

¿Argentina debe invertir en grandes proyectos internacionales de ciencia básica?



Should Argentina invest in large international basic science projects?

A Argentina deve investir em grandes projetos internacionais de ciência básica?

García, Beatriz; Bilmes, Gabriel M.

Beatriz García

beatriz.garcia@iteda.cnea.gov.ar

Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas (CNEA-CONICET-UNSAM), UTN-Regional Mendoza, Argentina

Gabriel M. Bilmes

gabrielb@ciop.unlp.edu.ar

Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET-CIC-UNLP), Argentina

Ciencia, Tecnología y Política

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 2618-2483

Periodicidad: Semestral

núm. 10, e093, 2023

revista.ctyp@presi.unlp.edu.ar

Recepción: 13 Agosto 2022

Aprobación: 06 Mayo 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/214/2144122007/>

DOI: <https://doi.org/10.24215/26183188e093>

Resumen: En este artículo se sostiene, por un lado, que la principal razón detrás de las inversiones que se realizan en los grandes proyectos científicos internacionales de ciencia básica no son los nuevos conocimientos que se obtienen, sino esencialmente los beneficios que brindan a las empresas multinacionales y los países centrales las aplicaciones prácticas de los desarrollos asociados a ellos, sobre todo en la industria, la producción y la defensa. Por otro lado, se describen, brevemente, algunos de los grandes proyectos e instrumentos que, en el marco de la cooperación internacional, se están desarrollando en Argentina. Como ejemplo, se analiza el caso del Observatorio Pierre Auger, ubicado en Malargüe, Mendoza, mostrando el impacto tecnológico, productivo y social que ha tenido en la región. Se concluye que cuando estos proyectos están localizados en el país y posibilitan el desarrollo científico, tecnológico y productivo local, pueden implicar oportunidades para las regiones que los albergan. Por el contrario, si son del tipo “llave en mano” o si las instalaciones e instrumentos se encuentran en otro país, sobre todo uno central, no existen tales beneficios.

Palabras clave: proyectos científicos internacionales, participación argentina en proyectos internacionales, Observatorio Pierre Auger, ciencia, tecnología y desarrollo regional.

Abstract: This article argues, on the one hand, that the main reason behind the investments made in large international basic science projects is not the new knowledge obtained, but essentially the benefits that the practical applications of these developments bring for multinational companies and central countries, especially in industry, production and defense. On the other hand, a brief description is given of some of the major projects and instruments that are being developed in Argentina within the framework of international cooperation. As an example, the case of the Pierre Auger Observatory, located in Malargüe, Mendoza, is analyzed, showing the technological, productive and social impact it has had in the region. It is concluded that when these projects are located in the country and enable local scientific, technological and productive development, they can imply opportunities for the regions that

host them. On the contrary, if they are of the "turnkey" type or if the facilities and instruments are located in another country, especially a central one, there are no such benefits.

Keywords: international scientific projects, Argentine participation in international projects, Pierre Auger Observatory, science, technology and regional development.

Resumo: Este artigo argumenta, primeiramente, que a principal razão por trás dos investimentos feitos em grandes projetos internacionais de ciência básica não é o novo conhecimento obtido, mas essencialmente os benefícios para empresas multinacionais e países centrais das aplicações práticas dos desenvolvimentos associados a eles, especialmente na indústria, produção e defesa. Em seguida, é feita uma breve descrição de alguns dos principais projetos e instrumentos que estão sendo desenvolvidos na Argentina no âmbito da cooperação internacional. Como exemplo, é analisado o caso do Observatório Pierre Auger, localizado em Malargüe, Mendoza, que mostra o impacto tecnológico, produtivo e social na região. Conclui-se que, quando esses projetos estão localizados no país e possibilitam o desenvolvimento científico, tecnológico e produtivo local, eles podem representar oportunidades para as regiões que os abrigam. Ao contrário, se forem do tipo "chave na mão" ou se as instalações e os instrumentos estiverem localizados em outro país, especialmente em um país central, tais benefícios serão inexistentes.

Palavras-chave: projetos científicos internacionais, participação argentina em projetos internacionais, Observatório Pierre Auger, ciência, tecnologia e desenvolvimento regional.

