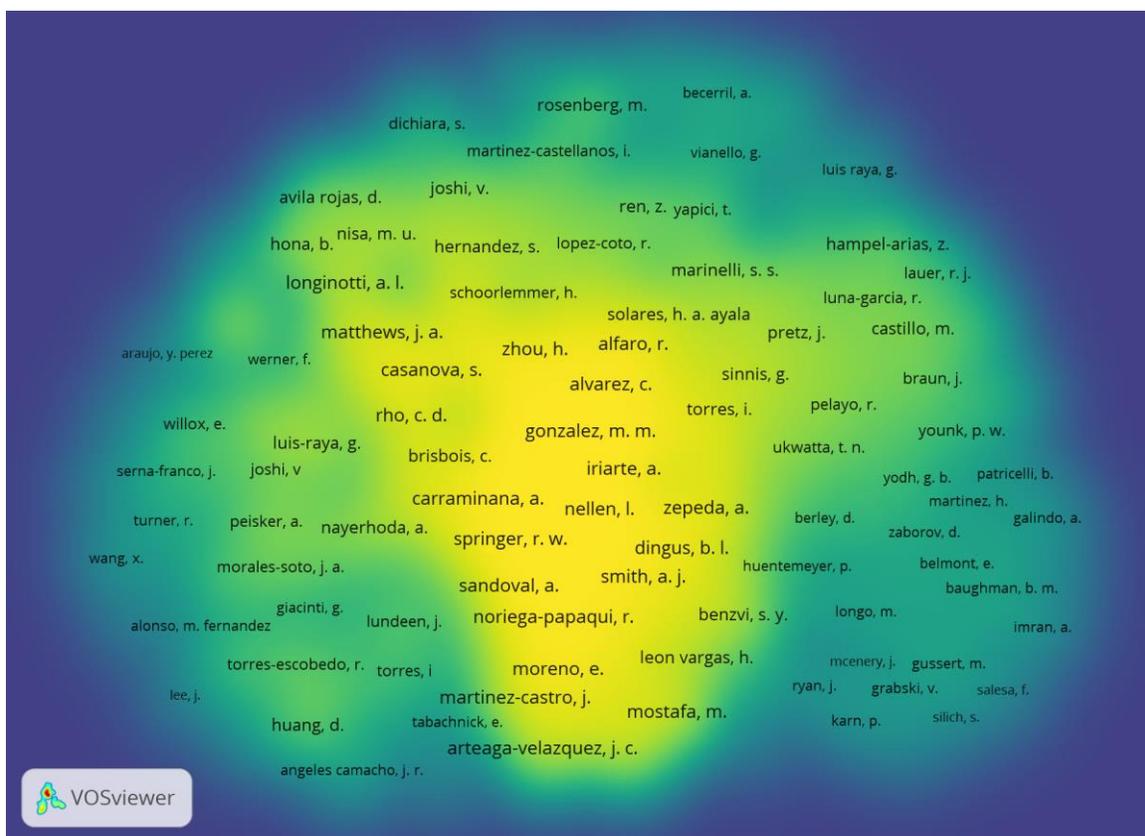
En la Fig 12. se puede observar la evolución de la red de colaboración de HAWC en el tiempo del 2016 al 2022. Los colores más claros representan los clusters con las coautorías más recientes, en contraste con los colores más oscuros que muestran los coautores menos recientes. En esta imagen se identifica la transición de las nuevas generaciones de coautorías.

Fig 12. Evolución de la red de colaboración de HAWC 2016 al 2022



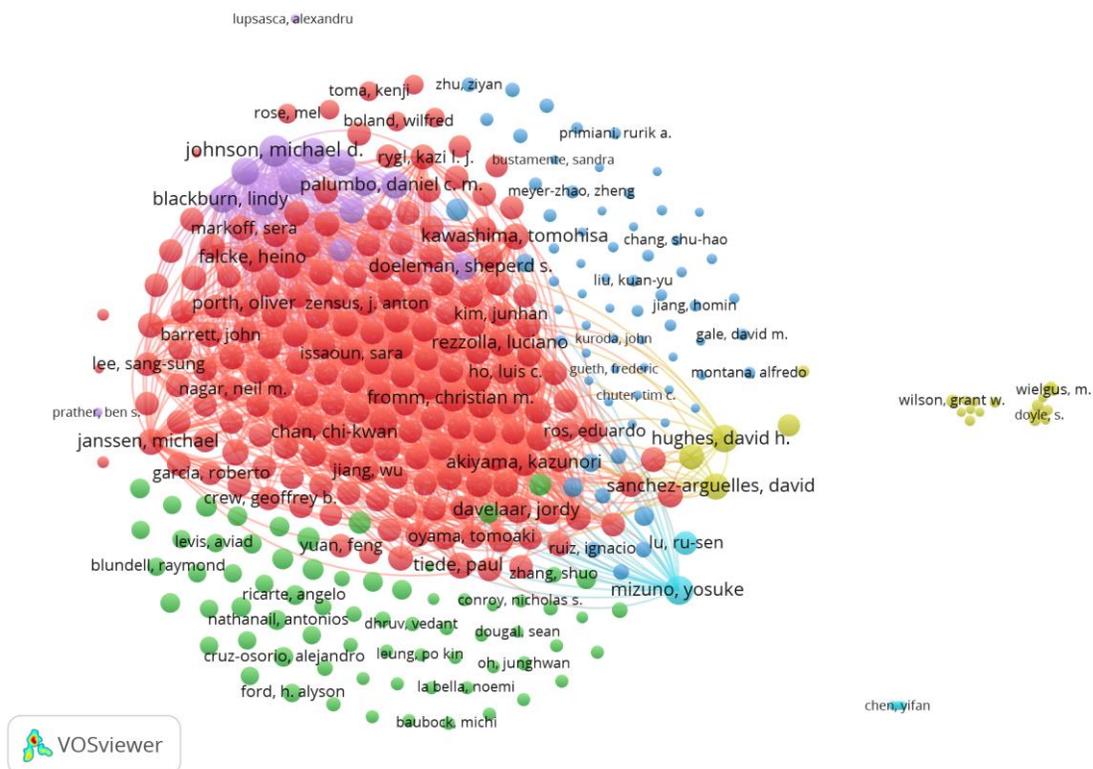
En la siguiente imagen se muestra la densidad de la red de coautoría de la colaboración HAWC y se puede apreciar la densidad de la red a nivel central articulando los tres clusters. Lo anterior indica la consolidación de la comunidad en coautoría del Observatorio.

Fig 13. Densidad de la red de colaboración HAWC



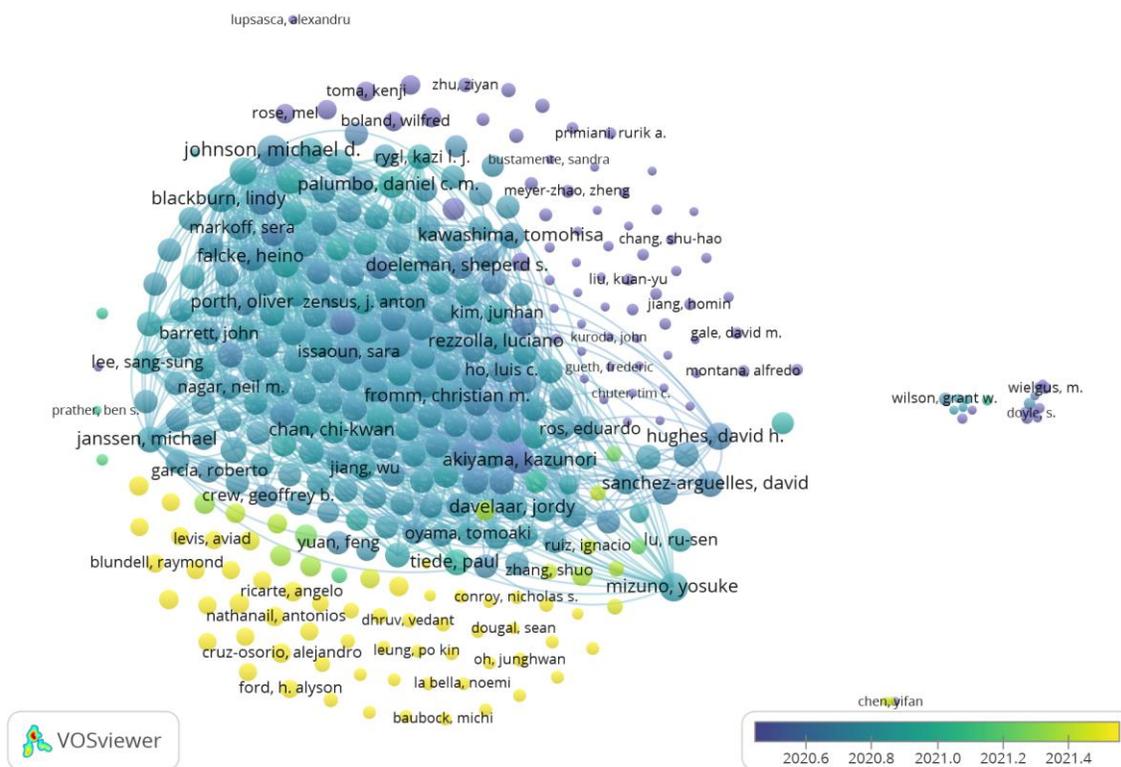
Por otro lado, la red de colaboración de EHT está conformada por 6 clusters con 56,657 vínculos. El cluster 1 lo integran 184 ítems (rojo), el cluster 2 contiene 70 ítems (verde), el 3º contiene 66 ítems (azul), el 4º contiene 23 ítems (amarillo), el 5º se compone de 14 ítems (morado), y finalmente el 6º lo integran 5 ítems (azul claro). La estructura de la red muestra la centralización del primer cluster compuesto por el mayor número de co-autores (Fig 14).

