



It is hereby stated that this report is the intellectual property of both the Undersecretary of Telecommunications and the Development Bank of Latin America (CAF), sharing among them all the corresponding rights for works of ingenuity, intellectual creations, research studies, industrial privileges and/or professional services, among others. Likewise, it is stated that both entities are holders of authorship copyright to this document.

Se deja constancia que el presente informe es de propiedad intelectual tanto de la Subsecretaría de Telecomunicaciones como el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), compartiendo entre ellas todos los derechos que correspondan por obras de ingenio, creaciones intelectuales, estudios de investigación, privilegios industriales y/o servicios profesionales, entre otros. Asimismo, se deja constancia que ambas entidades son titulares del derecho patrimonial de autor de este documento.

Estudio de Sinergias de Proyectos Digitales en Sudamérica

-

Informe Final: Industria Científica e Investigación

Santiago, 17 de mayo de 2021
Equipo Universidad de Chile / Texas

Acrónimos y Definiciones	4
Introducción	6
Diagnóstico	7
Investigación en la región	10
Astronomía	10
Transporte	13
Salud	16
El futuro de la medicina	17
Ciencias de la Computación	18
Agronomía	18
Infraestructura Digital Académica	21
Redes Internacionales	22
RedCLARA	22
AmLight ExP	24
Dimensions US-BIOTA-Sao Paulo	24
Large Synoptic Survey Telescope (LSST)	25
Redes Nacionales	25
Chile	25
Brasil	27
Argentina	28
Uruguay	29
Otros países de la región	29
Caso de uso: Rol de redes académicas en África	30
Factores Incidentes en la Necesidad de Interconexión de la Industria Científica	33
Volumen y Transporte de Datos	33
Procesamiento de Datos	34
Interconexión entre Centros de Investigación	35
Masa Crítica o Capital Humano	36
Presencia del Objeto de Estudio	38
Inversión	40
Efectos del cable Humboldt en la Industria Científica	42
Cooperación con centros de investigación Asia-Oceanía	42
Beneficios transversales para la investigación	43
Futuros Proyectos	43
BELLA	43
Cherenkov Telescope Array (CTA)	46
Copernicus Earth Observation	48
Antártica	49

Observatorio ALMA: Caso de estudio	51
Recomendaciones de Política Pública	54
Conclusiones	57
Bibliografía	59

1. Acrónimos y Definiciones

En este apartado se incorporan todas las siglas, acrónimos y definiciones, de acuerdo a los conceptos que se desarrollan en el presente Informe. Con ello se busca generar un mayor entendimiento de lo que se plantea.

1. *Data Science*: también conocido como “ciencia de datos”, corresponde a un enfoque multidisciplinario para extraer conocimientos prácticos de los grandes y cada vez mayores volúmenes de datos recopilados y creados por las organizaciones de hoy. La ciencia de datos abarca la preparación de datos para su análisis y procesamiento, la realización de análisis de datos avanzados y la presentación de los resultados para revelar patrones y permitir que las partes interesadas saquen conclusiones informadas¹.
2. *Big data*: Se refiere a los datos que son tan grandes, de generación veloz, y de estructuras complejas, que es difícil o imposible procesarlos con los métodos tradicionales. A principios de la década de 2000, el analista Doug Laney, articuló la definición actual de *big data* como las tres V: Variedad, Volumen y Velocidad².
3. *Supercomputadoras/es*: Se refiere a un computador con capacidades de procesamiento altamente superiores a un computador habitual. Su finalidad es mayoritariamente científica o industrial permitiendo, por ejemplo, calcular en secuencia el genoma humano, número π , desarrollar cálculos de problemas físicos dejando un margen de error muy bajo, etc³.
4. *Global Positioning System “GPS”*: El Sistema de Posicionamiento Global, es un sistema que permite posicionar cualquier objeto (una persona, un vehículo, etc) sobre la Tierra con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo común son unos pocos metros. El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, y actualmente es propiedad de la Fuerza Espacial de los Estados Unidos. La evolución permite que hoy en día GPS se entienda como un sistema de posicionamiento y no necesariamente, como la tecnología desarrollada por Estados Unidos.
5. *Smart City/ies*: también conocidas como “Ciudades Inteligentes”, dado su origen natural de las Ciudades Digitales, se basa en el uso intenso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en prestación de servicios públicos de alta calidad y calidez, seguridad, productividad, competitividad, innovación, emprendimiento, participación, formación y capacitación⁴.
6. *Soluciones basadas en la naturaleza “SbN”*: concepto impulsado por International Union for Conservation of Nature (IUCN), que abarca a todas las acciones que se apoyan en los ecosistemas y los servicios que estos proveen, para responder a diversos desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria o el riesgo de desastres⁵.
7. *Inteligencia artificial*: Se refiere a la capacidad de una computadora o máquina para imitar las capacidades de la mente humana: aprender de ejemplos y experiencias, reconocer objetos, comprender y responder al lenguaje, tomar decisiones, resolver problemas, entre otras. Además, presenta capacidades para realizar funciones que un ser humano podría

¹ <https://www.ibm.com/cloud/learn/data-science-introduction>

² https://www.sas.com/es_cl/insights/big-data/what-is-big-data.html

³ <https://www.definicionabc.com/tecnologia/supercomputadora.php>

⁴ Exposición de Juan Rada, vicepresidente senior de sector público global, asistencia médica y educación de ORACLE, ponencia en el evento 'Summit Smart Cities Chile 2013: Construyendo hoy las ciudades del mañana', organizado por 'Fundación País Digital' y 'Cepal', Santiago (Chile), 22 de agosto de 2013. Vease <https://www.youtube.com/watch?v=SZuWrky1SX0>

⁵ <https://www.iucn.org/node/28778>



realizar, como saludar a un huésped del hotel o conducir un automóvil⁶. Su denominación en plural es comúnmente referida como "IAs", por sus siglas en inglés.

8. *Machine Learning*: Es una forma de inteligencia artificial que permite que un sistema aprenda de los datos en lugar de hacerlo a través de una programación explícita. Sin embargo, el aprendizaje automático no es un proceso sencillo. A medida que los algoritmos ingieren datos de entrenamiento, es posible producir modelos más precisos basados en esos datos⁷.
9. *Gigabytes "GB"*: unidad de información computacional equivalente a 1073741824 (1024^3 ó 2^{30}) bytes.
10. *Terabytes "TB"*: unidad de información computacional equivalente a $1,099,511,627,776$ (2^{40} ó 1024^4) bytes. Es equivalente a 1024 Gigabytes.
11. *Petabytes "PB"*: unidad de información computacional equivalente a 1024 Terabytes.
12. *Exabytes "EB"*: unidad de información computacional equivalente a 1024 Petabytes.
13. *Peerings*: Es la interconexión voluntaria de redes de Internet administrativamente independientes, con el fin de intercambiar tráfico entre los usuarios de cada red.
14. *Deep learning*: Conjunto de algoritmos de aprendizaje automático que intenta modelar abstracciones de alto nivel en datos, usando arquitecturas computacionales que admiten transformaciones no lineales múltiples e iterativas de datos expresados en forma matricial o tensorial⁸.
15. *Agricultura Inteligente*: Representa la aplicación de las tecnologías modernas de información y comunicación (ICT) en la agricultura. Tiene un potencial real para ofrecer una producción agrícola más productiva y sostenible, basada en una producción más precisa y un enfoque de uso eficiente de los recursos. Desde el punto de vista del agricultor, la Agricultura Inteligente (Smart Farming), debería proporcionar un valor agregado en forma de una mejor toma de decisiones u operaciones y gestión de explotación más eficientes⁹.
16. *National Research and Education Network (NREN)*: Es un proveedor de servicios de Internet especializado dedicado a apoyar las necesidades de las comunidades de investigación y educación dentro de un país. Varios países alrededor del mundo poseen sus propias redes locales, que utilizan sus nombres específicos.
17. *Insight*: Es uno de los términos más usados en Marketing, comunicación, publicidad y branding. Refiere a un hallazgo relevante, el cual clarifica y entrega entendimiento a los problemas.