INTRODUCCIÓN

Una cuestión que suele suscitar debates es si un país periférico, caracterizado por un complejo científico tecnológico poco desarrollado y en general desacoplado de las necesidades de su sociedad, debe participar e invertir recursos en grandes proyectos científicos internacionales de ciencia básica. Estos proyectos están relacionados, en la mayoría de los casos, con la física, la astronomía o los viajes espaciales y buscan encontrar respuestas a preguntas y problemas que están en las fronteras del conocimiento en estas áreas. Por ejemplo, la construcción de grandes aceleradores de partículas que permitan entender la estructura de la materia a escala subatómica y la evolución del universo a través de la búsqueda de partículas elementales; la construcción de grandes telescopios en la Tierra o en el espacio, como el Telescopio Espacial James Webb; los viajes a otros planetas, o la detección de rayos cósmicos de ultra elevada energía (partículas que llegan a la Tierra desde el espacio exterior). En la mayoría de estas situaciones, la forma de llevar adelante estos proyectos es en el marco de la cooperación internacional con la instalación de instrumental y equipamiento en uno o varios países participantes y el aporte de fondos del resto y de grandes empresas y consorcios.

La fundamentación habitual para justificar las cuantiosas inversiones que estos proyectos demandan es que permiten el avance de la ciencia y el conocimiento; en otras palabras, buscan correr las fronteras de lo conocido. Sin embargo, esta no es la principal razón que justifica las inversiones que se realizan en estos proyectos. Es ingenuo pensar que los países centrales y las empresas multinacionales que sostienen la estructura del capitalismo gasten millones de dólares en satisfacer la curiosidad de los científicos, sin ningún beneficio económico o de poder a cambio. Si la base del sistema capitalista es el lucro y la ganancia,

esas inversiones tienen que ser rentables. Y, efectivamente, lo son. Los principales beneficios están en los desarrollos tecnológicos que surgen de estos grandes emprendimientos científicos que suelen tener aplicaciones prácticas en la industria, la producción y la defensa. Por ejemplo, es ampliamente conocido cómo la carrera espacial y los viajes a la Luna le dieron un enorme impulso al desarrollo de la electrónica, la ciencia de materiales o las comunicaciones. Estos desarrollos se reflejaron en muchos productos comerciales que utilizamos en la vida cotidiana, como, por ejemplo, los textiles “inteligentes” aplicados a la vestimenta, las sartenes de teflón, ciertos medicamentos, la manera de empaquetar y conservar alimentos, las aleaciones metálicas usadas en ortodoncia, la medicina por imágenes y hasta los compactos aparatos de un gimnasio moderno (NASA, 2019, 2023).

Algo parecido sucede con los grandes aceleradores de partículas. En el caso del Gran Colisionador de Hadrones (LHC),¹ la tecnología desarrollada para construir y operarlos, como los sistemas de enfriamiento (que alcanzan las temperaturas más bajas que se han logrado hasta ahora), la electrónica de detección, los sistemas para lograr los ultra altos vacíos que se requieren o el desarrollo de imanes superpotentes tienen aplicaciones muy concretas en otros campos, como la medicina, la industria de armamentos, la micro y nanotecnología, o la industria automotriz y de aviación. Y esos desarrollos son utilizados por las empresas (la mayoría multinacionales) que los financiaron a través de consorcios de inversión, o actuando como proveedores especializados (KrioSystem, Linde Kryotechnique, ETM-Siemens, Babcock Noell, Alstom MSA-Jeumont, Ansaldo Superconduttori, entre otras). De este modo, el costo de un proyecto científico como el LHC se recupera rápidamente a través de la utilización de los productos o tecnologías derivadas del proyecto por las organizaciones, instituciones y empresas que los financiaron y pueden ser comercializados o licenciados a empresas y otras organizaciones.

En la mayoría de los casos, la recuperación de la inversión y los beneficios se alcanzan a los pocos años de haberse realizado el proyecto. Según algunos estudios (Bastianin y Florio, 2018; Bastianin *et al.*, 2018) los beneficios relevantes de la implementación del LHC se pueden clasificar según su impacto en cinco grandes áreas. Un 40% del total de esos beneficios se derrama en la industria y la producción, un 33% en trabajo y capital humano, un 13% en efectos culturales para el público, un 12% en cambios y conductas sociales positivas y solo un 2% en publicaciones académicas vinculadas con los nuevos conocimientos adquiridos. Del 40% de los beneficios económicos que impactan en la industria y la producción, el área de software y las tecnologías de la comunicación representan el 24% mientras que el resto corresponde a las ganancias que obtienen las más de 650 empresas de alta tecnología involucradas en el proyecto. Esas ganancias provienen de ventas a clientes distintos del Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN), y ese porcentaje aumenta hasta el 29% si se considera que estas empresas actúan como proveedoras de esta institución.