Fig 14. Red de colaboración EHT



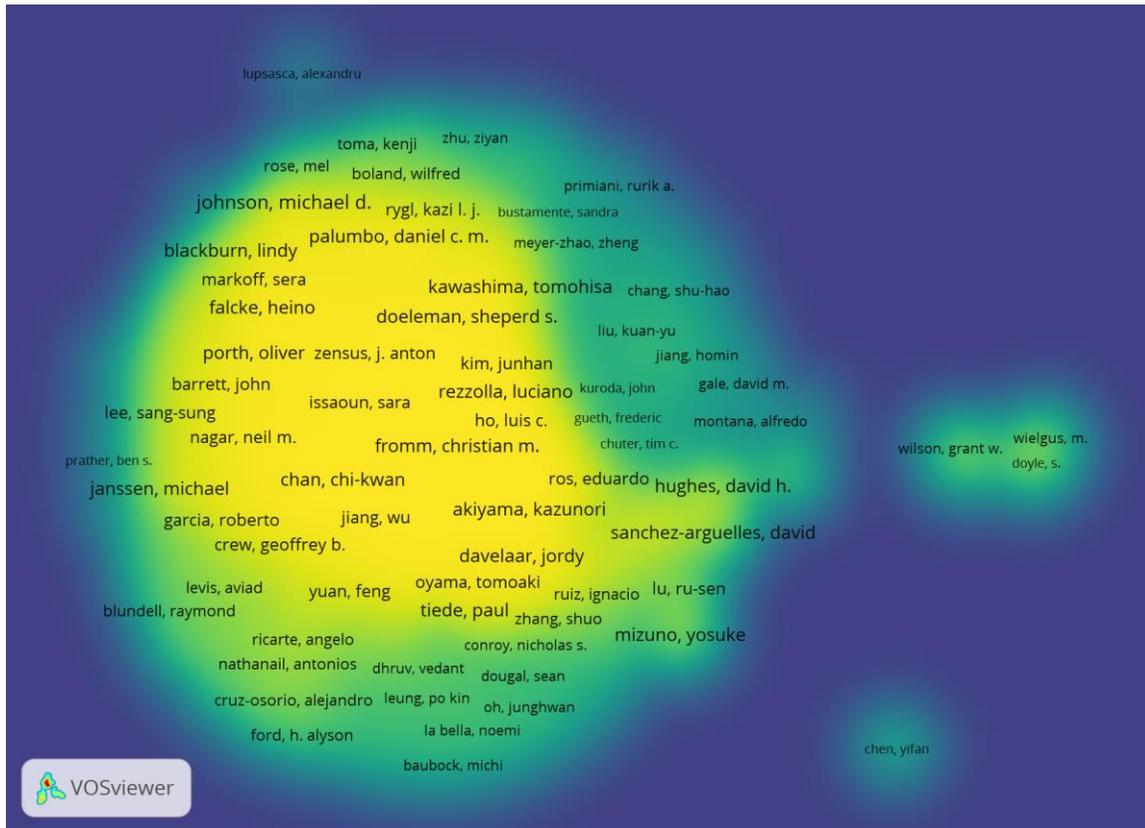
Sobre la evolución de la red de colaboración de EHT del 2019 al 2022 (Fig 15) se puede observar en color claro los co-autores con publicaciones más recientes, en contraste con los clusters de color más oscuro que representan los coautores de las publicaciones iniciales del periodo contemplado.

Fig 15. Evolución de la red de colaboración EHT 2019-2022



Al observar la densidad de la red de colaboración del EHT se identifica la cohesión existente de los clusters que la integran, lo que podría interpretarse como la consolidación de los grupos de coautoría (Fig 6).

Fig 16. Densidad de la red de colaboración EHT



A partir de los datos obtenidos de Wos procesados con VosViewer utilizando el análisis de coautoría con la unidad de análisis de autores, encontramos que los autores con mayor número de publicaciones el caso de la colaboración LMT/GTM son Smith, Souccar y Gale; y los autores con mayor número de citas son Yun, Wilson, y Huges (tabla 9).

Para el caso del EHT los autores con más publicaciones son Johnson, Mizuno, y Falcke; mientras que los más citados son Johnson, Mizuno, y Fromm.

Por otra parte, los autores con mayor número de publicaciones de la colaboración HAWC son Sandoval, González, y Moreno; y los autores con más citas son Tollefson, Sandoval, y Moreno.

Tabla 9. Autores mayormente involucrados en LMT, EHT and HAWC

Autores		
	Top 3. publications	Top 3. Citation
LMT/GTM	Smith, David R.	Yun, Min. S.
	Souccar Kamal	Wilson, G. W
	Gale, David, M.	Huges, David
EHT	Johnson, Michael, D.	Johnson, Michael, D.
	Mizuno, Yosuke	Mizuno, Yosuke
	Falcke, Heino	Fromm, Christian M
HAWC	Sandoval, A.	Tollefson, K.
	González, M. M.	Sandoval, A.
	Moreno E.	Moreno E.

En relación con las instituciones mayormente involucradas en cada colaboración, encontramos para el caso del LMT/GTM a la Universidad de Massachusetts, INAOE y UNAM; para el EHT se encontró al Instituto de Astronomía Max Planck, Radbound University Nijmegen, así como a la Universidad de Harvard. En el caso de HAWC las instituciones con mayor presencia son la Universidad de Maryland, Laboratorio Nacional Los Álamos, y finalmente a la Universidad de Wisconsin (Tabla 10).

Tabla 10. Instituciones mayormente involucradas en LMT, EHT y HAWC

	Instituciones
LMT/GTM	University of Massachusetts
	INAOE
	UNAM
EHT	Max Planck Inst Radioastronomy
	Radbound Univ Nijmegen
	Harvard Univ
HAWC	University of Maryland
	Los Alamos Natl Lab
	University of Wisconsin

Para el análisis de coautoría con la unidad de análisis país, encontramos a México, Estados Unidos y Países Bajos con mayor presencia en la colaboración LMT/GTM; a Estados Unidos, Alemania y Países Bajos con mayor presencia en la colaboración EHT; y a Estados Unidos, Alemania y México con mayor presencia en HAWC (Tabla 11).

Tabla 11. Países mayormente involucrados en LMT, EHT y HAWC

	Países
LMT/GTM	Mexico,
	USA
	Netherlands
EHT	USA
	Germany
	Netherlands
HAWC	USA
	Germany
	Mexico

3.4.4 Inseguridad y pandemia como condiciones emergentes y su impacto en la actividad científica

Las condiciones de inseguridad que se presentan en la zona del “triángulo rojo” antes mencionada, en el que se encuentran tanto el GTM como HAWC, han influido en la decisión tomada entre las autoridades científicas y de gobierno para disminuir el ritmo de trabajo en ambos sitios con el fin de preservar la seguridad de los trabajadores de los laboratorios y las instalaciones (INAOE, 2020).

Para el caso de HAWC, por contar con procesos automatizados, continúa trabajando sin perder información actualizada. Por su parte, el GTM dadas sus características de operación, requiere de mayor número de personal, por lo que en su caso se vieron afectadas las actividades científicas y su consiguiente disminución del ritmo de trabajo.

Fig 17. Inseguridad, zona “Triángulo rojo”. Puebla, México



Fuente: <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/estado/votos-cambian-poder-en-el-triangulo-rojo-de-puebla-1843416.html> 16 julio 2018

Capítulo 4. Análisis de dimensiones del contexto de la creación y puesta en marcha GTM y HAWC

4.1 Dimensiones

4.1.1 Dimensión política

La dimensión política comprende el espacio en el que se articulan acciones, instrumentos y mecanismos que contribuyen o dificultan la creación y puesta en marcha de proyectos por ejemplo de carácter científico entre los que podemos señalar los que nos competen: el GTM y HAWC.

Política de gobierno, política pública e institucional

Una primera arena en la que se presentan las tensiones entre diferentes actores involucrados en cada proyecto es en el espacio de colaboración binacional entre México y Estados Unidos, a través de la presencia de por un lado el INAOE y por el otro UMass.

Cada institución desarrolla sus funciones de carácter científico en el marco de instancias de gobierno que se encargan a su vez de administrar y fomentar el desarrollo de la ciencia en su propio país correspondiente, Conacyt para el caso de México y la Fundación Nacional de Ciencia (NSF) para Estados Unidos. Entre las funciones de ambas instancias de gobierno se encuentra la asignación de recursos económicos.

Por su parte, respecto a la política académica institucional sobre la creación del GTM, el INAOE y UMass jugaron un papel relevante en los procesos de negociación, diseño, creación y puesta en marcha del gran telescopio (INAOE, 2012; entrevistas; GTM, 2009).

4.1.2 Instrumentos normativos y de política pública

Debido a la envergadura que caracteriza a los grandes proyectos de infraestructura científica y como parte del trabajo sobre la identificación de algunos instrumentos normativos aplicables a las acciones realizadas durante la ejecución del proyecto del GTM, es que se encontró como marco normativo lo siguiente (INAOE, 2012):

- a) Marco general: Constitución Política, Presupuesto de Egresos de la Federación, Plan Nacional de Desarrollo, Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiT)I, y Programa Estratégico a Mediano Plazo.
- b) Leyes: 43
- c) Códigos: 4
- d) Reglamentos: 20
- e) Decretos: 8
- f) Acuerdos:16
- g) Documentos normativos administrativos (lineamientos) 8
- h) Manuales y reglamentos internos 14

Lo anterior permite observar que resulta compleja la articulación del conjunto de instrumentos normativos que acompañan la ejecución de proyectos de gran infraestructura.

Cabe señalar que, en nuestra legislación, hasta el momento, no contamos con instrumentos y mecanismos que faciliten la creación y ejecución de proyectos de gran infraestructura científica en lo particular. Sin embargo, existen ejemplos de dichos instrumentos y mecanismos en países como Brasil y Bélgica.

En el caso de Brasil cuentan con una instancia a nivel nacional que se creó décadas atrás y que en su momento generó recursos propios, de manera que, independientemente del gobierno en turno, pueden contar con los fondos suficientes para financiar proyectos y becas durante dos años aproximadamente (entrevista HM, 2020; FINEP-Federal, FAPEST- Sau Paulo).

Actualmente Brasil cuenta con un Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón – SIRIUS que significó una inversión de las más importantes realizadas por el gobierno brasileño en dos

décadas, además de haber sido incluido como prioridad de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la presidencia de la República en el Plan Plurianual 1991-1995 (Baumann, 2006; Plan Plurianual 1991-1995, Gobierno Brasil). En la Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2016 -2022 señalan, como parte de las acciones prioritarias para la modernización y ampliación de Infraestructura de CTI, la conclusión de la construcción de la nueva fuente de luz sincrotrón Sirius y del Reactor Multipropósito Brasileño (MCTIC, 2018).

La Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2016 – 2019 de Brasil también señala la diferencia entre proyectos de gran infraestructura, mediana y pequeña, así como los tipos de apoyo que se ofrecen (MCTI, 2016).

Por su parte Flandes, Bélgica, cuenta con un reglamento compuesto por 10 Capítulos y 32 artículos que señalan los lineamientos para apoyar a los proyectos de gran infraestructura científica (Research Foundation - Flanders, 2023)

4.1.3 Dimensión social

Características generales de la comunidad de Atzizintla

De acuerdo con datos reportados por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) el municipio de Atzizintla, perteneciente al estado de Puebla, contaba en 2010 con 8,408 habitantes y se caracteriza por tener un grado de marginación muy alto con un porcentaje de población en condiciones de pobreza extrema de 46%. El porcentaje de la población de 15 años o más sin primaria completa asciende a 46% (SEDESOL, 2015).