⁶ <https://www.ibm.com/ar-es/analytics/journey-to-ai?p1=Search&p4=43700056616721015&p5=b&gclsrc=ds>

⁷ <https://www.ibm.com/analytics/machine-learning>

⁸ Y. Bengio, A. Courville, and P. Vincent, "Representation Learning: A Review and New Perspectives," IEEE Trans. PAMI, special issue Learning Deep Architectures, 2013

⁹ <https://www.celplan.cl/mercados/agricultura-inteligente/>

2. Introducción

El presente Estudio aborda los principales elementos de la infraestructura digital académica, sus redes y los mecanismos sobre los cuales se desempeñan las comunidades académicas de la región.

En la primera parte se describen las principales áreas de investigación académica de la región y se describen, en algunos casos, iniciativas de impacto en la sociedad. Este análisis se complementa con una revisión de la principal red académica internacional de la región y las dinámicas de colaboración en el intercambio de conocimiento en torno a ella. De la misma manera, se analizan las redes académicas locales y sus elementos más importantes.

Lo anterior permite identificar los factores que determinan la necesidad por acceder a las redes y los elementos que determinan el aumento y mejoramiento de la actividad científica. En este ámbito destacan las ventajas geográficas de Sudamérica y el potencial de la vinculación con los grandes centros de investigación de Asia.

Luego de esto, se analizan los efectos del cable sobre los elementos que determinan la demanda por redes académicas. En este sentido, se analizan las oportunidades de cooperación científica con los centros de investigación del Asia-Pacífico. Identificándose las principales sinergias del cable con la academia de la región.

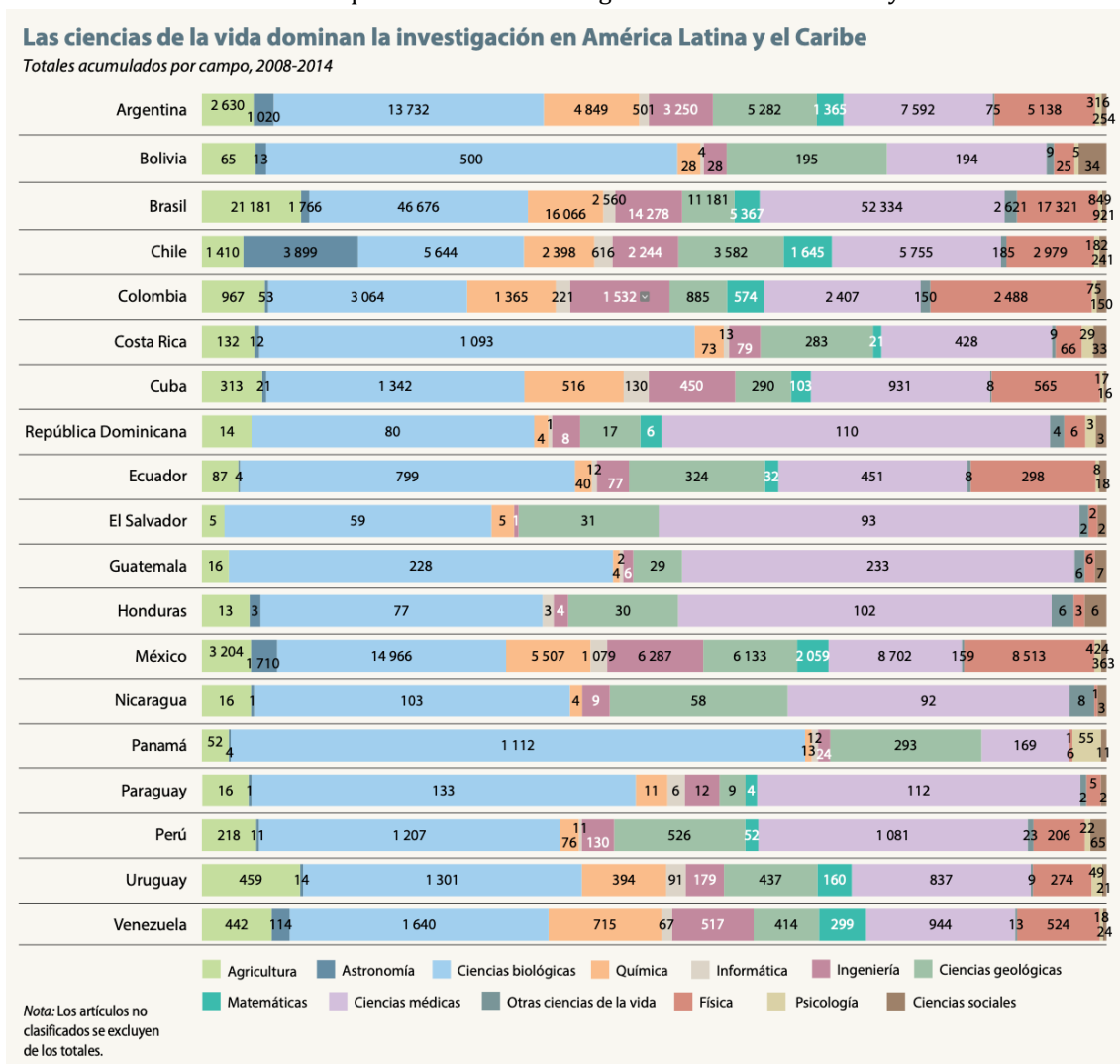
Finalmente, se analizan los futuros proyectos y desafíos que se abren una vez que el cable se construya. En este ámbito, destaca la relevancia de la región para el estudio del cambio climático y por las características geográficas de la región que la hacen ideal para el desarrollo de la Astronomía. Por último, se describen recomendaciones que incentiven el desarrollo de la academia y la producción científica de la región.

3. Diagnóstico

En Sudamérica se identifican varias áreas de investigación que son capaces de generar un alto flujo de datos, por lo que requieren de altos niveles de capacidad de transmisión para su desarrollo. Esta necesidad proviene, en algunos casos, por la naturaleza de la disciplina y, en otros, por los avances tecnológicos en la capacidad de generación, recolección y procesamiento de datos, los que son producidos o requeridos en distintos proyectos científicos-tecnológicos. La alta disponibilidad de información permite la aplicación de ciencia de datos (también conocida como *Data Science*), para el desarrollo de nuevas investigaciones de manera transversal en distintas disciplinas. Así, el criterio usado para identificar estas áreas está basado en la posibilidad de utilizar ciencia de datos u otras metodologías actualmente disponibles, que resulten en la aplicación de algoritmos o transformación de datos, con el fin de obtener nuevos conocimientos y descubrimientos.

La siguiente figura resume las áreas científicas que destacan en volumen de publicaciones en cada país en la región.

Gráfico 1: Ciencias que dominan la investigación en América Latina y el Caribe



Fuente: UNESCO, 2015¹⁰

Cabe destacar que en general las áreas de la ciencia más relevantes en Sudamérica corresponden a las ciencias biológicas y las ciencias médicas, seguidos por la física, las ciencias geológicas y la química. Es decir, Sudamérica en general enfoca sus esfuerzos científicos en ciencias naturales, lo que probablemente se debe a las condiciones únicas de clima y geografía, lo cual será retomado más adelante.

Por otra parte, es importante considerar el estado actual de las colaboraciones científicas que la región realiza con el resto del mundo. Como será detallado en este informe, la ciencia se ha vuelto cada vez más colaborativa y, en este contexto, el Cable Humboldt tiene el potencial de impulsar la colaboración científica con Asia. La siguiente tabla resume las principales relaciones de colaboración científica en la región.