Muchos de estos avances tecnológicos y sus futuras aplicaciones en productos comerciales son planificados y previstos por las empresas y entes financiadores. Pero hay también resultados y productos no previstos que pueden tener un impacto económico y social trascendente. Un ejemplo paradigmático en este sentido es el nacimiento en 1989 de la World Wide Web,² uno de los pilares de internet tal como hoy lo conocemos, que tuvo lugar en el CERN (Berners-Lee, 1989-1990; Berners-Lee y Cailliau, 1990).

Pero, en relación con los países periféricos o semiperiféricos como Argentina, ¿qué beneficios les trae participar en este tipo de proyectos? Si se participa, ¿bajo qué condiciones sería beneficioso hacerlo? ¿Es lo mismo dedicar fondos para un proyecto que se lleva a cabo físicamente en el país, que hacerlo cuando las instalaciones están en otro, sobre todo si este es un país central? En este artículo se describen, brevemente, algunos de los grandes proyectos e instrumentos que se están desarrollando en Argentina vinculados con las ciencias del universo, en el marco de la cooperación internacional; se analiza, como ejemplo, el caso del Observatorio Pierre Auger, ubicado en la ciudad de Malargüe, Mendoza, mostrando el impacto tecnológico, productivo y social que ha tenido en la región y en las conclusiones se discuten algunas de las preguntas mencionadas.

GRANDES PROYECTOS INTERNACIONALES QUE SE DESARROLLAN EN ARGENTINA

Según datos del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCyT), la Argentina participa en varios grandes proyectos internacionales relacionados con las ciencias del universo que involucran instrumentos y equipamiento instalado en el país. Estos proyectos tienen por objetivo proporcionar servicios a la comunidad científico-tecnológica gestionando infraestructuras de gran porte y coste de inversión. El MINCyT considera que su importancia y carácter estratégico justifica su accesibilidad a todo el colectivo científico y a la sociedad en general (MINCyT, 2023a). Brevemente destacaremos los más importantes: QUBIC, CART, LLAMA, ANDES Lab, UMD, TOROS, ABRAS y el proyecto Pierre Auger.³

QUBIC (*Q-U Bolometric Interferometer for Cosmology*): se trata de una serie de interferómetros que observarán la radiación de fondo de microondas, combinando diversas técnicas para la detección de fenómenos que debieron ocurrir en los primeros instantes de formación del universo. Este instrumento está instalado a 4.900 m.s.n.m. en Alto Chorrillos, a veinte kilómetros de la localidad de San Antonio de los Cobres, en Salta. La colaboración QUBIC está formada por investigadores de Argentina y de instituciones de Francia, Italia, Reino Unido, Irlanda y Estados Unidos. El costo del instrumento es de unos cuatro millones de euros y la Argentina aporta una inversión equivalente en instalación e infraestructura.

CART (*China-Argentina Radio Telescope*): será el radiotelescopio más grande y más importante de América del Sur, con un disco de cuarenta metros de diámetro. Sus objetivos científicos se relacionan con trabajos de geodesia, georreferenciación y proyectos astrofísicos. Mejorará la cobertura global de la red de radiotelescopios y la determinación de los parámetros astro-geodésicos en nuestro hemisferio. Es un proyecto binacional donde por parte de Argentina participan la Universidad Nacional de San Juan, el gobierno de esa provincia, el CONICET y por parte de China el National Astronomical Observatories of China (NAOC). Está siendo instalado en El Leoncito, departamento de Calingasta, San Juan. La Argentina aporta para la obra civil una cifra de entre dos y tres millones de dólares, mientras que China provee el instrumento y una inversión adicional en infraestructura del orden de tres millones de dólares.

LLAMA (*Large Latin American Millimeter Array*): consiste en un radiotelescopio de doce metros de diámetro que está siendo instalado a 4.820 m.s.n.m. en Altos de Chorrillos, a 800 metros de QUBIC. Es una colaboración argentino-brasileña que utilizará este instrumento para estudios de objetos astronómicos situados en un amplio rango de distancias, desde el Sol a galaxias lejanas. Además, formará parte de una extensa red de interferometría que involucra otros instrumentos similares instalados en el desierto de Atacama, Chile y también aquellos que conforman el radiotelescopio Event Horizon. Se estima que el proyecto tendrá un costo inicial de veinte millones de dólares repartido entre los dos países.