Vinculación comunidad escolar

Como parte de las actividades de trabajo estrecho con los pobladores del municipio de Atzizintla, se han realizado proyectos de mejoramiento de infraestructura de las aulas escolares, instalación de servicio de internet, y programas educativos uno de ellos llamado sábados de ciencia.

Los sábados de ciencia consisten, de acuerdo con lo señalado por algunos de los científicos entrevistados, en impartir sesiones por parte de científicos especialistas sobre diversos temas relacionados con la ciencia y la astronomía en particular. Al terminar la

sesión les piden a los niños participantes que elaboren algún dibujo o imagen relacionada con el tema abordado en la plática.

Condiciones de inseguridad

En los meses de enero y febrero de 2019 se han reportado ante las autoridades de seguridad pública de Puebla diversos casos de personas que han sido víctimas de la delincuencia organizada, que dan cuenta del incremento de las actividades delictivas que tienen lugar en la zona a la que llaman el triángulo rojo.

Dicha zona involucra diferentes municipios entre los que se encuentran Tepeaca, Quecholac y Palmar de Bravo. Dichos municipios se encuentran cerca del Municipio de Atzizintla, (Sierra Negra) y de ambos laboratorios, en el parque Nacional Pico de Orizaba.

4.1.4 Dimensión tecnológica

La tecnología implicada en la creación y operación del GTM y HAWC involucró en diferentes momentos la creación, diseño y uso de un gran número de tecnologías en diferentes etapas del proceso requerido en cada proyecto.

Si retomamos el planteamiento de Winner sobre las propiedades políticas que pueden poseer los artefactos técnicos, podemos analizar la forma en la que la tecnología requerida para la puesta en marcha de ambos proyectos pudiera tener connotaciones en las que se hace visible la presencia del carácter político involucrado.

3.1 Política de los artefactos de los proyectos

En cuanto a los instrumentos involucrados en la operación del GTM podemos señalar que son prototipos diseñados científicamente para realizar objetivos específicos, y requirieron la creación de nuevas tecnologías que pudieran tener aplicación en comunicaciones, industria y el campo de la medicina (INAOE, 2008a).

La política involucrada en los artefactos tecnológicos del GTM se puede comprender al considerar la dependencia tecnológica de nuestro país frente a algunos instrumentos de precisión con los que la Universidad de Massachusetts (UMAss) contaba.

La discusión que se generó en torno a la distribución del tiempo de uso del GTM por parte de las instituciones mexicanas y estadounidenses, se caracterizó por un lado, por la

presión ejercida de parte de los científicos de UMass sobre el derecho al uso mayoritario de horas de observación, y por otro, la defensa de los científicos de México para mantener en un 80% tiempo de uso para nuestro país y el 20% restante para Estados Unidos, considerando la proporción respectiva de la inversión realizada para la creación y puesta en marcha del Gran Telescopio (entrevistas 2019, AC; JG).

Por su parte HAWC cuenta con 300 tanques de forma cilíndrica, con 7.3m de diámetro y 4.5m de profundidad, que contienen agua purificada. La superficie que alberga los tanques cubre aproximadamente 22,000 metros cuadrados. Cada tanque tiene tres tubos fotomultiplicadores Cherenkov lo que implica contar con 900 detectores (INAOE, 2008b).

4.1.5 Dimensión económica

En cuanto a la dimensión económica que acompaña la creación del GTM y HAWC, podemos señalar que responde a dos momentos distintos en el tiempo, y por ende a características contextuales distintas, impactando de manera diferenciada la puesta en marcha de cada uno de los laboratorios.

Financiamiento

El GTM fue aprobado formalmente en 1994; sin embargo, dada la envergadura del proyecto fue evaluado en diversas ocasiones por comités de nacionales e internacionales a lo largo de dos años (INAOE, 2012).

Entre las condiciones iniciales del proyecto, se había considerado la participación de Estados Unidos con un financiamiento de cerca del 50%, mientras el otro 50% correría a cargo de México. Ello implicaría llevar a cabo diferentes actividades de cabildeo para conseguir el recurso acordado entre ambas partes (INAOE, 2012).

Finalmente, la participación esperada por parte de Estados Unidos se vio afectada ya que no fue posible que los científicos de UMass posicionaran al GTM como proyecto prioritario en la agenda científica de su país, condición que les permitiría contar con fondos suficientes a diez años para el proyecto (entrevista AC, 2019; JG, 2019).

Esa situación obligó a los científicos mexicanos a ingeniárselas para conseguir la parte del financiamiento a la que se habían comprometido, y de manera adicional a conseguir los fondos disminuidos correspondientes a su contraparte científica.

Como parte de la investigación estratégica reportada en el Plan de negocios del LMT/GTM en marzo del 2009, se reporta que se realizaron visitas a Estados Unidos durante la administración de Bush (2008) y de Obama (2009) para entrevistar de forma personal y confidencial en Washington D.C. con personas de la NSF, área de ciencia de la Casa Blanca Senado, académicos y Embajada de México, así como a algunos líderes de industria de alta tecnología (GTM, INAOE, 2009).

En esas visitas se encontró que los científicos de UMASS habían mantenido a nivel local, dentro del departamento de Astronomía el proyecto del LMT/GTM lo que dificultó formalizar la asignación de fondos de la NSF y de instancias posiblemente interesadas en participar en el proyecto (GTM, INAOE (2009).

Se menciona también que es indispensable detonar el interés de instancias de gobierno con la intención de obtener fondos, así como atraer a la comunidad científica y a la comunidad en general para participar en el proyecto, así como mantener contacto con la Embajada de México y convertirla en una instancia que promueva el GTM en Estados Unidos (GTM, INAOE (2009).

Uno de los grandes retos a los que se ha enfrentado el GTM a lo largo de los años, es la necesidad de financiamiento de largo aliento que no dependa de la capacidad de negociación año con año para contar con recursos vía el Presupuesto de Egresos de la Federación.

Finalmente, el costo aproximado del GTM fue de 200 millones de dólares, con una historia de casi veinte años (JPE, 2018), en contraste con un presupuesto inicial de 50 millones de dólares (GTM, INAOE, 2009). En el 2017 se aprobó un proyecto del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECyT) por 150 millones de pesos para apoyar su operación por tres años (entrevista AC, 2022).

A partir de la desaparición de los 109 fideicomisos en octubre del 2020 (Gobierno de México, 2020) por decisión del gobierno federal con el abal de ambas cámaras, a pesar de la desaprobación de diferentes miembros e instituciones de la comunidad científica, el financiamiento para la ciencia se vio afectado.

De esos 109 fideicomisos (Sánchez, P., 2020), 65 corresponden a fondos CONACyT, creados en la Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación del 2002, y 26 a los Centro Públicos de Investigación (CPIs) entre los que se encuentra el INAOE, institución de adscripción del GTM/LMT y HAWC.

En una carta enviada por el Dr. Edmundo A. Gutiérrez D., director general del INAOE para el período 2020-2025, dirigida a la comunidad de la coordinación de astrofísica el 10 de noviembre del 2020, señala la situación en la que se encontraba el GTM/LMT en ese momento, así como el futuro del mismo.

Entre los temas señalados en la carta se menciona que "...se han ejercido los primeros 50 millones de pesos de un total de 150 millones para tres años (2018-2019 al 2020-2021) provenientes del apoyo FORDECyT 297324 "Operación de la infraestructura del consorcio Gran Telescopio Milimétrico para investigación avanzada en astronomía y tecnología milimétrica", y que las dos siguientes ministraciones se entregarán en una emisión el 2020.

De manera adicional comenta que posterior al apoyo del FORDECyT y de los fondos otorgados por UMASS, no existe garantía por escrito de presupuesto para la operación y mantenimiento del GTM (ver Anexo 3).

Entre los pendientes del LMT/GTM está la necesidad de posicionarse como Observatorio Nacional, o instancia semejante, con su propio mandato y presupuesto independiente del INAOE (GTM, INAOE, 2009).

Actualmente, la noche del 14 de abril el GTM/LMT inició la campaña de observación de agujeros negros supermasivos del EHT 2023 (EHT, 2023).

Fig 18. LMT/GTM



Imágenes LMT/GTM: @gopastro

Fig. 19 LMT/GTM



La inversión para la creación de HAWC de acuerdo con fuentes periodísticas tuvo un costo estimado de 15 millones de dólares (Poy Solano, 2015). El observatorio actualmente recibe fondos, la mayor parte de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF), a través de la Universidad de Maryland; la Universidad Nacional autónoma de México (UNAM) aseguró fondos complementarios, al apoyar el centro de datos que se encuentra en el Instituto de Ciencias Nucleares (ICN-UNAM); por su parte el INAOE cubre los gastos del sitio y del equipo técnico (entrevista AC. 2022).

De acuerdo con Alberto Carramiñana, en una presentación que se hizo a la NSF, DoE y Conacyt en 2018, se mostraron los siguientes datos de manera resumida referidos a los costos de operación de HAWC por agencia financiadora en dólares (AC, 2021):

Tabla 12. Costos de operación de HAWC (2018) en dólares

Rubro	NSF	DoE	México
Ingeniería y soporte técnico (incluidos viáticos)	320,000	20,000	60,000
Personal de operaciones y manejo de datos (*)	210,000	270,000	250,000
Almacenamiento de datos y cómputo	220,000	—	250,000
Operación y mantenimiento del observatorio	50,000	30,000	185,000
Total	805,000	320,000	745,000

La suma asciende a 1.8 millones de dólares. Respecto al rubro de personal de operaciones y manejo de datos, 500,000 dólares corresponden al personal en Estados Unidos, y los 250,000 dólares (5M) de la aportación de México son del personal en nómina del INAOE que se encuentran en el sitio, y de los técnicos de cómputo de la UNAM.

Los fondos requeridos por parte de México hacen a 10 millones de pesos, de los cuales el 50% corresponden a discos duros y capacidad de cómputo.

En 2022 debido a un problema con el transformador principal en el sitio fue necesario hacer un gasto adicional asumido por el INAOE.

Hasta el mes de agosto del 2023 se cuenta con el apoyo de NSF y existe indefinición sobre la posibilidad de extender su apoyo. Por parte de CONACyT se ha recibido muy poco apoyo desde 2019 (AC, 2021)

Vinculación con empresas e industria

La creación del GTM y HAWC requirieron del uso de diferentes tecnologías involucradas en su diseño y operación. En ese contexto, fue necesario el acercamiento y establecimiento de relaciones con diferentes empresas pertenecientes a sectores industriales como el de cemento, por mencionar alguno.