Tabla 1: Principales relaciones colaborativas en ciencia en Sudamérica

Principales asociados extranjeros, 2008-2014

	1 ^{er} colaborador	2 ^o colaborador	3 ^{er} colaborador	4 ^o colaborador	5 ^o colaborador
Argentina	EE. UU. (8 000)	España (5 246)	Brasil (4 237)	Alemania (3 285)	Francia (3 093)
Bolivia	EE. UU. (425)	Brasil (193)	Francia (192)	España (187)	Reino Unido (144)
Brasil	EE. UU. (24 964)	Francia (8 938)	Reino Unido (8 784)	Germany (8 054)	España (7 268)
Chile	EE. UU. (7 850)	España (4 475)	Alemania (3 879)	Francia (3 562)	Reino Unido (3 443)
Colombia	EE. UU. (4 386)	España (3 220)	Brasil (2 555)	Reino Unido (1 943)	Francia (1 854)
Costa Rica	EE. UU. (1 169)	España (365)	Brasil (295)	México (272)	Francia (260)
Cuba	España (1 235)	México (806)	Brasil (771)	EE. UU. (412)	Alemania (392)
Rep. Dominicana	EE. UU. (168)	Reino Unido (52)	México (49)	España (45)	Brasil (38)
Ecuador	EE.UU. (1 070)	España (492)	Brasil (490)	Reino Unido (475)	Francia (468)
El Salvador	EE. UU. (108)	México (45)	España (38)	Guatemala (34)	Honduras (34)
Guatemala	EE. UU. (388)	México (116)	Brasil (74)	Reino Unido (63)	Costa Rica (54)
Honduras	EE. UU. (179)	México (58)	Brasil (42)	Argentina (41)	Colombia (40)
México	EE. UU. (12 873)	España (6 793)	Francia (3 818)	Reino Unido (3 525)	Alemania (3 345)
Nicaragua	EE. UU. (157)	Suecia (86)	México (52)	Costa Rica (51)	España (48)
Panamá	EE. UU. (1 155)	Alemania (311)	Reino Unido (241)	Canadá (195)	Brasil (188)
Paraguay	EE.UU. (142)	Brasil (113)	Argentina (88)	España (62)	Uruguay/Perú (36)
Perú	EE. UU. (2 035)	Brasil (719)	Reino Unido (646)	España (593)	Francia (527)
Uruguay	EE. UU. (854)	Brasil (740)	Argentina (722)	España (630)	Francia (365)
Venezuela	EE. UU. (1 417)	España (1 093)	Francia (525)	México (519)	Brasil (506)

Fuente: UNESCO, 2015

La tabla muestra un claro vínculo con Estados Unidos y Europa que es transversal a la mayoría de los países de la región. Esto se debe probablemente a la importancia histórica que estos países han tenido en cuanto a la cantidad y calidad de publicaciones a nivel internacional, además de ciertas tendencia por similitudes culturales como el idioma.

Sin embargo, el panorama mundial de la cantidad de publicaciones se ha transformado notablemente en los últimos años en tanto Asia, y en particular China, ha aumentado su participación mundial en cantidad de publicaciones, superando a Estados Unidos con un 20% de

¹⁰ UNESCO. (2015). Informe de la UNESCO sobre la Ciencia : hacia 2030. Mayo 2021, de UNESCO Sitio web: https://es.unesco.org/unesco_science_report/lac

las publicaciones mundiales. Es por esto que el Cable Humboldt se convierte en un elemento central en la industria académica, ya que facilita el acceso a la infraestructura asiática además de facilitar la comunicación y por tanto la colaboración con centros de investigación asiáticos.

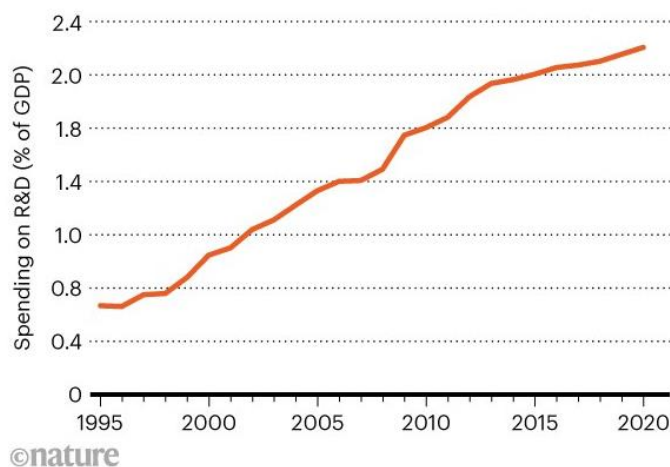
El plan quinquenal Chino es uno de los elementos de referencia más importantes para proyectar su política científica y tecnológica. Entre los elementos relevantes del último plan se encuentra la búsqueda de una mayor autosuficiencia en ciencia y tecnología, explicado a la guerra comercial con Estados Unidos y otras tensiones comerciales con países de Europa¹¹.

Asimismo, China establece una gran relevancia a la creación de mayores vínculos entre la academia y la industria, con el fin de potenciar la innovación. Reconociendo la importancia de la ciencia para el desarrollo, al punto que el plan considera un menor aumento del gasto que en los últimos cuatro años, pero proyecta un incremento relevante en el gasto de ciencia básica, la cual está relacionada con nuevos descubrimientos e innovaciones más disruptivas.

Gráfico 2: Inversión en Ciencia en China

BOOMING BUDGET FOR SCIENCE

China's spending on research and development (R&D), as a proportion of gross domestic product (GDP), has increased steadily since 1995.



Source: OECD, National Bureau of Statistics of China

Fuente: OECD, *National Bureau of Statistics of China*

China se plantea como una potencia industrial para el 2035, lo que requiere ser una potencia tecnológica, fortaleciendo los servicios. En esta línea, otro eje relevante es el desarrollo tecnológico en la innovación de servicios, fortaleciendo aplicaciones de inteligencia artificial, no solamente a nivel logístico, sino asociado a una prestación de servicio. Desarrollar estas innovaciones plantea la necesidad de establecer un importante vínculo entre la ciencia, la industria y el desarrollo.

¹¹ Véase: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-00638-3>

3.1. Investigación en la región

3.1.1. Astronomía

La Astronomía en Chile ha sido desarrollada primordialmente en la zona Norte del país, principalmente en el desierto de Atacama, el cual es reconocido como el mejor lugar del planeta Tierra para observar el universo, debido a sus características tales como baja humedad, altas cumbres y planicies, baja contaminación lumínica y radioeléctrica¹² ¹³. Esto conlleva específicamente a generar el mayor número de noches despejadas al año en el planeta.

Figura 1: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), que consta de 66 antenas.



Fuente: [.almaobservatory.org](http://almaobservatory.org)¹⁴.

Debido a las condiciones anteriormente mencionadas, Chile alberga grandes observatorios ópticos y radio observatorios, además de una gran cantidad de centros de investigación tanto nacionales como internacionales. En detalle, los principales son los ubicados en la Región de Antofagasta: el Observatorio Paranal con el Very Large Telescope (VLT), catalogado como el complejo astronómico más avanzado y poderoso del planeta¹⁵, y el Atacama Large Millimeter Array (ALMA), considerado el mayor proyecto astronómico del mundo¹⁶, ambos dependiente del Observatorio Europeo Austral (ESO). También se encuentran en la misma región observatorios pertenecientes al consorcio AURA/NOAO (Association of Universities for Research in Astronomy/National Optical Astronomy Observatories).

Adicionalmente a las instalaciones existentes, mega proyectos se encuentran en construcción, los cuales desarrollarán los futuros telescopios más grandes del mundo: el Giant Magellan

¹² Barreno, Jorge (2013). Chile, la tierra de las oportunidades para los astrónomos. El Mundo. Consultado el 22 de febrero de 2021.

¹³ Vanzi, Leonardo (2016). Columna de Astronomía: El reto de conservar los cielos chilenos. EMOL. Consultado el 22 de febrero de 2021.

¹⁴ Véase <https://www.almaobservatory.org/es/anuncios/aviso-de-prensa-inscribanse-ahora-para-asistir-a-la-inauguracion-del-observatorio-alma/>

¹⁵ European Southern Observatory (ESO) (s/f). Observatorio Paranal. www.eso.cl. Consultado el 22 de febrero de 2021.