ANDES Lab (*Agua Negra Deep Experiment Site*): es un laboratorio que investigará fenómenos relacionados con los neutrinos y la materia oscura, que permitiría obtener datos relevantes para el conocimiento del universo, su evolución y sus orígenes. Es un proyecto argentino-chileno consistente en la construcción de un laboratorio subterráneo de 4000 m² de superficie dentro del túnel internacional Agua Negra, en la provincia de San Juan, cerca del límite entre Argentina y Chile. Realizará además estudios geofísicos y geomecánicos, investigando la propagación de ondas sísmicas en profundidad, estudios biológicos de la biósfera del subsuelo y analizará la influencia de las mutaciones y daños estructurales provocados por la radiación cósmica en la evolución de las células. El costo estimado de este proyecto es de 38 millones de dólares. No es posible estimar aún fecha para su concreción.

UMD (*Underground Muon Detector*): consiste en la instalación de detectores subterráneos de muones (partículas elementales altamente penetrantes que se generan por interacción de los rayos cósmicos con las moléculas de la atmósfera). Estos detectores trabajan en conjunto con los de superficie del Observatorio Pierre Auger. Este proyecto constituye parte de la actualización de dicho observatorio y tiene por objetivo medir el flujo de rayos cósmicos discriminándolos en grupos según sus características. El financiamiento de este proyecto está a cargo mayoritariamente de la Argentina y su instalación, actualmente en desarrollo, se

prevé que finalice en 2024. Este emprendimiento significa una inversión de dos millones setecientos mil dólares.

TOROS (*Transient Optical Robotic Observatory South*): es un observatorio óptico robotizado, vinculado con los detectores de ondas gravitacionales ubicados en Estados Unidos (LIGO) e Italia (VIRGO), que permite registrar fenómenos transitorios asociados con este tipo de ondas. El telescopio, de 61 cm de diámetro, está instalado a 4.650 m.s.n.m. en el Cerro Macón, Salta. Este proyecto significó una inversión de aproximadamente dos millones de dólares, realizada principalmente por Argentina y Estados Unidos, países que integran la colaboración.

ABRAS (*Argentine-Brazilian Astronomical Center*): consiste en la instalación y puesta en funcionamiento de un telescopio de 1,5 metros de diámetro con capacidad de operación remota, dedicado a observar en el rango de longitudes de onda del infrarrojo cercano y medio. Está ubicado en el Cerro Macón, en la Puna de Salta, a 4.650 m.s.n.m, a doscientos metros del observatorio TOROS. Constituye un proyecto conjunto entre Brasil y Argentina. Este proyecto significó una inversión inicial de aproximadamente un millón de dólares.

Existen otros grandes proyectos internacionales vinculados con ciencia básica en los que participa la Argentina como Gemini, SWGO (*Southern Wide-Field Gamma-Ray Observatory*) y los vinculados con los grandes aceleradores como los de Ginebra (Suiza) y el propio LHC. En estos proyectos el Estado invierte fondos, pero las instalaciones e instrumentos no se encuentran en el país. Por ejemplo, el proyecto Gemini consiste en dos telescopios de 8,1 metros de diámetro, uno emplazado en el hemisferio norte (Mauna Kea, Hawái, Estados Unidos) y el otro en el hemisferio sur (Cerro Pachón, Norte Chico, Chile). El consorcio internacional está integrado por los Estados Unidos, Canadá, Brasil y Chile. El costo de operación de este telescopio es de U\$S 8.500.000, de los cuales Argentina aporta el 2%.

Por otro lado, SWGO es un Observatorio de Rayos Gamma de Campo Amplio del Sur que, si bien aún no ha sido instalado, cuenta a la Argentina entre los países del consorcio. En el marco de la iniciativa "Salta, Ventana al Universo" (MINCyT, 2021), el MINCyT avala la instalación del observatorio en esa provincia, en la zona de Alto Chorrillos, sitio que cumple con las condiciones requeridas. La inversión total en este proyecto será de sesenta millones de dólares. La Argentina realizará una inversión de seis millones de dólares en infraestructura durante los primeros cinco años, contados a partir de la fecha de la selección del sitio definitivo, que se definirá durante el primer semestre del 2024 (MINCyT, 2023b).