De acuerdo con lo señalado en las entrevistas los científicos mencionaron que fue necesario en los casos del GTM y HAWC crear algunas empresas dedicadas específicamente a la construcción de diferentes materiales y tecnologías específicas, por ejemplo, la confección de las bolsas para el almacenamiento del agua requerida para los tanques que conforman HAWC, y en su caso para la elaboración de los espejos que conforman los anillos del plato único de 50 metros de diámetro del GTM.

La vinculación establecida con las empresas implicó enfrentar diferentes tipos de retos entre los que se encuentran el incumplimiento en algunos casos de lo estipulado en el contrato, así como retrasos en cuanto a tiempos de entrega de lo solicitado.

Sin embargo, al mismo tiempo se articularon esfuerzos para construir y diseñar en nuestro país la tecnología requerida, así como diferentes componentes involucrados en servicios y procesos necesarios para la creación y operación de ambos proyectos. Alfonso Serrano, de acuerdo con la información de las entrevistas, fue particularmente uno de los personajes con gran influencia que favoreció la articulación con la industria y empresas nacionales.

4.1.6 Dimensión ambiental

Debido a las condiciones geográficas en las que se encuentran ubicados el GTM y HAWC, en el Volcán Sierra Negra, fue necesario tomar en cuenta las condiciones ambientales presentes en los procesos de creación y operación de los proyectos.

Es importante señalar que tales condiciones imprimen circunstancias particulares que influyen en el desarrollo de las actividades de investigación que suceden en ambos laboratorios en la actualidad.

Gestión de permisos ambientales

De acuerdo con lo señalado por los científicos entrevistados, el GTM cuenta con la propiedad del terreno en el que se ubica. De manera adicional, gracias al trabajo realizado para la creación del GTM, se construyó el camino para el tránsito de material y equipo pesado, situación que el Instituto Nacional de Ecología (INE) conocía (INAOE, 2012; entrevistas).

Los trámites fueron presentados a dicha instancia y fueron autorizados la construcción del camino de acceso, construcción del GTM y de la infraestructura de apoyo, el tendido de la fibra óptica, así como de la línea de energía eléctrica. El cambio de uso de suelo, la enajenación del terreno mediante la cual el Gobierno Federal, a través de la Secretaría de la Función Pública, otorga al INAOE el terreno donde se instaló finalmente el GTM (INAOE, 2012).

Cabe señalar que tanto la gestión realizada para el GTM con instancias de gobierno, así como con las autoridades de la comunidad de Atzizintla, contribuyó a que HAWC presentara retos con menor grado de complejidad gracias a la experiencia del GTM.

Por su parte HAWC se ubica a las faldas del volcán Sierra Negra y ocupa un espacio considerado como Suelo de conservación. Dicha condición implicó gestionar los permisos necesarios para crear el laboratorio y el camino adicional en el que pudieran transitar camiones con el equipo necesario para crear la infraestructura.

Actualmente cuentan con un permiso autorizado por diez años que dio inicio en 2016(?). Al término de este, entre los acuerdos se encuentra la obligación por parte de HAWC de restaurar el daño ambiental causado en dicha zona, ello implica realizar actividades para la recuperación de flora y fauna (entrevistas).

Como parte de los compromisos adquiridos por HAWC se encuentra la co-responsabilidad relacionada con el cuidado del medio ambiente del suelo de conservación, lo que requiere de la coordinación con instancias de gobierno para desarrollar actividades de cuidado y protección.

4.2. Política pública para la creación de grandes proyectos de infraestructura científica en nuestro país

Como se mencionó en el apartado sobre los grandes proyectos de infraestructura científica en el mundo en el capítulo 2, es necesario crear instrumentos y mecanismos que permitan enfrentar los grandes horizontes de planeación, presupuesto, posibles conflictos de interés entre los involucrados, dificultades y retos tecnológicos, y un gran número de situaciones emergentes que en su momento no fueron consideradas con precisión.

4.2.1 Ejemplos de instrumentos y mecanismos para la creación de grandes proyectos de investigación científica

De acuerdo con la OCDE (2010) en su momento las propuestas de grandes infraestructuras científicas fueron creadas tomando en cuenta prácticas pasadas en las que era indispensable el cabildeo de personas o comunidades de científicos comprometidos con el interés que los motivaba. Lo anterior ejemplifica el proceso de creación del LMT/GTM.

Sin embargo, dichas iniciativas fueron construidas con soluciones específicas para sus necesidades en lugar de construir un marco político robusto y coherente que incluyera

instrumentos de regulación comunes (Hallonsten, 2014) que fueran de utilidad como marcos generales para la creación de otros proyectos de gran envergadura.

Un ejemplo del esfuerzo realizado por la Comunidad Europea en la línea de la creación de marcos generales es la creación del Foro Estratégico Europeo en Infraestructuras de Investigación que conjunta los mapas de ruta (roadmaps) de diferentes países (ESFRI), además de la creación del Consorcio Europeo de Infraestructuras Científicas (ERIC) que contribuye a crear instrumentos de política especializados para facilitar la creación y operación de las colaboraciones de las infraestructuras científicas (Moskovko, 2020).

Dicho lo anterior, resulta importante señalar que ESFRI contribuye en la coordinación de los mapas de ruta fomentando las mejores prácticas para su diseño, sin embargo no está facultado para garantizar el financiamiento a largo plazo de los proyectos a gran escala, ya que los encargados de diseñar las políticas nacionales de cada país participante en los proyectos de colaboración y sus autoridades nacionales son los encargados de establecer los mecanismos para financiar las infraestructuras de investigación (Hallosten; Cramer, 2020).

Como ejemplos de algunos instrumentos y mecanismos para la creación de infraestructura de investigación a gran escala podemos mencionar el perteneciente a Flanders, Bélgica, así como la Convención para el establecimiento del CERN, los Memorandums de entendimiento para ISS, el Estatuto Internacional de SESAME, el Acuerdo para el Establecimiento de ITER, así como los acuerdos intergubernamentales.

Con la intención de evitar depender únicamente del cabildeo y del uso de los vínculos entre las persona y comunidad científica interesada en a la creación de proyectos de infraestructura científica, es que resulta de utilidad avanzar en el diseño de instrumentos y mecanismos que contribuyan a su creación y operación.

En la actual administración presidencial y de la dirección de CONACyT, se percibe un clima poco favorable para diseñar instrumentos y mecanismos que contribuyan a la creación y operación de grandes proyectos de investigación científica. Sin embargo, considero de utilidad avanzar en el diseño y características generales.

Entre las características del instrumento para que en nuestro país se impulse la creación de grandes proyectos de infraestructura científica se encuentra el que además de garantizar la asignación de fondos a largo plazo por parte del gobierno, instancias federales (secretarías de Estado) en sincronía con el proyecto y no con la discusión anual de Presupuesto de Egresos de la Federación, se involucre la participación de la comunidad científica a nivel, local, regional, nacional, instituciones de educación superior y centros de investigación. Cabe señalar que dada la envergadura de los proyectos de infraestructura científica con horizontes de planeación largos y costos elevados, se requiere considerar la importante participación de otros países y de sus comunidades de científicos y tomadores de decisiones.

En la propuesta de ejecutivo de la “Ley General en materia de Humanidades, Ciencias, y Tecnologías e Innovación” del 13 de diciembre del 2022, se señala como parte de los ejes programáticos y de articulación de la política pública el “impulsar la ciencia básica y de frontera en todas la áreas y campos del saber científico, así como el establecimiento de una Agenda Nacional en la materia. De manera adicional, en la propuesta se menciona que los esfuerzos del sector deben ser dirigidos a fortalecer la soberanía nacional partiendo de la consolidación de la independencia científica y tecnológica.

En ese sentido es que el diseño de un instrumento que defina regule y fomente la creación y operación de grandes proyectos de infraestructura científica tendría cabida, y sería de gran importancia ya que dada la respuesta a la convocatoria del 2006 del CONACyT sobre la presentación de ideas para la realización de Megaproyectos de investigación científica o tecnológica, la comunidad científica nacional presentó un gran número de proyectos (ver Anexo 2), lo que indica el interés por desarrollar ciencia de frontera que contribuya a creación de conocimiento y al beneficio de la humanidad en diferentes disciplinas de conocimiento.

Capítulo 5. Conclusiones

La gestión política de los científicos mexicanos en la creación y puesta en marcha del Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano (GTM) y el Observatorio de Rayos Gama (HAWC) jugó un papel trascendente en cada uno de los proyectos, influyendo en su éxito y ritmo de trabajo.

El conjunto de factores que enmarcaron el desarrollo de los proyectos imprime características particulares que permiten comprender con mayor profundidad las circunstancias que acompañaron cada caso.

Analizar con un enfoque dinámico las diferentes dimensiones de los factores políticos, económicos, tecnológicos, sociales, medioambientales y de seguridad pública, y de actividad científica, resulta de utilidad para el diseño, creación y operación de otros grandes proyectos a futuro.

Los retos de diferente índole a los que se enfrentaron los científicos involucrados en cada proyecto dan cuenta de las diferentes posibilidades de acción, a pesar de condiciones poco favorables en algunas etapas del proceso implicado, así como de la fortaleza y ejemplo de los científicos para pensar en grande, y dimensionar el proceso de creación de conocimiento como resultado de la construcción social.

Una de nuestras principales conclusiones indica que un aspecto crítico para garantizar el éxito de grandes megaproyectos en países en desarrollo es contar con un equipo de investigadores con amplia experiencia científica y tecnológica.