¹⁶ ALMA (s/f). Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. www.almaobservatory.org. Consultado el 22 de febrero de 2021.

Telescope¹⁷ (GMT), cuyo diámetro del espejo primario borda los 29 metros y que se espera comience a operar en 2030 y también el Extremely Large Telescope¹⁸ (ELT), que borda los 39 metros de diámetro, requiere de 1500 km de fibra óptica en su instalación y se proyecta comience a operar en 2025.

A modo de resumen general sobre las instalaciones en el territorio nacional y según se declara en el Diario Financiero¹⁹, hasta el año 2013 Chile concentraba cerca del 40% de la observación astronómica del mundo y se prevé que ascienda prontamente a 70% para fines de 2020, gracias a la inversión en el sector y la construcción de nuevos centros de observación. Dicha situación aún no es posible de confirmar debido al contexto de salud en el mundo. Sin embargo, se entiende que dicha meta no ha sido cumplida, sino que ha sido aplazada y que, según declara María Gabriela Navarro Ovando, astrónoma y postulante a Dra. en astrofísica en una entrevista en abril de 2021 a Ciencia en Chile; *“del 2025 en adelante el 70% de la observación astronómica científica será desde Chile y eso directamente hace que nuestra ciencia se desarrolle en un contexto mucho más profesional y de primera a nivel mundial, igualmente eso hace que lleguen fondos extranjeros”*²⁰.

Por otro lado, esta disciplina es, sin duda, de las más intensivas en el uso de datos, tanto en generación, transporte, procesamiento y almacenamiento de los mismos. Los observatorios generan varios cientos de gigabytes por jornada, incluso llegando a Terabytes, como es el caso del Observatorio ALMA²¹, el cual genera cerca de 100 terabytes anuales de datos. Es por ello que, tanto en la actualidad como en los próximos años, se concluye que el *big data* científico es colosal, del orden de terabytes por año. Más aún, para los proyectos astronómicos en desarrollo en Chile, se espera que produzcan varios petabytes por año, incluso hay proyectos que están hablando del orden de exabytes. *“La base de datos de Youtube está del orden de 15 petabytes, mientras que los grandes proyectos de observatorios que se vienen en Chile van a producir 5 petabytes por año por 10 años, hablando de los proyectos más cercanos en el tiempo. Después, con los proyectos venideros tenemos decenas de petabytes por año”*, señaló en 2014 Jorge Ibsen, director del Departamento de Computación e Informática del radiotelescopio ALMA

Luego, en términos de los datos generados, estos son enviados a centros de procesamiento de datos de distintas partes del mundo, debido a que en muchos casos requieren ser procesados por denominadas *“supercomputadoras”*, las cuales no están disponibles en Sudamérica. Es en este contexto que en una entrevista realizada a Mauricio Solar (académico del Departamento de Informática de la Universidad Técnica Federico Santa María) y publicada en una revista de la institución²²(USM), se hace una crítica al funcionamiento de los observatorios y genera una propuesta de desarrollo de la industria científica técnica, evidenciando que existen oportunidades de desarrollo de *big data* en el país y en el área. En la publicación se destaca:

¹⁷ Véase <https://www.gmto.org/>

¹⁸ Véase <https://elt.eso.org/>

¹⁹ Véase https://www.df.cl/sofofa-inversion-en-sector-astronomia-ascendera-a-mas-de-us-4-400-millones-a-2020/prontus_df/2013-11-03/163040.html

²⁰ Véase <https://www.cienciaenchile.cl/desarrollo-astronomico-en-chile-un-aporte-transversal-para-las-ciencias-del-mundo/>

²¹ Véase <https://www.almaobservatory.org/es/inicio/>

²² Véase <https://revista.sansanos.cl/2014/04/chile-a-la-caza-del-big-data-cosmico/>



*“Los científicos chilenos tienen 10% del tiempo de observación de los telescopios y todos los datos (incluido este 10%) se transmiten a Alemania, EE.UU. y Japón”. Para que los chilenos puedan usar esos datos tienen que traerlos de vuelta, perdiendo ancho de banda, tiempo en la transmisión, sin considerar los errores que se generan. **“Nuestra propuesta es guardar ese 10% de los datos nosotros”.** [...] Más allá de las inmensidades de la data de la que hablamos, el punto es cómo el país aprovecha el boom de la astronomía como motor para desarrollar infraestructura científica de clase mundial, que impacte todo el sector económico y productivo de Chile. **La idea es no copiar lo que ocurre con el cobre, que se exporta prácticamente en bruto, y con los datos astronómicos ocurre lo mismo. La comunidad científica tiene planes para que esto no siga pasando.***

Por otra parte, el trabajo conjunto con otros observatorios en el mundo plantea el desafío de poder almacenar, transmitir y procesar una inmensa cantidad de datos, con el fin de llevar a cabo más y mejores investigaciones. Un ejemplo de aquello es la reciente primera foto de un agujero negro, publicada en *The Astrophysical Journal Letters* en abril de 2019, hito para el cual colaboraron científicos de diversos países y telescopios configurados alrededor de todo el mundo, incluyendo Chile como el único país de la región. El agujero negro se encuentra a 55 millones de años luz de la Tierra y tiene una masa 6.500 millones de veces superior a la de nuestro Sol. Es por ello que para lograr la fotografía fue necesario procesar **5 petabytes** de datos, provenientes desde los distintos observatorios participantes. Dentro de todas las dificultades del proceso, se destaca el transporte y almacenamiento de dicha cantidad de datos. Más aún, no existe una red de internet capaz de transportar dicha información, por lo que el transporte se realizó mediante un vuelo aéreo particular, pues era más rápido que mediante internet²³. A continuación, se presenta una fotografía de la científica a cargo del procesamiento junto a todos los discos duros utilizados para almacenamiento.

Argentina también es un país que desarrolla investigación astronómica. En efecto, posee observatorios astronómicos de grandes capacidades distribuidos dentro del territorio argentino y, también tiene características ambientales favorables para la observación del espacio, como lo son las noches despejadas, baja contaminación lumínica y altura en algunos casos.

Tolar Grande, ubicado en la Puna salteña a 360 km de la ciudad de Salta, posee condiciones atmosféricas óptimas para la observación del cielo la mayoría de las noches del año, y al que también contribuyó el escaso desarrollo urbano de la región para que se conservara ajeno a la contaminación lumínica. Específicamente, posee el 93 por ciento de noches despejadas al año, condición fundamental a tener en cuenta a la hora de instalar un observatorio.

Allí, en el cordón del Cerro Macón –a 4.650 metros sobre el nivel del mar– hace más de veinte años comenzaron los estudios del equipo científico del Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE) para caracterizar el sitio y conocer la “calidad” del cielo. Lo hicieron con la idea de que el lugar fuera seleccionado por el Observatorio Austral Europeo (ESO por sus siglas

²³ Véase <https://www.xataka.com/espacio/primera-foto-agujero-negro-supuso-5-petabytes-datos-fue-facil-enviarlos-avion-que-internet>

en inglés) para instalar el telescopio óptico/infrarrojo más grande del mundo, el European Extremely Large Telescope (ELT)²⁴.

Finalmente, en 2010 la ESO decidió instalar el ELT en territorio chileno. No obstante, los científicos del IATE aprovecharon el trabajo que desarrollaron durante una década, así como la infraestructura financiada por la ESO, para proveer a la Argentina de un nuevo observatorio astronómico destinado a la investigación óptica (línea clásica en la Astronomía basada en la observación de la luz visible de los astros).

La virtud de este lugar radica en su excelente calidad de cielo y mayor número de noches despejadas en comparación con los complejos astronómicos El Leoncito (San Juan) y Bosque Alegre (Córdoba), con un 65 y un 50 por ciento de noches despejadas al año, cada uno.