EL OBSERVATORIO PIERRE AUGER

Para explicar los alcances que puede tener un mega proyecto de ciencia en un país periférico, se analizará el caso del Observatorio Pierre Auger, destinado a la detección y análisis de rayos cósmicos de las más elevadas energías. Este es probablemente el proyecto relacionado con astrofísica más importante que lleva adelante la Argentina. La colaboración incluye además otros diecisiete países (Alemania, Australia, Bélgica, Brasil, Colombia, Estados Unidos, Eslovenia, España, Francia, Italia, México, Países Bajos, Perú, Polonia, Portugal, República Checa y Rumania). Participan 400 científicos, ingenieros, técnicos y estudiantes, que pertenecen a más de noventa instituciones. La colaboración argentina en el observatorio está integrada por investigadores, ingenieros, técnicos y estudiantes de grado y posgrado que pertenecen a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF) y las Universidades de Buenos Aires (UBA), La Plata (UNLP), Tecnológica Nacional (UTN), San Martín (UNSAM) y Cuyo (UNCuyo) a través del Instituto Balseiro (UNC-IB). La CNEA administra los fondos no solo nacionales sino los provenientes de los otros 17 países de la colaboración. La búsqueda de sitio para su emplazamiento se inició en 1995, y comenzó a construirse en 1998. Antes de fin de siglo comenzó a funcionar y completó su instalación en 2008 (The Pierre Auger Collaboration, 2015, 2020).

Argentina debió competir con Sudáfrica y Australia para ser país anfitrión de esta infraestructura. Tres gobiernos a nivel nacional y otros tantos a nivel provincial y municipal intervinieron en los acuerdos, tareas y apoyo para que este centro de investigación fuera posible. La instalación significó una inversión total de quince millones de dólares en su primera etapa (hasta 2015) y de una cifra similar para su actualización a partir de 2015 (The Pierre Auger Collaboration, 2023). El costo operativo de este observatorio es de unos dos millones de dólares al año, incluido el aporte argentino a través, principalmente, de sueldos y trabajos de infraestructura llevados a cabo por el gobierno nacional y la provincia de Mendoza.

El observatorio cubre una superficie de 3.000 km² (quince veces el área de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires), en donde están instalados 1.660 detectores de superficie (tanques de plástico rotomoldeado), llenos con doce mil litros de agua ultrapura, en una grilla de 1,5 km de espaciado. Cada tanque incluye tres tubos detectores de luz (fotomultiplicadores) que detectan la tenue luz ultravioleta (llamada radiación Cherenkov) que se genera en el agua cuando las partículas de radiación cósmica atraviesan los tanques y la transforman en una señal eléctrica, que se digitaliza y transmite de manera inalámbrica a la estación central ubicada en Malargüe. La energía necesaria para que estos detectores funcionen se provee mediante paneles solares y baterías.



FIGURA 1

Vista nocturna de uno de los edificios que alberga seis de los veintisiete detectores de fluorescencia del Observatorio PA.

Fuente: Observatorio Pierre Auger.

El complejo cuenta además con veintisiete telescopios activos durante noches de luna nueva y sin nubes, que registran eventos de fluorescencia producidos por interacción de partículas secundarias con el nitrógeno atmosférico. Además, tiene instalado un sistema LIDAR (*laser imaging, detection, and ranging*) de monitoreo atmosférico. El staff estable del observatorio es de cuarenta personas (mayoritariamente físicos, ingenieros y técnicos), todos argentinos, residentes en Malargüe, con cargos dependientes del CONICET y CNEA, que trabajan en la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de detección del observatorio y en la atención de visitas. Por otro lado, hay un importante volumen de trabajo indirecto que produce el observatorio relacionado con la provisión de comida y materiales para mantenimiento, la producción de materiales para visitas a escuelas y hotelería. El observatorio tiene además un estrecho vínculo con el Planetario Municipal, la Dirección de Escuelas y la Dirección de Turismo de Malargüe.

IMPACTO ECONÓMICO

Las áreas más importantes donde se registra un impacto económico local del proyecto son, por un lado, el desarrollo de proveedores y la adaptación de la producción de algunas empresas a las necesidades del observatorio, y, por otro, turismo y hotelería. En cuanto al primer aspecto, la empresa que proveyó los

detectores de superficie y tanques de plástico rotomoldeados debió fabricar una matriz especial, ya que estos tanques tienen una forma y capacidad que no se producía en el país. Además, debió superar controles de calidad para transformarse en proveedor del observatorio mejorando el nivel tecnológico de su producción. Por otro lado, estos tanques llevan en su interior unas bolsas de laminado plástico, denominados *liners*, que contienen el agua ultrapura donde se produce la radiación Cherenkov, que debe permanecer sin evaporación ni contaminación durante veinte años. Originalmente, los *liners* fueron provistos por la Universidad Estatal de Colorado de los Estados Unidos. Posteriormente, se evaluaron dos proveedores privados y la posibilidad de contar con una planta de fabricación in situ. La UTN Facultad Regional Mendoza fue finalmente seleccionada como proveedor interno para esta producción porque tenía costos más convenientes que incluían no solo la producción de los *liners*, sino la instalación completa de la planta de fabricación, una sala limpia, otra sala para testeo y la implementación del sistema de calidad ISO 9001-2000. Su calidad aseguró un índice de fallas menor al 10% y, además, se logró la certificación de calidad y el reconocimiento del grupo de la UTN a nivel internacional (De Grande *et al.*, 2005). Asimismo, el aprendizaje adquirido a partir de la implementación de normas de calidad se mantuvo a través de los años y ayudó a la organización de otros grupos de trabajo en Mendoza, que en pocos años lograron certificar la norma IRAM-ISO 9001:2008 para actividades de investigación, desarrollo e innovación (IRAM 30800).