Referencias

1. Adler Lomnitz, L. (1994). Redes sociales, cultura y poder: ensayos de antropología latinoamericana. México. Miguel Ángel Porrúa, FLACSO.
2. AMC (2008) Science in Mexico 2008: Present State and Perspectives", Editor Laclette Juan Pedro, México. AMC-CCC-Conacyt.
3. Aréchiga, H. (1993). En: Boldú, J; De La fuente, J, (1993). Science Policy in Developing Countries. The Case of Mexico. UNAM, FCE. México.
4. Ariane Space Group, (2021) <https://www.arianespace.com/mission/ariane-flight-va256/>
5. Baumann, Burgos, Marcelo (2006). Historical Studies in the Physical and Biological Sciences, Vol. 36, No. 2, pp.329-341. University of California Press. <http://jstore.org/stable/10.1525/hsp.2006.36.2.329>
6. Bartolucci, Jorge (2000). La modernización de la ciencia en México. El caso de los astrónomos. Ed. UNAM-Plaza y Valdez (Col. Historia de la Educación), México.
7. Becher, T. (2001). Tribus y territorios académicos. La indagación intelectual y las culturas de las disciplinas. España. Gedisa.
8. Flyvbjerg, 2014, "What You Should Know about Megaprojects and Why: An Overview," *Project Management Journal*, vol. 45, no. 2, April-May, pp. 6-19, DOI: 10.1002/pmj.21409
9. Börzel, T.A. (1997). ¿Qué tienen de especial los policy networks? Explorando el concepto y su utilidad para el estudio de la gobernanza europea, en *European Integration Online Papers (EIOP)* vol 1: <http://eiop.or.at/eiop/texte/1997-016a.htm> (trad. María Angela Petrizzo).
10. Catálogo de Redes de investigación. (2012) CONACyT. México. <http://www.conacyt.gob.mx/fondos/institucionales/Ciencia/RedesTematicas/Paginas/default.aspx>
11. CERN, (2023). Convention for the Establishment of a European Organization for Nuclear Research, 1953. <https://council.web.cern.ch/en/content/convention-establishment-european-organization-nuclear-research>
12. Clark, B. (1991). El sistema de educación Superior. Una visión comparada de la organización académica. México. UAM-Nueva Imagen.
13. CONACyT (2006). Convocatoria para presentación de ideas para la realización de megaproyectos 2996 de investigación científica o tecnológica. <http://2006-2012.conacyt.gob.mx/fondos/institucionales/Ciencia/MegaProyectos/Paginas/default.aspx>
14. CONACyT (2008). Programa Especial de Ciencia y Tecnología, 2008-2012. <http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/contenido/PECiTI.pdf>
15. CONACyT (2010). CONACyT, 40 años. Línea de tiempo. CONACyT.
16. CONACyT (2008). Programa Institucional. CONACyT. México. <http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/contenido/ProgInst0812.pdf?pSel=>
17. CONACyT. (2018). Laboratorios Nacionales. Exploración del Universo. Consultado en marzo 2018. <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/desarrollo-cientifico/programa-de-laboratorios-nacionales/directorio-ln/category/exploracion-del-universo>
18. Damayanti, R.; Hartono, B.; Wijaya, A. (2021). Clarifying megaproject complexity in developing countries: A literature review and conceptual study. *International Journal of Engineering Business Management*, Volume 13: 1–25.

19. Event Horizon Telescope, EHT (2019) Astronomers Capture First Image of a Black Hole. <https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole>
20. Event Horizon Telescope, EHT (2022) Astronomers Reveal First Image of the Black Hole at the Heart of Our Galaxy. <https://eventhorizontelescope.org/blog/astronomers-reveal-first-image-black-hole-heart-our-galaxy>
21. Event Horizon Telescope, EHT [@ehtlescope]. (2023, April 14). After a few days of bad luck with the weather across the globe, we are starting our 2023 EHT campaign observing supermassive black holes tonight! Picture (@gopastro): the LMT on the Sierra Negra in Mexico is getting ready. [t.co/lfIwN2UtyT](https://twitter.com/ehtlescope/status/1646988851208921089) [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/ehtlescope/status/1646988851208921089>
22. FCCyT (2012). Cuatro grandes Proyectos. Ciencia e Innovación en México. Universia. México. FCCyT.
23. FCCyT (2013). Construyendo el diálogo entre los actores del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación. México. FCCyT
24. FCCyT (2019). De cómo el Foro Consultivo Apoyó al Gran Telescopio Milimétrico. 25 de abril, 2019 Boletín No. 87. <https://www.foroconsultivo.org.mx/FCCyT/boletines-de-prensa/de-c%C3%B3mo-el-foro-consultivo-apoy%C3%B3-al-gran-telescopio-milim%C3%A9trico>. Consultado en 2019.
25. Flyvbjerg, Bent (2005). Policy and Planning for Large Infrastructure Projects: Problems, Causes, Cures. World Bank Policy Research Working Paper 3781, December 2005
26. Flyvbjerg, Bent (2014). What You Should Know About Megaprojects and Why: An Overview (April 7, 2014). Project Management Journal, April/May 2014, <https://ssrn.com/abstract=2424835>
27. Flyvbjerg, Bent, (2017). Introduction: The Iron Law of Megaproject Management ed., The Oxford Handbook of Megaproject Management, Oxford University Press, Chapter 1, pp. 1-18. <https://ssrn.com/abstract=2742088>
28. Flyvbjerg, B., Gardner, D. (2023). How big things get done. Currency. Ney York
29. Franco, Julio (2016). Diseño de políticas Públicas. Una guía práctica para transformar ideas en proyectos viables. México. IEXE
30. Freeman, Linton, C. (2004). The development of social network analysis. A Study in the sociology of science. Canada. Empirical Press.
31. Friedkin, Noah E. y Eugene. C. Johnsen (2001). "Social influence network and opinion change". Social Network. 19, 209-222.
32. García, Francisco (1980). Cómo nació hace diez años el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Dirección General de Divulgación de la Ciencia del CONACYT. En: FCCyT (2013). Construyendo el diálogo entre los actores del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación. México. FCCyT
33. Gil Mendieta, J., Schmidt, S. (2005). La red política en México. Modelación y análisis por medio de la teoría de Gráficas. México. IIMAS. México. UNAM.
34. Gil Mendieta, J., Schmidt, S. (2005). Análisis de redes. Aplicaciones en ciencias sociales. IIMAS. México. UNAM.
35. Gil Mendieta, J., Schmidt, S. (2005). El estudio sobre la red política en México. IIMAS. México. UNAM.
36. Goetz J. P., y LeCompte, M. D. (1988), "Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa", Morata, Madrid.
37. Gobierno Brasil (1991). Plan Plurianual 1991-1995, Anexo I. directrices objetivos generales. <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/planejamento-e-orcamento/plano-plurianual-ppa/arquivos/ppas-anteriores/ppa-1991-1995/anl8173-1991.pdf>

38. Gobierno de México (2020). DECRETO por el que se ordena la extinción o terminación de los fideicomisos públicos, mandatos públicos y análogos. DOF, 2020. DOF: 02/04/2020
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5591085&fecha=02/04/2020#gsc.tab=0
39. Gran Telescopio Milimétrico, INAOE (2009). Plan estratégico. Plan de Negocios. INAOE
40. Gran Telescopio Milimétrico, Alfonso Serrano. Consultad en 2018. <http://www.lmtgtm.org/?lang=es>
41. Gobernación (2018). Cabildeo. Sistema de Información Legislativa México. Gobernación
42. Hallonsten, O.; Cramer, K. (2020). Big Science and Research Infrastructures in Europe. Edward Elgar Publishing. UK, USA
43. HAWC. <https://www.inaoep.mx/~hawc/> Consultado en 2018.
44. Herrera, Liliana (Productora). (2011). To Iluikatl. Historia del Gran Telescopio Milimétrico [DVD]
45. INAOE (2008a). Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica. GTM <http://astro.inaoep.mx/observatorios/gtm/> Consultado en 2018.
46. INAOE (2008b). Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica. HAWC <http://astro.inaoep.mx/observatorios/hawc.php> Consultado en 2018.
47. INAOE (2012). Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica. Libro blanco 2006-2012 Proyecto del Gran Telescopio Milimétrico. https://www.inaoep.mx/portalfiles/marconormativo/Libro_Blanco_del_Proyecto_Gran_%20Telescopio_Milimetrico_%202006-2012.pdf Consultado en 2018.
48. INAOE (2020). Protocolo de retorno seguro. https://www.inaoep.mx/archivos2020s/2022/PROTOCOLO_DE_RETORNO_SEGURO-Actualizaci%C3%B3n_1_de_octubre_2021.pdf
49. ITER (2007). Agreement on the Establishment of the ITER International Fusion Energy Organization for the Joint Implementation of the ITER Project. [chrome-https://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/WebText_2014/Attachments/245/ITER_Agreement.pdf](https://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/WebText_2014/Attachments/245/ITER_Agreement.pdf)
50. JPE (2018) Concludes construction of a large millimeter telescope in Puebla. El Universal January 10, 2018, Science and health. <https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/tecnologia/concluye-construccion-de-gran-telescopio-milimetrico-en-puebla> (retrieved on February 25, 2019).
51. Klijn, E.J. Redes de políticas públicas: una visión general. (Acrobat) en Kickert, W. J. M. & Koppenjan, J.F.; (eds) (1998) Managing Complex Networks. Sage, London
52. Kreimer, P., Vesuri, H., Velho, L., y Arellano, A. coord. (2014). Perspectivas latinoamericanas en el estudio social de la ciencia, la tecnología y la sociedad. México. FCCyT, Siglo XXI, ESOCITE, CYTED.
53. Latour, B. (2008). Reensamblar lo social: Una introducción a la teoría del actor-red. Buenos Aires. Manantial.
54. Ley de Ciencia y Tecnología (2002). Diario Oficial de la Federación. 28-01-2011. http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/acerca_siicyt/ley.pdf
55. López, R., Rivas, F., et al. (2011). Estrategia y práctica parlamentaria en un Congreso plural. México. Senado de la República, LXI Legislatura. <http://www.diputados.gob.mx/sedia/sia/re/RE-AB-86.pdf>
56. Mendoza Rojas, J. (2009). Financiamiento de la educación superior y crisis económica. Temas de hoy en la Educación Superior. No. 26. México. ANUIES.
57. Melchor, Josten, Elorza, Meyer, and Lacunza, 2020. Hands On! Case Studies. In: S4D4C European Science Diplomacy Online Course, Module 7, Vienna: S4D4C.