3.1.2. Transporte

Alrededor del mundo existe un gran avance en desarrollo científico específico del área de transporte y más aún, avanza rápidamente debido a la constante captación de datos obtenidos en tiempo real, ya sea mediante el uso de *GPS* o sensores específicos, instalados en carreteras, vehículos, calles, autopistas, peajes, entre otros. Lo anterior, contribuye y da paso a que en un futuro se aplique y desarrolle el concepto de *Smart Cities*.

Luego, en relación con la investigación que se genera en las Universidades, resulta importante destacar el Academic Ranking of World Universities (ARWU), también conocido como ranking de Shanghái, el cual considera publicaciones (PUB), publicaciones en revistas top del área (TOP), citas (CNCI) y colaboración internacional (IC). Dentro de las áreas que contempla, se encuentra "Transportation Science and Technology" y es en esta área de transporte donde el ranking 2020 le otorga los primeros puestos a Beijing Jiaotong University (1), Tsinghua University (2) y Southeast University (3). Sudamérica en cambio, solo ubica dos universidades dentro de los 200 primeros puestos, Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile, ambas en el intervalo 101-150 de posición²⁵.

Del párrafo anterior, se desprende que Sudamérica no es una potencia mundial en términos de desarrollo científico en el área de transporte. Sin embargo, existen diferentes iniciativas que apuntan hacia un mayor desarrollo en la región. Ejemplo de aquello es el proyecto UNaLab (Urban Nature Lab), financiado por la Unión Europea en el marco del programa Horizon 2020 y del que es miembro la Universidad de Buenos Aires. Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo de comunidades urbanas más inteligentes, más inclusivas, más resilientes y más sostenibles a través de la implementación de soluciones basadas en la naturaleza (*SbN*), que son co-creadas con y para las partes interesadas y los ciudadanos locales²⁶.

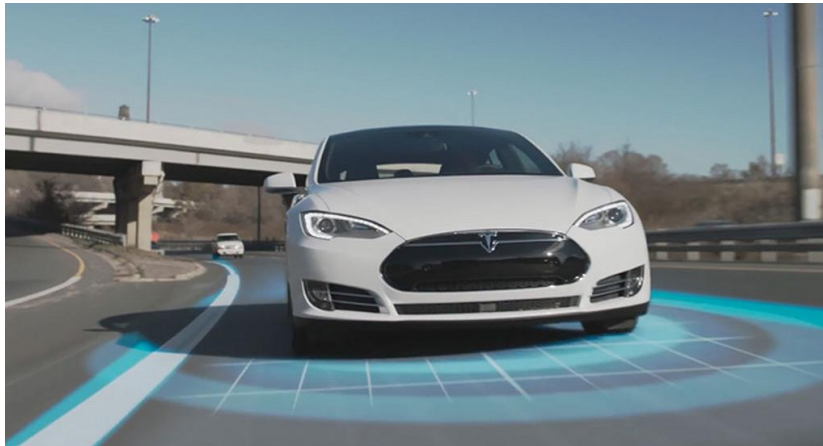
²⁴ <https://unciencia.unc.edu.ar/sin-categoria/argentina-tendra-su-cuarto-observatorio-astronomico-de-investigacion-optica/>

²⁵ Véase <http://www.shanghairanking.com/Shanghairanking-Subject-Rankings/transportation-science-technology.html>

²⁶ Véase <https://unalab.eu/en>

Dado el estado en desarrollo de la región, en términos científicos, es relevante mencionar un claro y actual ejemplo de nivel mundial, que muestra el valor que se puede obtener de los datos y procesamiento en esta ciencia, este es Autopilot desarrollado por Tesla²⁷. Autopilot corresponde a una serie de hardware avanzado capaz de ofrecer funciones de piloto automático para los vehículos de Tesla. Específicamente, *“ocho cámaras en el vehículo ofrecen una visión 360 grados alrededor del vehículo con un alcance de hasta 250 metros. Doce sensores ultrasónicos fueron actualizados y complementan esta visión, lo que permite la detección de objetos sólidos y blandos a cerca del doble de distancia y precisión del sistema anterior. Un radar delantero con procesamiento mejorado brinda datos adicionales sobre el mundo con una longitud de onda redundante que le permite ver a través de lluvia intensa, neblina, polvo e incluso el vehículo que antecede”*. Para llevar a cabo esto, se han desarrollado años de investigación científica en el rubro de transporte, donde en conjunto con inteligencia artificial y redes neuronales se obtiene la tercera generación de piloto automático de la marca e incluso, la última versión tiene una capacidad de procesamiento **40 veces mayor** que la versión anterior.

Figura 3: Tesla Autopilot



Fuente: Tesla²⁸

Al abordar la región, se encuentran casos de usos más locales y de una menor dificultad científica. Sin embargo, han sido efectivos en generar valor a la sociedad.

El Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), ubicado en Santiago de Chile, ha desarrollado una aplicación en base a *big data* e inteligencia artificial. Se creó un Software en línea que identifica el riesgo vial en un tramo de la Autopista Central de Santiago de Chile, logrando predecir cerca del 80% de los accidentes antes de que estos ocurran. El modelo aprende de sí mismo y está en constante proceso de mejora. Cada nuevo día de información le permite tomar mejores decisiones, al identificar potenciales cambios en los patrones de ocurrencia de los accidentes²⁹. Se debe notar que, para que este software desarrollado presente un valor real a las personas, no solo basta con predecir los accidentes con cierto tiempo de antelación, sino que también es necesario el complemento de otras entidades que eviten que estos sucesos ocurran,

²⁷ Véase https://www.tesla.com/es_ES/autopilot

²⁸ Tesla.com

²⁹ Véase https://isci.cl/historias_de_impacto/predecimos-accidentes-en-carretera-5-minutos-antes-de-que-estos-sucedan/

por ejemplo, enviar señales de alerta a automovilistas que circulen por el sector e incluso, generar políticas públicas que apunten a evitar estos accidentes. Por lo tanto, es en este contexto que el software desarrollado por el ISCI requiere de redes de transmisión de datos resilientes y veloces, para así cumplir su propósito a cabalidad.

También en Chile, la investigadora del ISCI Marcela Munizaga lideró un proyecto de *big data* junto al Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM). Se necesitaba instalar mil paneles solares que iluminaran los paraderos del transporte público en Santiago, de un total de 11 mil paraderos posibles. Por lo tanto, la pregunta relevante es ¿en cuáles paraderos instalar y en cuáles no?, frente a este problema, se recurrió a la investigación científica y al uso de *big data*, donde los mil paraderos seleccionados fueron aquellos que registraban la mayor cantidad de flujo nocturno de pasajeros, información obtenida al mezclar los datos de las validaciones de las tarjetas Bip! con la de los *GPS* de cada bus del Transantiago³⁰.

En Argentina, específicamente en el área metropolitana del municipio de Neuquén, en la Patagonia, se ha desarrollado un proyecto pionero en transporte, que apunta a un objetivo futuro de *Smart city*. Mediante un proyecto de Inter American Development Bank (IDB)³¹, se buscaba determinar el dinamismo de los flujos de viaje y su evolución a lo largo del día, comparando días hábiles y fines de semana. Además, pretende entender las diferentes dimensiones de la movilidad, considerando la movilidad interna (dentro de cada localidad) y externa (entre las diferentes localidades), así como las principales características socioeconómicas de las personas que viajan en la zona. Este proyecto se sustenta sobre el uso de la herramienta Smart Steps de Telefónica, basada en tecnologías *big data* para telefonía móvil, se han obtenido datos de movilidad de las personas, mediante el teléfono celular de las mismas, los cuales han sido captados por las antenas de telecomunicaciones. Luego, los datos son trabajados de forma anónima y agregados a un nivel espacial, según un conjunto de zonas definidas de interés en el estudio. Finalmente, la información es extrapolada, buscando representar a la totalidad de la población del municipio. Esto, además, ha permitido organizar también la planificación de transporte público en la ciudad como desea la Municipalidad. Además de permitir que el Municipio pueda medir y caracterizar el flujo de viajes dentro de la Ciudad de Neuquén, conocer las zonas de atracción de tránsito, obtener tendencias sobre movimientos de masas, respaldar el trayecto del nuevo servicio de Metrobus y, en definitiva, generar una ciudad más habitable³².