En cuanto al impacto en turismo y hotelería cabe mencionar que el Observatorio trabaja en conjunto con el municipio de Malargüe promocionando el turismo científico, tanto nacional como internacionalmente. Asimismo, la hotelería y gastronomía recibe un flujo continuo de investigadores extranjeros subsidiados por fondos internacionales, que se alojan y residen en Malargüe.

IMPACTO SOCIAL, EDUCATIVO Y CULTURAL

Cumplida la primera década de existencia de la colaboración internacional en el observatorio se llevó a cabo un estudio de impacto social basado en entrevistas a la comunidad y otros indicadores (Bebén y Pachmann, 2005). Entre sus resultados se destacan cambios de conducta de la comunidad local que incluyeron una mayor conciencia ambiental, contribuir a mantener el cielo limpio, incorporar la idea de la necesidad de contar con estándares de calidad en todos los aspectos de la vida, una revalorización del turismo y una mayor apertura y confianza en la gente que viene de fuera de la región, un vínculo más abierto e interactivo de la sociedad local con la ciencia y la tecnología y un refuerzo de la identidad e identificación con los aspectos culturales de la región. A la vez, el informe señala que, en lo individual, el impacto del proyecto se manifestó en una mayor curiosidad por la actividad científica y las tareas que realizan los investigadores y técnicos del proyecto. En el caso de los jóvenes se observó un mayor interés por acceder a la universidad y una demanda para poder contar localmente con carreras científicas, que dieron lugar a la creación de la sede Malargüe de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNCuyo. Precisamente, un aspecto donde el impacto del Observatorio y su entorno pueden haber influido es en el aumento observado del porcentaje de jóvenes que completaron sus estudios secundarios y universitarios. En el primer caso entre 2001 y 2018 se incrementó en un 90%. En el caso de los universitarios, creció en el mismo periodo en un 100%.⁴

Otro aspecto fundamental de las grandes instalaciones científicas lo constituye su capacidad de impactar en las comunidades locales con la generación de actividades de educación y difusión. En este caso, el Observatorio estuvo relacionado con la creación de la Escuela James Cronin⁵ (institución educativa estatal de nivel medio que otorga los títulos de Bachiller en Arte y Diseño y en Ciencias Naturales), la creación y desarrollo del primer planetario digital de Argentina (el Planetario Malargüe), la emisión de un sello postal especial relacionado con el Año Internacional de la Física en 2005, la producción de videos educativos, la participación en eventos nacionales e internacionales de educación y difusión, la participación en las actividades sociales por el aniversario de Malargüe, la promoción del turismo científico en la zona y la instalación de un centro de atención al visitante interactivo. Este último cuenta con guías capacitadas para

la atención, pero también con recursos para visitas autoguiadas, que permiten, además, el acceso virtual a aquellos ámbitos del observatorio normalmente vedados para el público, como laboratorios, o los edificios de fluorescencia. El centro de visitantes del observatorio recibe unos 10.000 visitantes al año, lo que es equivalente a la cuarta parte de la población malargüina actual.

Durante los últimos años, en el Observatorio se han propuesto visitas virtuales y programas de cooperación con proyectos de ciencia ciudadana de todo el mundo y consistentemente con la ley 26.899/13 se inició una política de datos abiertos al público, con fines de capacitación para alumnos avanzados y educación y difusión en todos los niveles.



FIGURA 2:

Visita de estudiantes de escuela secundaria a las instalaciones del observatorio. En el parque se encuentran detectores en escala 1:1, como el detector Enrique Gaviola. Los detectores tienen nombres que fueron propuestos por alumnos de escuelas malargüinas.

Fuente: Observatorio Pierre Auger.