58. Milbrath, Lestes W. Y Goel, M.L. (1977). *Política participativa. How and why do people get involved in politics?* Chicago. College Publishing Company.
59. Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (MCTI), (2016). *Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2016 – 2019*. http://www.mcti.gov.br/noticia/-/asset_publisher/epbV0pr6elS0/content/mcti-lancaestrategia-nacional-de-ciencia-tecnologia-e-inovacao-2016-2019
60. Moskovko, M. (2020). Intensified role of the European Union? European Research Infrastructure Consortium as a legal framework for contemporary multinational research collaboration, en: Hallonsten, Cramer (2020) *Big Science and Research Infrastructures in Europe*. Edward Elgar Publishing, UK, USA
61. Müller, A., Schmitz, S., Josten, M. (2020). Which thematic and regional approaches of science diplomacy exist?
62. NASA, (2010). Memorandum of understanding between the National Aeronautics and Space Administration of the United States of America and the Russian Space Agency concerning Cooperation on the civil International Space Station, 1989. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/nasa_rsa.html
63. Network Startup Resource Center (NSRC). (2019) Big Science list. University of Oregon, http://www.nsrc.org_ Consultado septiembre 2019.
64. Nicolesco, Basarab (1998). *La transdisciplinariedad. Manifiesto*. Ediciones Du rocher.
65. OCDE (2010). *Large Research Infrastructures. Report on Roadmapping of Large Research Infrastructures (2008) Report on Establishing Large International Research Infrastructures: Issues and Option (2010)*. OECD Global Science Forum
66. OCDE-FCCyT (2012). *La estrategia de la Innovación de la OCDE*. México, FCCyT.
67. Parsons, W. (2007) *Políticas públicas. Una Introducción a la teoría y la práctica del análisis de políticas públicas*. FLACSO. México. Miño y Dávila Editores.
68. PECITI-FCCyT (2013). *Formación, Investigación y Transferencia de Conocimiento*. México, FCCyT
69. Poy Solano, L (2015) HAWC observatory, one of the most powerful in the world, inaugurated. *La Jornada, Science* <https://www.jornada.com.mx/2015/03/20/ciencias/a02n1cie> (retrieved in February 15, 2019)
70. Redfield, (2000). *Space in the Tropics. From Convicts to Rockets in French Guiana*. University of California Press. USA
71. Research Foundation - Flanders (2023). *Regulations for large-scale research infrastructure*. <https://www.fwo.be/en/fellowships-funding/research-infrastructure/large-scale-research-infrastructure/> Consultado en enero 2023.
72. Robinson, M. (2021). *Big Science Collaborations; Lessons for Global Governance and Leadership*. *Global Policy* Volume 12: 66-80 <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12861>
73. Robson, C (2002), "Real world research", UK, Blackwell Publishing.
74. Roth, A. (1999). *Políticas públicas: formulación, implementación y evaluación*. Aurora, Colombia
75. Rubio, J. (2006). *La política educativa y la educación superior en México, 1995-2006: un balance*. SEP
76. Sánchez Vázquez, A. (2000). *De astrónomos y campesinos. Estudio de una interacción etnográfica*. Tesis CIESAS
77. Sánchez, P., (2020). *Lo que no te han contado: ¿Cuáles son los 109 fideicomisos que van a desaparecer?* <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/cuales-son-los-109-fideicomisos-que-proponen-desaparecer>
78. SEDESOL (2015). *Atzizintla. Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2015*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/37936/Puebla_023.pdf

79. SESAME (2004). Statutes of the International Centre for Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East. <https://www.sesame.org.jo/about-us/governing-document>
80. S4D4C European Science Diplomacy (2020). Large-scale research infrastructures https://www.s4d4c.eu/knowledge_resource/large-scale-research-infrastructures/
81. Travis, J. (1993) LIGO: A \$250 Million Gamble The potential prize would be great: the first glimpses of gravitational waves. But a messy dispute at Caltech has again raised the question of whether it's too long a shot. SCIENCE vol. 260 30 april 1993
82. Villanueva (1993). La implementación de las políticas. Porrúa. México.
83. Vinck, D. (2014). Ciencias y Sociedad. Sociología del trabajo científico. Argentina. Gedisa.
84. Xifra, Jordi. (2000) El Lobbying. Ed. Gestión. Barcelona, España.

ANEXO 1. Grandes infraestructuras científicas en perspectiva

	Nombre	Participantes	Timeline	Presupuesto	Localización	Sitio Web
SKA	Square Kilometre Array	South Africa (and neighboring countries), Australia, New Zealand, Canada, China, Germany, Italy, Netherlands, Sweden, India (Associate member), USA, Brazil, France, Japan, Korea, Poland, Portugal, Russia, Spain and the UK.	2016 to 2024	1,500 million euros.	Los sitios se incluirán en Australia y Sudáfrica. Sede ubicada en Manchester, Reino Unido.	http://www.skatelescope.org/
ELI	Extreme Light Infrastructure	13 EU member countries involved.	Target operational year of 2015.	1,000 million euros. More than 40 laboratories from 13 countries funded the ELI preparatory phase.	Sites currently built in Prague (Czech Republic), Szeged (Hungary) and Magurele (Romania). The highest intensity pillar location is still to be decided.	http://www.extreme-light-infrastructure.eu/
VLT	Very Large Telescope Array	Collaboration with many European countries.	The first unit telescope began functioning in 1999.	Investment of 78 million US dollars.	The main facility is located in Chile.	https://www.eso.org/public/teles-instr/vlt.html
LHC	Large Hadron Collider	La instalación está ubicada en la frontera franco-suiza, una colaboración de 10,000 científicos e ingenieros de más de 100 países.	Comenzó el 10 de septiembre de 2008 y operará durante dos meses en 2013 y se cerrará por actualizaciones. Reapertura prevista para principios de 2015.	7.5 billion euros.	Cerca de Ginebra, Suiza, donde se extiende la frontera entre Suiza y Francia.	http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/lhc-en.html http://lhc.web.cern.ch/lhc/
ISS	International Space Station	La NASA, la Agencia Espacial Federal Rusa (Roscosmos), la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA), la Agencia Espacial Europea (ESA), la Agencia Espacial Canadiense (CSA). Responsabilidades de cada miembro involucrado: NASA: establece políticas de gestión y analiza todas las fases del programa de la estación espacial; Roscosmos: supervisa todas las actividades de vuelo espacial humano de Rusia; CSA: proporciona los recursos, el equipo y la experiencia necesarios para la ingeniería y el monitoreo del sistema de servicio móvil, así como para la capacitación de la tripulación; ESA: el sitio más grande se encuentra en	1998--2020.	45 billion US dollars. (45,000,000,000 dollars)	Ubicado fuera de la atmósfera de la Tierra.	http://www.nasa.gov/mision_pages/station/main/index.html

		Noordwijk, Países Bajos, más de 2.000 especialistas desarrollan la mayoría de los proyectos de la ESA; JAXA: El Centro Espacial Tsukuba y la Instalación de lanzamiento de Tanegashima son instalaciones primarias de la ISS.				
NEPTUNE	Neptune Canada Undersea Observatory	Canadá	Los instrumentos se instalaron en 2011 y 2012, y todavía están actualmente en funcionamiento.	12 million US dollars.	Se encuentra frente a la costa oeste de la isla de Vancouver, Columbia Británica.	http://www.neptunecanada.com/
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor	EU, India, Japan, China, Russia, South Korea and the U.S.	Comenzó en 2010 y se espera que se complete en 2020. Las operaciones programadas comenzarán en 2027.	15 billion euros.	Instalaciones principales en Francia.	http://www.iter.org/
ALMA	Atacama Large Millimeter/Sub-Millimeter Array	Una asociación internacional entre Europa, Estados Unidos, Canadá, Asia Oriental y la República de Chile.	Los pasos preparatorios comenzaron en 1995 y la operación a gran escala comenzará en 2013.	1 billion US dollars. (1,000,000,000 USD)	En la meseta de Chajnantor, 5000 metros de altitud en el norte de Chile.	http://www.almaobservatory.org/
FAIR	International Facility For Antiproton And Iron Research	Finland, France, India, Poland, Romania, Russia, Solvenia, Spain and Sweden.	Comenzará a funcionar en 2018.	1.6 billion euros.	Está listo para ser construido en los próximos años cerca de Darmstadt en Hesse, Alemania.	http://www.fair-center.eu/
CLIC	Compact Linear Collider - Propuesta	A global, multi-lateral collaboration of 43 institutes from 22 countries.	El informe de diseño conceptual del acelerador CLIC está previsto que se complete en 2012.	Un presupuesto combinado (con el Colisionador Lineal Internacional) 20 billion US dollars.	Aún por determinar.	http://clic-study.web.cern.ch/clic-study/
ILC	International Linear Collider - Propuesta	Una colaboración global y multilateral de 43 institutos de 22 países.	La construcción podría comenzar en 2015 o 2016 y no se completará antes de 2026.	Un presupuesto combinado (con el Colisionador lineal compacto) 20 billion US dollars.	Los países anfitriones propuestos para el acelerador son Japón, Europa (CERN) y EE. UU. (Fermilab) Japón es considerado el candidato más probable.	http://www.ilnearcollider.org/
ENCODE	Encyclopedia Of Dna Elements	El Instituto Nacional de Investigación del Genoma Humano de EE. UU. (NHGRI).	Comenzó en 2003 y actualmente está en curso.	12 millones de dólares estadounidenses.	El centro de investigación está en la Universidad de California Santa Cruz.	http://www.genome.gov/10005107
1000 Genomes Project	1000 Genomes Project	Estados Unidos, Canadá, UE, Reino Unido, China y el Caribe.	Lanzado en 2003 y la fase piloto se completó en 2010.	Entre 30 y 50 millones de dólares.	Se están realizando investigaciones en muchos laboratorios.	http://www.1000genomes.org

SDSS	Sloan Digital Sky Survey	Involucrando a EE. UU., UE, Japón, Reino Unido y China.	Más de ocho años de operaciones (SDSS -- I, 2000--2005; SDSS -- I, 2005--2008), (SDSS -- I, 2000--2005; SDSS -- I, 2005--2008; SDSS--Insistente) SDSS -- Continuaré operando y publicando datos hasta 2014.	26.2 million US dollars.	Ubicación principal en el Observatorio de Apache Point, ubicado en Sunspot, Nuevo México.	http://www.sdss.org/
GWO	Southern Hemisphere's First Full-Scale Gravity Wave Observatory	Italia, Francia, China, Taiwán, Estados Unidos y probablemente Australia.	Proposed in 2012.	200 million US dollars.	El oeste de Australia.	http://www.gravity.uwa.edu.au/
NIF	Neuroscience Information Framework	Dirigido por la Universidad de California en San Diego.	Establecido en 2004, el proyecto aún está en curso.	...	University of California at San Diego	http://www.neuinfo.org/
iPlant	IPlant COLLABORATIVE	Múltiples universidades de EE. UU., La institución principal es la Universidad de Arizona.	Establecido en 2008; El proyecto está actualmente en curso.	50 million US dollars.	University of Arizona.	http://www.iplantcollaborative.org/
NEON	National Ecological Observatory Network	NEON, Inc.	NEON completó con éxito las fases de planificación y diseño y entró en la fase de construcción en la primavera de 2012. NEON actualmente está construyendo sitios. La construcción de toda la red de NEON llevará aproximadamente cinco años, por lo que NEON espera estar en pleno funcionamiento aproximadamente en 2017. NEON recopilará datos durante 30 años.	433 dólares estadounidenses financiados por la NSF.	Los datos se recopilarán de 60 sitios en los Estados Unidos (incluidos Alaska, Hawái y Puerto Rico).	http://www.neoninc.org/
PRAGMA	Pacific Rim Application And Grid Middleware Assembly	Participan 35 instituciones diferentes.	Establecido en 2002; El proyecto está actualmente en curso.	...	Muchos lugares en los Estados Unidos, China, Australia, India y otros países del sudeste asiático países.	http://www.pragma-grid.net/
Kbase	System Biology Knowledgebase	La colaboración está dirigida por el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley e incluye la participación de Argonne, Brookhaven y Oak Ridge, además de muchas universidades de los Estados Unidos.	La producción se lanzará en febrero de 2013.	12 millones de dólares para comenzar el proyecto.	Main location is at Lawrence Berkeley National Laboratory at the University of California, Berkeley.	http://kbase.science.energy.gov/
C4 RICE	C4 Rice	International Rice Research Institute es el principal contribuyente y su sede se encuentra en Filipinas.	Comenzó en 2008.	5 millones de dólares por año.	La investigación está en curso en muchos laboratorios del mundo.	http://c4rice.irri.org/