Por último, un caso de uso en Brasil, corresponde a la empresa privada Brasil Risk. Dicha entidad ha invertido recursos en investigación y desarrollo (I+D), con la finalidad de realizar un análisis estadístico, que permita reducir significativamente la siniestralidad, es decir, mejorar los índices de siniestros evitados y aumentar la recuperación de cargas robadas. En pocas palabras, busca evitar que los camiones de transporte de cargas sean asaltados.

³⁰ <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=302651>

³¹

https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Como_aplicar_big_data_en_la_planificaci%C3%B3n_d_el_transporte_urbano_El_uso_de_datos_de_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_en_el_an%C3%A1lisis_de_la_movilidad_es.pdf

³² <https://empresas.blogthinkbig.com/plan-movilidad-neuquen-bigdata/>

Esta firma utiliza *big data* en sus procesos, y declara que *“Hoy en día, la presencia del Big Data se ha vuelto esencial en los más diversos sectores y, especialmente, cuando se trata de la cadena logística. A través de ella, es posible extraer datos de los consumidores, obteniendo información extremadamente importante para pensar en la logística de un negocio. Informaciones tales como: las ansiedades del cliente, sus miedos y satisfacciones, al igual que sus necesidades y demandas, etc. Por lo tanto, Big Data es capaz de capturar información y hacer referencias cruzadas de innumerables datos, internamente, proporcionando a la empresa la capacidad de desarrollar información que podría revolucionar la estrategia logística”*³³.

Básicamente, realizan un cruce de datos, generando *insights* importantes en el sector del transporte de carga, viajes realizados, características de camiones, conductores, etc. Con ello, han logrado obtener respuestas como qué conductores cometen más infracciones de tránsito, viajes en espacios de tiempo más corto, consumen más combustible, entre otras. Con dicha información, se logra identificar de manera más ágil y práctica, las buenas logísticas y costos asociados.

Este ejemplo, evidencia la unión entre el sector académico de análisis y uso de datos y sensores con el sector privado, generando una sinergia que se traduce en innovación, utilidades, menos riesgos y en general, un beneficio para la comunidad. Es por ello que se destaca la existencia de relación y cohesión entre la industria privada y la industria científica, evidenciando los beneficios que dicha cooperación pueden generar a la comunidad.

Finalmente, se concluye que, para alcanzar el máximo desarrollo de esta disciplina en Sudamérica, se requieren redes resilientes y que permitan integrar distintas fuentes de datos, para luego ser procesadas correctamente y en consecuencia, entregando soluciones de alto nivel que impacten a la comunidad y entregarles una mejor calidad de vida.

3.1.3. Salud

Otra área importante a nivel académico en la región es la salud y sus disciplinas, entre ellas, las ciencias biomédicas como la genética, anatomía, fisiología, patología, bioquímica, inmunología, histología, farmacología, virología, microbiología, entre otras.

El *big data* está recibiendo cada vez mayor importancia en las ciencias biomédicas y en el cuidado de la salud, lo que ha incentivado fuertemente el desarrollo de la informática biomédica a nivel mundial. La capacidad de manejar grandes volúmenes de datos se está volviendo un facilitador para llevar a cabo estudios de investigación sin precedentes y para implementar nuevos modelos de prestación de salud. (Bellazzi, 2014, 8)

En los hospitales, la implementación masiva de los registros clínicos electrónicos, la integración informática al equipamiento a través de estándares como HL7 FHIR³⁴; la implementación de

³³ <https://www.brasilrisk.com.br/es/blog-2/158-big-data-las-ventajas-para-las-operaciones-logisticas>

³⁴ HL7 (Health Level Seven) es una organización de desarrollo de estándares para facilitar el intercambio electrónico de información clínica. F = Fast, H = Healthcare, I = Interoperability y R = Resources; FHIR. Véase https://www.cens.cl/wp-content/uploads/2018/04/cens-introduccion_fhir_principiantes.pdf

equipamiento integrados a los sistemas informáticos; la domótica de los hospitales y la gran cantidad de sensores han disponibilizado grandes volúmenes de datos, considerando una alta cantidad de variables, veraces y en tiempo real. Estos datos están siendo utilizados en estudios sin precedentes para realizar prácticas, modelos, desarrollar fármacos, establecer mecanismos de asignación de recursos, ejecutar análisis genéticos, predecir comportamientos de comorbilidades, entre muchos otros usos.

En la actualidad es vital comprender dónde están presentes los macrodatos y dónde puede ser beneficioso recogerlos, datos de *wearables*, sensores en el hogar, domótica hospitalaria, entre otras alternativas. Hay campos de investigación, como la bioinformática traslacional, que están utilizando tecnologías de *big data* para enfrentar la onda expansiva de datos que se genera todos los días. Otras áreas, que van desde la epidemiología hasta la atención clínica, se están beneficiando de la explotación de las grandes cantidades de datos que se encuentran hoy en día disponibles, desde el seguimiento personal hasta la atención primaria.

Entre los principales desafíos en esta área se encuentran la construcción de sistemas habilitados para desarrollar *big data*, estableciendo arquitecturas de datos escalables, fácil de entender y en que las distintas redes académicas puedan aportar. En este sentido, los cambios tecnológicos están impulsando fuertemente la computación en la nube, lo que, sumado a la cada día mayor disponibilidad de software para el análisis de datos, está contribuyendo al desarrollo de investigación científica biomédica y de salud pública con el apoyo de técnicas de *big data*. (Bellazzi, 2014, 1)

En Chile, la Universidad de Chile, la Universidad Católica, la Universidad de Concepción, la Universidad de Valparaíso y la Universidad de Talca, con el apoyo de CORFO, han constituido el Centro Nacional en Sistemas de Información en Salud³⁵ (CENS). Este centro tiene por objeto desarrollar estrategias y actividades que permitan alcanzar un sistema de salud más conectado, innovar mediante la implementación de soluciones tecnológicas en salud, crear criterios para asegurar la calidad de los sistemas de salud, entre otras metas relacionadas.

De manera similar al caso del CENS, Argentina tiene distintas instituciones académicas nacionales que fomentan la informática biomédica. Entre ellos está el Grupo de Informática Biomédica de Buenos Aires (GIBBA), que es una entidad sin fines de lucro que engloba a médicos, bioingenieros, programadores y otros profesionales especialistas con la informática. Este centro busca fomentar la aplicación de la informática en la asistencia, en la investigación científica y en las áreas relacionadas con la salud y las ciencias biomédicas.

El futuro de la medicina

En distintas partes del mundo se están generando nuevas aplicaciones de *inteligencia artificial* en salud. Una investigación científica realizada en China ha demostrado que el procesamiento del lenguaje natural realizado por IAs es comparable al desempeño de los pediatras en el diagnóstico de enfermedades comunes de la infancia. El estudio examinó registros clínicos de casi 600.000 pacientes durante un periodo de 18 meses en un Hospital de Guangzhou y comparó los diagnósticos generados por la IA con las evaluaciones realizadas por médicos con experiencia.

³⁵ Véase <https://cens.cl/>

Como resultado, en promedio la IA era más precisa que los médicos jóvenes y casi tan confiables como los médicos expertos. (Liang, H., 2019)

En el mediano plazo se espera que la inteligencia artificial apoye a los médicos en el análisis diagnóstico, facilite la formación profesional de los médicos y profesionales de la salud, permita interpretar grandes volúmenes de datos, entre otros impactos que beneficiarán la salud de la población.

Los avances de la tecnología están impactando fuertemente la atención médica, gracias al *big data*, la colaboración académica, la integración entre diversos centros de salud, entre otros elementos que facilitan el desarrollo de investigación científica de alto impacto. (Wiwenko B, 2020)

3.1.4. Ciencias de la Computación

Esta disciplina está dedicada al estudio sistemático de procesos algorítmicos que describen y transforman información. La creciente disponibilidad de datos y capacidad de procesamiento de los computadores hacen del manejo de información una tarea importante y compleja, sobre todo a la hora de aplicar algoritmos en la resolución de problemas de diversas índoles.