IMPACTO EN LAS CAPACIDADES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS Y EN LA FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

En cuanto al impacto en las capacidades científico-tecnológicas de la región, cabe destacar que la implementación del proyecto requirió abordar problemas relacionados con electrónica, comunicaciones, desarrollo de energías no convencionales, software y nuevos materiales. En algunos de estos casos se implementaron soluciones originales, en otros, convencionales, y en algunas situaciones debió hacerse ingeniería inversa para entender cómo funcionaban algunos detectores, repararlos y optimizar su funcionamiento. Estas situaciones incrementaron las capacidades de los laboratorios asociados al proyecto, tanto los que funcionan en el observatorio como en el resto de las instituciones participantes del país. Estas capacidades se pusieron de manifiesto en el diseño, fabricación e instalación de la ampliación del Observatorio con el proyecto UMD, que estuvo exclusivamente a cargo de científicos, ingenieros y técnicos de Argentina. Asimismo, las capacidades desarrolladas permitieron adaptar y transferir tecnologías a la comunidad, como es el caso de la instalación de paneles solares en las viviendas de los pobladores en el área en que está emplazado el observatorio.

En cuanto al impacto en recursos humanos, un primer aspecto a señalar es la formación de ingenieros y científicos en líneas de trabajo novedosas, asociadas a los problemas y demandas del Observatorio, no solo en la Universidad Nacional de Cuyo y en la UTN-FRM, sino también en otras universidades nacionales. Como ya se mencionó, otro impacto a destacar ha sido la creación de la sede Malargüe de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNCuyo en el año 2008. Asimismo, cabe destacar que muchos graduados en carreras de ciencia y tecnología han realizado sus tesis de doctorado y de grado en temas asociados con el

Observatorio Pierre Auger. Entre 2008 y 2022 se han concretado un total de 42 tesis doctorales y más de doscientas tesis de grado y trabajos finales.



FIGURA 3:

Vista aérea de una zona con detectores de superficie y tubos de inspección para los centelladores del UMD (instrumentación del proyecto de mejora del Observatorio), enterrados a 2,5 metros de profundidad. Nótese la recuperación de la flora local, lenta pero evidente, un tema que es parte de la planificación para la instalación de detectores del Observatorio.

Fuente: Observatorio Pierre Auger.

CONCLUSIONES

En sus quince años de existencia, el Observatorio Pierre Auger ha permitido aportar nuevos conocimientos científicos sobre el espectro de energía, las direcciones de llegada y la composición de los rayos cósmicos de alta energía. Ha influido decisivamente en el proceso de desarrollo local y el crecimiento económico directo e indirecto de determinados sectores del departamento de Malargüe. Ha contribuido decisivamente a crear una comunidad con identidad, impactando en su estructura productiva, contribuyendo a crear trabajo estable y calificado, y a abrir nuevas oportunidades para los jóvenes. Por otro lado, ha posibilitado una mayor integración entre los pobladores, diseminados en una enorme superficie, y ahora interconectados y valorados por ser custodios de instrumentos que se encuentran en el mismo territorio donde pastan sus animales.

El Observatorio Pierre Auger representa un modelo a tener en cuenta, que está abriendo oportunidades para otros proyectos similares. En este sentido, los proyectos QUBIC en la puna salteña y ANDES en San Juan pueden inaugurar nuevas posibilidades para la astrofísica como disciplina de ciencia básica, el desarrollo tecnológico en la Argentina, y el desarrollo de pueblos y comunidades de las regiones Cuyo y Noroeste. Con el mismo enfoque se deberían pensar futuras iniciativas con países limítrofes y la posibilidad de darle impulso al proyecto de una posible Agencia Espacial Latinoamericana.

Este desarrollo se puede considerar un ejemplo del tipo de proyectos de colaboración internacional valiosos para un país periférico, que la Argentina debería priorizar. Se justifican y son importantes porque implican oportunidades para el país y para las regiones que los albergan, que, como se ha visto, se benefician de su existencia de diversas formas, contribuyendo a fortalecer la comunidad en los lugares donde se desarrollan.

Cuando eso ocurre, las ciudades y comunidades donde se instalan se integran a estos proyectos de una forma virtuosa. Esa es la principal justificación para realizar inversiones en ellos, aun cuando haya contextos económicos difíciles como en el caso de Argentina. Los beneficios científicos y los que reportan al avance del conocimiento, por supuesto que son también importantes; pero si fueran la única justificación, podrían ser discutibles.