001	Ocean Observatories Initiative	Muchas universidades de los Estados Unidos. OOI tiene asociaciones con NEON a nivel nacional y NEPTUNE Canadá a nivel internacional.	La instalación de infraestructura proyectada comenzará en 2013 y finalizará en 2015.	Unos 200 millones de dólares estadounidenses para comenzar el proyecto.	El primer sitio está en el Golfo de Alaska.	http://www.oceanobservatories.org/
GEON	Geoscience Network	Colaboración de una docena de instituciones, también se han establecido varias asociaciones internacionales, p.ej. con Japón, China e India.	Establecido en 2002; El proyecto está actualmente en curso.	Estimado 14.5 millones de dólares estadounidenses	Datos que se recopilarán en todo el mundo.	http://www.geongrid.org/
SNS	Spallation Neutron Source	United States, Canada and others.	Comenzó a ejecutarse en 2012 y actualmente está bajo mantenimiento.	1.4 billones de dólares estadounidenses. (1,400 millones USD)	Laboratorio Nacional Oak Ridge en Oak Ridge, Tennessee.	http://neutrons.ornl.gov/facilities/SNS/
EARTHSCOPE	The Earthscope OPE	Muchas universidades y también grupos de análisis de datos.	Comenzó en 2003.	Alrededor de 200 millones de dólares estadounidenses.	Oficina nacional ubicada en la Universidad Estatal de Arizona.	http://www.earthscope.org/

Elaboración propia con información de NSRC, 2019

Fuente: Network Startup Resource Center (NSRC). Big Science list. University of Oregon, <http://www.nsrc.org>. Consultado septiembre 2019.

ANEXO 2. Propuestas aprobadas 1ª etapa CONACyT megaproyectos 2006

FONDO INSTITUCIONAL

CONVOCATORIA PARA PRESENTACIÓN DE IDEAS PARA LA REALIZACIÓN DE MEGAPROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA O TECNOLÓGICA 2006

<http://2006-2012.conacyt.gob.mx/fondos/institucionales/Ciencia/MegaProyectos/Paginas/default.aspx>

Ove	Título	Institución
52344	Estudio De La Estructura Y Funcionamiento Del Litoral Marítimo De La Península De Yucatán, Incluyendo Su Línea De Costa, Playas, Humedales Y Acuíferos Costeros	Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del I.P.N. - Unidad Mérida
52406	Parque Tecnológico Txtec	Txtec, Ac
52632	Centro De Evaluación De Vacunas	Instituto Nacional De Salud Pública
52688	Telescopios Gemelos De San Pedro Mártir (Spm-Twin)	Instituto De Astronomía
52783	Implementación De Una Fuente Avanzada De Luz (Ir-Vis-Uv-Uvv) Basada En Láseres De Pulsos Cortos.	Universidad Autónoma Metropolitana
53013	Manejo Integral Del Agua En El Norte Árido De México: De La Investigación Científica Y Formación A La Toma De Decisiones	Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias
53105	Ciberseguridad Para Apoyar A Los Individuos Y Las Organizaciones	Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey Campus Monterrey
53110	Red C+T+I: Construcción De Una Agenda De Prioridades Para El Diseño Y Ejecución De Políticas En Ciencia Tecnología E Innovación	Universidad Autónoma Metropolitana
53386	Arquitecturas Para El Monitoreo, Diagnóstico Y Control De Eventos En Grandes Áreas Y Espacios Abiertos	Universidad De Colima
53799	Resiliencia De La Interfase Sociedad Y Ecología: Implicaciones Ecológicas Y Socioeconómicas Del Desarrollo Costero En El Golfo De México Y El Caribe	Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del I.P.N. - Unidad Mérida
53931	Laboratorio Nacional De Nanoelectrónica	Instituto Nacional De Astrofísica, Óptica Y Electrónica
53948	Unidad De Biotecnología Agrícola Sinaloense	Instituto Politécnico Nacional
54354	Gasificación Integrada En Ciclos Combinados Con Recuperación De Bióxido De Carbono	Instituto De Ingeniería
54523	Tecnologías Del Lenguaje, De La Información Y Del Conocimiento	Universidad Nacional Autónoma De México
54547	Cambio Climático E Impacto Sobre La Biodiversidad De La Frontera Sur	El Colegio De La Frontera Sur
54585	Niveles, Tendencias Y Determinantes De La Desigualdad Social En México	El Colegio De México, A. C.
54707	Prospección De La Biodiversidad Para Encontrar Genes Y Enzimas Alternas A La Ruta De Fijación De Carbono Del Fostoglicerato: La Ruta Clave Que Determina El Consumo De Agua Y Productividad En Las Plantas.	Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del I.P.N. - Unidad Irapuato
54709	Biotecnologías Para La Obtención De Energías Alternas	Universidad Nacional Autónoma De México
54746	Proyecto Multidisciplinario E Interinstitucional Para Investigar Y Desarrollar Moléculas Innovadoras Que Permita A México Participar En El Mercado Mundial De Medicamentos Y Tratar Con Éxito La Epidemia Mundial De Enfermedades Crónicas	Nucitec, Sa. De Cv.
54758	Aplicación Y Caracterización De Sistemas Y Equipos De Fuentes Alternativas Para La Generación De Energía	Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del I.P.N.
53799	Resiliencia De La Interfase Sociedad Y Ecología: Implicaciones Ecológicas Y Socioeconómicas Del Desarrollo Costero En El Golfo De México Y El Caribe	Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del I.P.N. - Unidad Mérida
53931	Laboratorio Nacional De Nanoelectrónica	Instituto Nacional De Astrofísica, Óptica Y Electrónica
53948	Unidad De Biotecnología Agrícola Sinaloense	Instituto Politécnico Nacional
54354	Gasificación Integrada En Ciclos Combinados Con Recuperación De Bióxido De Carbono	Instituto De Ingeniería
54523	Tecnologías Del Lenguaje, De La Información Y Del Conocimiento	Universidad Nacional Autónoma De México
54547	Cambio Climático E Impacto Sobre La Biodiversidad De La Frontera Sur	El Colegio De La Frontera Sur
54585	Niveles, Tendencias Y Determinantes De La Desigualdad Social En México	El Colegio De México, A. C.
54707	Prospección De La Biodiversidad Para Encontrar Genes Y Enzimas Alternas A La Ruta De Fijación De Carbono Del Fostoglicerato: La Ruta Clave Que Determina El Consumo De Agua Y Productividad En Las Plantas.	Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del I.P.N. - Unidad Irapuato
54709	Biotecnologías Para La Obtención De Energías Alternas	Universidad Nacional Autónoma De México
	Proyecto Multidisciplinario E Interinstitucional Para Investigar Y Desarrollar Moléculas Innovadoras Que Permita A México Participar En El Mercado Mundial De Medicamentos Y Tratar Con Éxito La Epidemia Mundial De Enfermedades Crónicas	

54746		Nucitec, Sa. De Cv.
54758	Aplicación Y Caracterización De Sistemas Y Equipos De Fuentes Alternativas Para La Generación De Energía	Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del I.P.N.
54919	Centro De Secuencias Funcionales Para El Desarrollo De Variedades Agrícolas Con Valor Agregado.	Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias
54925	Información Cuántica Y Fotónica	Universidad Nacional Autónoma De México
54938	Un Nuevo Proceso Industrial: Del Grano De Maíz A La Tortilla	Centro De Física Aplicada Y Tecnología Avanzada
55029	Aseguramiento Energético Integral Con La Aplicación De Tecnología Solar- Hidrógeno-Pilas De Combustible	Instituto Politécnico Nacional
55155	Hawc, El Primer Experimento Astrofísico De Altas Energías En México	Instituto Nacional De Astrofísica, Óptica Y Electrónica
55160	Impacto De La Contaminación Del Agua Potable Por Agentes Nefrotóxicos (Metales Pesados, Arsénico, Fluoruro) Sobre La Función Renal En Poblaciones Humanas: Evaluación De Riesgo, Prevención Y Remediación.	Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del I.P.N.
55170	Sistema Oceanográfico Mexicano: Monitoreo, Diagnóstico Y Proyección Para La Sustentabilidad De Sus Mares Y Costas.	Centro De Investigación Científica Y De Educación Superior De Ensenada, B.C.(Cicese)
55208	Programa De Investigación Y Desarrollo En Inmunología Aplicada	Instituto Politécnico Nacional
55313	Desarrollo E Implementación De Tecnologías De Información Y Comunicaciones Para Incrementar La Cobertura, Eficiencia En Costos Y Calidad De Los Servicios Del Sector Salud: Red De Desarrollo Nacional Para Ciber-Salud	Centro De Investigación Científica Y De Educación Superior De Ensenada, B.C.(Cicese)
55329	Desarrollo De Aceleradores De Partículas. Fuente De Luz De Síncrotron.	Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del I.P.N.
55346	Secuencia Del Genoma De La Bacteria Promotora Del Crecimiento Vegetal (Pgp) Azospirillum Brasiliense.	Instituto Politécnico Nacional
55411	Desarrollo De Un Centro De Investigación En Biotecnología Pecuaria	Facultad De Estudios Superiores Cuautitlán
55480	Manejo De Ecosistemas Costeros Mediante Un Sistema De Bombeo Por Energía De Oleaje (Sibeo).	Instituto De Ciencias Del Mar Y Limnología
55493	Creación De Un Centro Nacional De Innovación, Desarrollo Y Manufactura En Bioprocesos: Generación De Productos Biotecnológicos De Alto Valor Comercial	Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey Campus Monterrey
55495	Diversificación: Una Alternativa Ecológica, Social Y Económica Para Campesinos Del Trópico	Universidad Veracruzana
55514	Robots Humanoides De Servicio	Instituto Nacional De Astrofísica, Óptica Y Electrónica
55553	Energía Para El Futuro	Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey Campus Monterrey
55646	Red Nacional De Detectores De Chubascos Atmosféricos (Mexican Large Area Time Coincidence Array)	Universidad De Guanajuato
55651	Desarrollo De Nanociencia Y Nanotecnología En México Como Catalizador Para Impulsar La Ciencia Y La Industria Con Alto Impacto En La Sociedad	Instituto Potosino De Investigación Científica Y Tecnológica, A.C.
55692	Creación De Una Unidad Experimental Y De Diagnóstico En Psiquiatría	Instituto Nacional De Psiquiatría "Ramon De La Fuente Muñiz"
55710	Iniciativa Nacional En Nanotecnología (Nanomex)	Centro De Investigación En Materiales Avanzados, S.C.
55786	C3 Centro De Ciencias De La Complejidad Incubadora De Megaproyectos	Universidad Nacional Autónoma De México
55810	Productividad Y Capacidad Empresarial: Estrategias Para Vincular El Desarrollo Urbano Y El Desarrollo Regional.	Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey, Campus Ciudad De México
55811	Estudio Integral De La Cirrosis Y Del Cáncer Hepatocelular. Detección Temprana, Prevención Y Posible Reversión.	Instituto De Fisiología Celular
55812	Investigación De Fenómenos Naturales Y Antropogénicos Para La Mitigación Del Riesgo Y La Prevención De Desastres En México.	Universidad Nacional Autónoma De México
55825	Producción De Biodiesel, Etanol Y Coproductos Para La Agricultura Y Ganadería En México.	Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias
55837	Mejoramiento Del Desempeño De La Infraestructura Escolar Ante Sismo	Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey Campus Monterrey
55905	Laboratorio Subterráneo Multidisciplinario Mexicano	Instituto De Ciencias Nucleares
56088	Iniciativa Nacional De Nanotecnología	Universidad Nacional Autónoma De México
56099	Portal De Biodiversidad Del Sureste De México: Uso Del Conocimiento Generado Con Base En Colecciones Científicas	El Colegio De La Frontera Sur
56155	Centro De Investigación Y Desarrollo En Química Médica	Universidad Nacional Autónoma De México
56175	Descifrando El Genoma Del Frijol Común: Una Prioridad Nacional	Universidad Nacional Autónoma De México
	Biotecnología Microbiana Con Impacto Ambiental Y En Biomedicina	Universidad De Guanajuato