Esta ciencia ha logrado generar conocimientos y herramientas que aportan nuevas metodologías para la investigación en otras disciplinas. Es por ello que las ciencias de la computación es un área académica que se verá potenciada en un círculo virtuoso, donde mayor disponibilidad de datos se complementará con el desarrollo de más y mejores modelos y sistemas. En la misma línea, un mejor desarrollo de esta ciencia, específicamente, un mejor desarrollo de algoritmos y sistemas computación, será un aporte y herramienta relevante para Salud, Transporte, Astronomía, entre otras aplicaciones.

En la región existen importantes *hubs* de integración de datos como el ubicado en Sao Paulo, Brasil; liderado por la Universidad de Sao Paulo. Argentina y Chile lideran el desarrollo de aplicaciones y herramientas de *Machine Learning* en la región.

3.1.5. Agronomía

Se estima que la producción mundial de alimentos deberá duplicarse para el año 2050, con tal de poder satisfacer los requerimientos de todas las personas del mundo. El gran desafío de dar alimentos a cerca de 9.000 millones de personas en el mundo para dicha fecha, está generando a su vez un gran desafío medioambiental. Dicha tarea debe ser llevada a cabo considerando que se utilizan recursos finitos como es el agua dulce y la tierra, en conjunto con otros recursos como energía, uso de fertilizantes, entre otros. Es por ello que la agricultura sin investigación, ciencia e innovación no será posible ni sostenible en el tiempo. En este contexto nace el concepto de "*Agricultura Inteligente*".

En la agronomía, la tecnología es de gran ayuda para descubrir formas de aumentar la productividad y la sostenibilidad. Descubrir patrones y tendencias que muestran los datos, puede entregar información útil y con ello, realizar una toma de decisiones de manera más sencilla. Si bien, en términos prácticos influye una gran cantidad de factores, aun así es útil el estudio

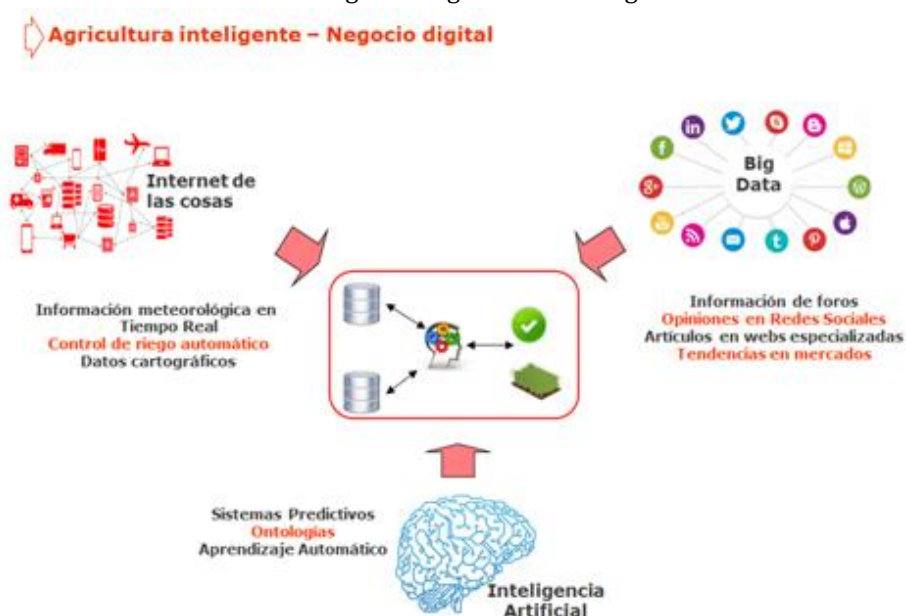
mediante datos, ya que permite aprender y experimentar más rápido, en conjunto con tener mayor validez interna y externa en las predicciones.

Históricamente, de manera artesanal agricultores realizaban distintas técnicas, mediante las cuales probaron variadas combinaciones de riegos, semillas, fertilizantes, sustratos, entre otras cosas. Luego, resulta evidente que realizar todas las combinaciones posibles para saber cuál es la mejor decisión le llevaría años de experimentación, en conjunto con una gran cantidad de costos en pérdidas de productos debido a las malas decisiones realizadas. Adicionalmente, existen factores externos que muchas veces no son controlados, como por ejemplo el tiempo de lluvia, o heladas. Es por ello que poseer una mayor cantidad de datos entrega representatividad y permite hacer un análisis más robusto, el cual un solo agricultor no podría hacer por sí mismo.

Dado lo anterior, es que la recolección de datos juega un rol fundamental en la investigación. Actualmente en agronomía se utiliza la introducción manual de datos, como los obtenidos al analizar el suelo o cosechas, sensores de humedad, estaciones meteorológicas, imágenes aéreas de drones o satélites, sensores de conductividad eléctrica y mapas de rendimientos creados por cosechadoras. Dicha introducción manual de datos, se refiere a tomar los sensores instalados, por ejemplo el de humedad, e ingresar la información recopilada en algún sistema informático que se maneje, escribiendo por ejemplo, día 1, 80% de humedad.

Luego, se debe almacenar, transportar y procesar dichos datos, con el fin de realizar mejoras e investigación. En general, el *Big Data* otorga a los profesionales de la agricultura el poder de medir y registrar todas las fases del producto agrícola, desde que es cultivado hasta que llega a manos del consumidor

Figura 1: Agricultura inteligente



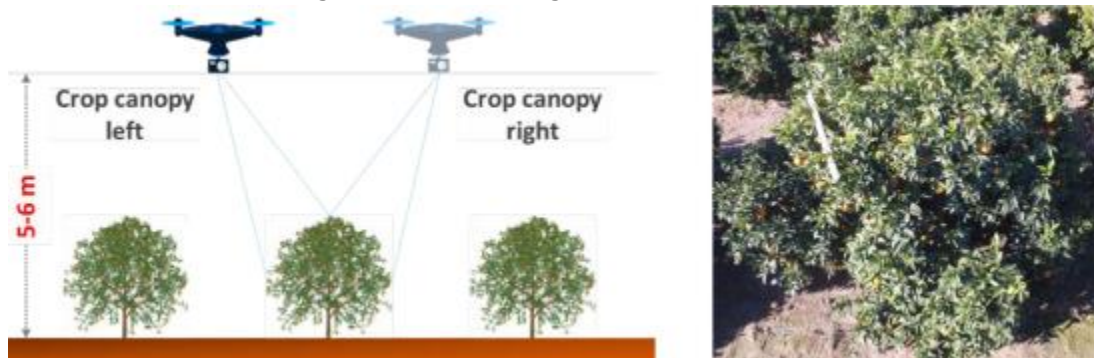
Fuente: ainia.es

Actualmente, la agronomía y sus avances científicos permiten a agricultores tomar decisiones precisas, y lo más importante en el sector, poder actuar de forma preventiva sobre los cultivos

anticipándose a determinados fenómenos adversos sobre los mismos, hacer predicciones meteorológicas mucho más precisas, prever dónde y cuándo se va a producir una plaga, visualizar parámetros de producción, aumentar productividad, reducir costos, disminuir esfuerzos, cosechar el cultivo en el momento correcto de maduración, entre otras cosas.