Todos estos beneficios se dan cuando estos proyectos se llevan a cabo materialmente en el país, bajo condiciones claras que permitan el desarrollo científico, tecnológico y productivo local, con una perspectiva de integración internacional, pero sin pérdida de soberanía. En otras palabras, no es lo mismo si se trata de proyectos “llave en mano” o si las instalaciones e instrumentos se encuentran en otro país, sobre todo en uno central. En esos casos no existen tales beneficios.

BIBLIOGRAFÍA

- Bastianin, A., y Florio, M. (18 de mayo, 2018). *Social Cost Benefit Analysis of HL-LHC*. CERN-ACC-2018-0014. <https://cds.cern.ch/record/2319300>.
- Bastianin, A., Florio, M., y Giffoni, F. (31 de agosto, 2018). LHC upgrade brings benefits beyond physics. *CERN Courier*. <https://cerncourier.com/a/lhc-upgrade-brings-benefits-beyond-physics/>
- Berbén, A., y Pachmann, V. (2005). *Estudio de Impacto Social del Observatorio Pierre Auger. Informe final*. <https://visitantes.auger.org.ar/wp-content/uploads/2023/04/Informe-final-PAO1.pdf>
- Berners-Lee, T. (1989-1990). Information Management: A Proposal. CERN. <http://cds.cern.ch/record/369245/files/dd-89-001.pdf>
- Berners-Lee, T., y Cailliau, R. (1990). WorldWideWeb: Proposal for a HyperText Project. http://cds.cern.ch/record/2639699/files/Proposal_Nov-1990.pdf
- De Grande, A., Smetniansky-De Grande, N., García, B., y Etchegoyen, A. (2005) Success of Argentinian Liners Production, for the Pierre Auger Observatory, using ISO 9001:2000. *IQ-Net Newsletter*, (9).
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (17 de febrero, 2021). Avanza la conformación del consorcio “Salta, Ventana al Universo”. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/avanza-la-conformacion-del-consorcio-salta-ventana-al-universo>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2023a). Grandes instalaciones e instrumentos. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/sact/grandes-instalaciones>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (10 de abril, 2023b). El Ministerio de Ciencia apoya la candidatura de Salta como sede del observatorio internacional SWGO. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-ministerio-de-ciencia-apoya-la-candidatura-de-salta-como-sede-del-observatorio>
- NASA (25 de noviembre, 2019) Food for Space Flight. https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Food_for_Space_Flight.html.
- NASA (2023). Patent Portfolio. <https://technology.nasa.gov/patents>
- The Pierre Auger Collaboration (2015). The Pierre Auger Cosmic Ray Observatory. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 798, 172-213. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2015.06.058>
- The Pierre Auger Collaboration (2020). The Pierre Auger Observatory and its Upgrade. *Science Reviews from the end of the world*, 1(4), 8-33. <https://doi.org/10.52712/sciencereviews.v1i4.31>
- The Pierre Auger Collaboration (2023). *Auger Prime*. <https://www.auger.org/observatory/augerprime>

NOTAS

- 1 “El Gran Colisionador de Hadrones (LHC; en inglés: Large Hadron Collider) es el acelerador de partículas más grande y de mayor energía que existe y la máquina más grande construida por el ser humano en el mundo. Fue construido por

la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) entre 1989 y 2001 en colaboración con más de 10.000 científicos y cientos de universidades y laboratorios, así como más de 100 países de todo el mundo. Se encuentra en un túnel de 27 kilómetros de circunferencia y a una profundidad máxima de 175 metros bajo tierra, debajo de la frontera entre Francia y Suiza”. Fuente: Gran colisionador de hadrones. Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 5 de mayo 2023, desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Gran_colisionador_de_hadrones&oldid=150712654.

- 2 “World Wide Web (La Web) o red informática mundial es un sistema que funciona a través de internet, por el cual se pueden transmitir diversos tipos de datos a través del Protocolo de Transferencia de Hipertextos o HTTP, que son los enlaces de la página web. Se desarrolló en el CERN y se publicó como una propuesta formal en 1991” Fuente: World Wide Web. Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 5 de mayo 2023, desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=World_Wide_Web&oldid=149753290.
- 3 Para más datos ver: <https://qubic.org.ar>, <https://llamaobservatory.org>, <https://cart.unsj.edu.ar>, <http://andeslab.org/index.php?lang=uk>, <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/amiga/> y <https://www.auger.org>
- 4 Fuente: elaboración propia en base a datos de la Dirección de Estadística e Investigaciones Económicas, Ministerio de Infraestructura y Energía, Gobierno de Mendoza (2023).
- 5 James Cronin recibió el Premio Nobel en física en 1980 y fue el primer director del Observatorio Pierre Auger.