56229		
56241	Sistema De Monitoreo De La Dinámica Del Carbono En Ecosistemas Terrestres De México	El Colegio De La Frontera Sur
56301	Producción De Variedades De Alto Rendimiento En Cultivos Perennes De Plantación En México Mediante El Desarrollo Y Aplicación De Sistemas Integrales De Micropropagación	Centro De Investigacion Cientifica De Yucatan, A.C.
56463	Sensores Para Deteccion De Radiacion Ir	Centro De Investigaciones En Optica, A.C.
56466	Instituto De Tecnologías De La Información	Centro De Investigacion En Matematicas, A. C.
56487	Desarrollo De Un Prototipo De Submarino Para Aplicaciones De Investigación Científica.	Ciateq, A.C. Centro De Tecnología Avanzada (Ciateq)
56520	Cadena Integral De Biodiesel Con Especies Nativas Mexicanas (Cbem)	Instituto De Investigaciones Electricas
56556	Proyecto Crivestav Para La Enseñanza De Ciencia Y Tecnología, Difusión Y Divulgación De Los Conocimientos Científicos.	Centro De Investigacion Y De Estudios Avanzados Del I.P.N.
56560	Bancos De Germoplasma De Suelos: Estrategias Para Su Uso En Biotecnología Y En La Restauración De Comunidades Vegetales Endémicas De México	Instituto Politecnico Nacional
56601	Centro De Estudios Sobre Cambio Climático Del Pacífico	Centro De Investigaciones Biológicas Del Noroeste, S.C.
56602	Hacia Una Visión Integral De La Conservación Y Uso Sustentable De Los Recursos Bióticos En El Pacífico Mexicano	Centro De Investigaciones Biológicas Del Noroeste, S.C.
56640	Diseño De Dispositivos Y Sistemas Electrónicos De Potencia Destinados A Mejorar La Calidad De La Energía Eléctrica Y A Eficientar Su Consumo.	Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey Campus Estado De México
56725	Seguridad Y Soberanía Alimentarias: Granos Básicos	Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias
56797	Desarrollo De Tecnologías De Concentración Solar	Centro De Investigación En Energía
56881	Consorcio Para Investigación Y Desarrollo Acuícola Del Noroeste De México	Centro De Investigacion Cientifica Y De Educacion Superior De Ensenada, B.C.(Cicese)
56891	Red Nacional De Manufactura Avanzada	Ciateq, A.C. Centro De Tecnología Avanzada (Ciateq)
56917	Desarrollo Sustentable De Zonas Metropolitanas Y Megaciudades: Deteccion De Sistemas Vulnerables, Valoracion De Riesgos, Estrategias Y Nuevos Paradigmas.	Universidad Autonoma Del Estado De Mexico
56978	Códigos Generativos Para El Desarrollo De Vivienda Social	Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey Campus Estado De México
57012	Recursos Geneticos De Las Especies Agrícolas De Mexico. Un Recurso Para Las Futuras Generaciones.	Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias
57043	Centro Tecnológico Para La Industria Del Envase Y Embalaje	Ciateq, A.C. Centro De Tecnología Avanzada (Ciateq)
57050	Plataforma Integral De Investigación Y Desarrollo Tecnológico En Para La Industria Farmacéutica Mexicana (Utilizando Herramientas Biotecnológicas, Nanotecnológicas Y De Ingeniería Farmaceutica)	Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey Campus Monterrey
57072	Apropiación Biotecnológica Del Mercado Florístico Internacional Por Modificaciones De La Forma, Del Color Y Del Aroma De Las Especies Ornamentales.	Centro De Investigacion Y De Estudios Avanzados Del I.P.N. - Unidad Irapuato
57091	Laboratorio Virtual De Investigación Y Desarrollo Para La Creación De Software Para Telecomunicaciones	Instituto Nacional De Astrofísica, Optica Y Electronica
57105	Ambiente Y Población En Áreas Estratégicas Para El Desarrollo Sustentable En La Frontera Sur De México	El Colegio De La Frontera Sur
57111	Bioenergía Para México: Desarrollo Y Adaptación De Tecnología Para La Conversión De Lignocelulosas En Etanol Combustible	Instituto Politécnico Nacional
57134	Mapas De Asociación Genética En Los Cultivos De Tripo Y Frijol De Mexico	Colegio De Postgraduados
57164	Estudios Sobre Diversidad Genética En El Noroeste De Mexico A Traves Del Desarrollo Y La Conformación Del ¿Instituto De Diversidad Genética?	Centro De Investigaciones Biológicas Del Noroeste, S.C.
57170	Subversión Genómica: Secuenciación Ultra-Rápida De Nucleótidos De Adn Y Arn.	Centro De Investigacion Y De Estudios Avanzados Del I.P.N.- Unidad Guanajuato
57171	Desarrollo Y Adaptación De Metodologías, Técnicas Y Herramientas De Trabajo Que Permitan La Aplicación De Los Conceptos Del Nuevo Urbanismo En El Planeamiento Urbano-Regional De Las Ciudades Medias Mexicanas	Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey Campus Estado De México

ANEXO 3. Transcripción de la carta del Dr. Edmundo A. Gutiérrez D. 2020

Situación actual y futuro del GTM

Tonantzintla, Puebla a 10 de noviembre de 2020.

A la comunidad de la coordinación de astrofísica

Les saludo desde la dirección general y deseo estén bien de salud, antes que nada.

Deseo comunicarles la situación en la que se encuentra el Gran Telescopio Milimétrico (GTM), y al mismo tiempo manifestarles el posicionamiento de la dirección general respecto al presente y futuro del GTM.

1. El GTM está operando ya en la fase 4, llamada fase de observatorio según el memorándum de entendimiento del año 2011 firmado entre INAOE, CONACyT, y UMASS.
2. Del apoyo FORDECyT 297324 "Operación de la infraestructura del consorcio Gran Telescopio Milimétrico para la investigación avanzada en astronomía y tecnología milimétrica" por un total de 150 millones de pesos por 3 años (2018-2019, 2019-2020, 2020-2021), se han ejercido ya los primeros 50 millones. Las dos siguientes ministraciones serán transferidas a INAOE en una sola exhibición este año.
3. El memorándum de entendimiento 2011 (CONACyT- INAOE - UMASS) hace referencia a la creación de una nueva entidad jurídica que administrará al GTM cuando esté en plena operación como una instancia científica (fase 4 llamada fase de observatorio). Menciona que el INAOE "hará su mejor esfuerzo para la obtención de fondos del gobierno federal".
4. La carta de intención de 2018 hace referencia al observatorio del gran telescopio milimétrico Alfonso Serrano (LMTO). El consorcio mexicano y el consorcio de EEUU son los únicos representantes oficiales del LMTO. A diferencia del 2011, ahora UMASS tiene voz y voto, y tanto D. Hugues como P. Schloerb aparecen ahora como directores.
5. Después del apoyo FORDECyT y el que provenga de UMASS, en este momento, no hay garantía por escrito de presupuesto para mantener la operación y mantenimiento del GTM. Y por ello es necesario empezar a trabajar ya desde ahora para concretar una solución a mediano y largo plazo.

Opinión de la Dirección General

- a) Crear un ente jurídico nuevo (en México) para el manejo y administración del LMTO/GTM implica contar con recursos garantizados para su operación, los cuales necesariamente deben estar definidos en el presupuesto de la federación o en su caso ser parte añadida al presupuesto del INAOE.
- b) Se requiere de un plan que contemple la planeación misma, la operación, la administración, las finanzas, y un cuerpo directivo colegiado.
- c) INAOE no está facultado para crear un nuevo ente jurídico por lo que esta vía puede ser muy compleja y muy tardada.
- d) Una carta de intención o un memorándum de entendimiento no son suficientes para formalizar acuerdos (no basta con expresar el deseo de hacer el mejor esfuerzo), se requiere de un convenio.
- e) Quedan del orden de dos años y unos meses más (o quizá más tiempo con las aportaciones de UMASS) para definir un plan de acuerdo al inciso b), y que redunde en un convenio que garantice la operación a mediano y largo plazo del GTM. La comunidad de astrofísica de INAOE y la nacional tienen que proponer y consensuar un plan para el GTM.

Saludos,
Edmundo
Dr. Edmundo a. Gutiérrez D.
Director General
INAOE

ANEXO 4. Relación de entrevistados

Dr. Alberto Carramiñana (AC)
Dr. José de Jesús Franco López (JF)
Dr. Ibrahim Daniel Torres Aguilar (IT)
Dr. José S. Guichard Romero (JG)
María Leticia Vázquez (LV)
Dr. Omar López Cruz (OL)
Dr. Miguel Chávez Dagostino (MCh)
Dr. René Asomoza Palacio (RA)
Dr. Fernando Fabian Rosales Ortega (FR)
Dr. Humberto Martínez Huerta (HM)