Un ejemplo de lo anterior es la investigación realizada desde 2016 hasta 2020 por la Universidad de Sevilla, en conjunto con Agrosap y Cooperativas Agroalimentarias, proyecto titulado DronFruit, que pretende desarrollar y validar un sistema de detección de naranjas mediante el uso de imágenes RGB, obtenidas por vuelo de un vehículo aéreo no tripulado, o UAV (*unmanned aerial vehicle*) por sus siglas en inglés, en combinación con un modelo de *Machine Learning*. El reto más importante en este tipo de cultivo es estimar el número de frutos y su estado con el mayor grado de anticipación posible para organizar las operaciones de cosecha y predecir su precio y puesta en el mercado. Específicamente, se utilizaron drones para captar imágenes de 20 árboles elegidos de manera aleatoria. Luego, las imágenes fueron procesadas y a partir de ellas se realizan las estimaciones, donde el flujo de trabajo con el modelo de *Deep Learning* ya entrenado, generó resultados de identificación de las naranjas con un costo de tiempo de computación por imagen de alrededor de 30 segundos, mientras que en paralelo una persona experta realiza sus propias proyecciones. Finalmente, las estimaciones son comparadas con los valores reales de cosecha.

Figura 2: Toma de imágenes mediante drones



Fuente: dronfruit.org

Los resultados muestran que, “la comparación del rendimiento total estimado mediante el modelo generado con el rendimiento total obtenido como verdad-terreno, arroja un error del 1.54%. De la misma forma, la comparación de la estimación realizada por el técnico aforador (persona experta) con el rendimiento final obtenido, genera un error del 7.83%”³⁶. Sin duda esto conlleva una mejora en la estimación, reduciendo la incertidumbre del aforo y permitiendo automatizar el conteo de frutos de forma rápida, repetible y relativamente asequible.

Otro ejemplo relevante es la investigación realizada por la empresa privada Yara Iberian³⁷, ubicada en Madrid, España. Mediante imágenes e inteligencia artificial, desarrollaron una aplicación de *smartphone* capaz de detectar el nivel de nitrógeno en la tierra de cultivo, simplemente mediante la cámara del teléfono. Dicho desarrollo busca aumentar la eficiencia en

³⁶ Vease http://dx.doi.org/10.26754/c_agroing.2019.com.3461

³⁷ Vease <https://www.yara.es/>

el uso de fertilizantes, a través de una nutrición equilibrada, mejorando así la producción de alimentos y un menor impacto ambiental.

Por último, en Argentina y Chile se destaca el proyecto RUC-APS, consorcio formado por 16 participantes de 5 países de la UE (Francia, Italia, Polonia, España y Reino Unido), y 3 socios de 2 terceros países (Argentina y Chile). Dicho proyecto se enfoca en el requerimiento de soluciones integradas que sean capaces de hacer frente a los retos de colaboración entre los diferentes agentes involucrados en la totalidad de la cadena alimentaria; desde de las primeras fases de la agricultura como el diseño de productos, pasando por la cosecha, hasta las fases posteriores de recolección, procesamiento final, la cadena de suministro y el impacto de estos sistemas en el consumidor. Debido a este proyecto se han desarrollado una serie de investigaciones científicas, tales como Conference Papers, Book chapters, Journal based publications, WORKSHOPS, entre otros³⁸.

4. Infraestructura Digital Académica

Un tipo particular de redes de fibra óptica son las que se encargan de interconectar distintos agentes o instituciones dedicadas a la investigación, como lo son los centros de investigación y las universidades. A este tipo de redes nos referimos como “Redes Académicas”, y su despliegue es relevante, ya que los usuarios de éstas suelen tener un consumo de tráfico diferente al de un consumidor habitual de internet. Una de sus principales características en el comportamiento del tráfico, es su necesidad por mandar altos volúmenes de información en algunos momentos específicos, por ejemplo, a un supercomputador que cuente con la capacidad de procesamiento necesaria para analizar la información obtenida. La frecuencia con lo que esto ocurre dependerá de las áreas y subáreas de investigación que se desarrollen. Además, las redes de colaboración científica requieren seguridad y protocolos de identidad especializados que suelen ser muy costosos contratarlos a través de ISP's.

Por otro lado, una buena interconexión entre universidades facilita la fluidez y resiliencia de comunicación, que es clave para el avance científico cuando se colabora.

Es en este contexto que nacen las Redes Nacionales de Investigación y Educación (NREN, por sus siglas en inglés) con el fin de atender las necesidades particulares de los centros de investigación, actuando como “intermediario en el uso del poder adquisitivo de una gran membresía para obtener ofertas para sus clientes”³⁹. De este modo, los miembros pueden acceder a una compra masiva de acceso a Internet de ISP, licencias de software, suscripciones a bibliotecas, servicios de computación en la nube e incluso hardware informático. Además de agregar demanda y hacer uso de economías de escala, una NREN ofrece mejor calidad de servicio al proveer banda ancha dedicada a cada cliente (a diferencia de un ISP que suele compartir el mismo ancho de banda entre varios clientes), eliminando los problemas de congestión y ofreciendo el mismo ancho de

³⁸ Vease <https://ruc-aps.eu/research-dissemination/>

³⁹ World Bank Group. (2016). The Role and Status of National Research and Education Networks (NRENs) in Africa. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/233231488314835003/pdf/113114-NRENSinAfrica-SABER-ICTno05.pdf>

banda tanto para carga como descarga, ya que las redes académicas funcionan compartiendo información en ambos sentidos.

Las NRENs son tanto una red de comunicación física operada por y para la comunidad educativa y científica, como una organización que opera dicha red. Usualmente funcionan como una corporación en la cual sus miembros (universidades, otros centros de investigación e instituciones con objetivos similares) pagan una cuota de membresía por los servicios contratados para cubrir los gastos operacionales, mientras que el gobierno se encarga de cubrir parte de los gastos iniciales para establecer la red y actualizarla.

En este apartado, se presenta la infraestructura existente tanto en la región, que conecta países de Sudamérica y es de dedicación exclusiva a redes académicas y también, las más importantes redes nacionales, que conectan universidades o instituciones científicas dentro de un territorio.

4.1. Redes Internacionales

4.1.1. RedCLARA

RedCLARA, Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas, es una Organización de derecho Internacional sin fines de lucro, cuya existencia legal data del 23 de diciembre de 2003. Su misión es fortalecer el desarrollo de la ciencia, la educación, la cultura y la innovación en América Latina a través del uso innovador de redes avanzadas⁴⁰.

RedCLARA desarrolla y opera la única red de Internet Avanzada de América Latina. Establecida en el año 2004, gracias al proyecto ALICE⁴¹, que busca crear una infraestructura de redes de investigación en América Latina e interconectarse con su par europea, GÉANT, mediante el protocolo de Internet (IP), que se desarrolló desde 2008 hasta 2013 y, desde entonces, brinda interconexión regional y conexión al mundo a través de sus enlaces internacionales a GÉANT (red avanzada paneuropea) y a Internet2 (Estados Unidos) y, mediante ellos, a las redes avanzadas de África (UbuntuNet Alliance, WACREN, ASREN), Asia (APAN, TEIN, CAREN) y Oceanía (AARNET), entre otras.

Específicamente, se interconectan las Redes Nacionales de Investigación y Educación (NREN en inglés) de Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Uruguay y Argentina y se conectan a las redes académicas avanzadas del resto del mundo para beneficiar el desarrollo de la ciencia y la academia, generando capacidades para investigaciones intrarregionales y transcontinentales en todas las áreas del saber, potenciando el desarrollo de aplicaciones que eliminan fronteras. Según declara la institución, su topología de red se observa en la siguiente imagen⁴², actualizada a marzo de 2020:

⁴⁰ Vease <https://www.redclara.net/index.php/es/somos>

⁴¹ <https://www.redclara.net/index.php/es/proyectos/red-e-infraestructura/alice>

⁴² <https://www.redclara.net/index.php/es/recursos/publicaciones-para-difusion/mapas-de-la-red>

Figura 3: Topología de red RedCLARA



Fuente: RedCLARA

En números generales, RedCLARA declara poseer más de 32.243 km de red en América Latina, haber transmitido más de 4.520 terabytes de información durante 2018 y estar conectada a más de 2.000 universidades en Latinoamérica⁴³. Luego, en relación a los servicios que brinda la red, dentro de los más destacados se encuentran:

- Eduroam: Una red Wi-Fi global para la comunidad de educación, permitiendo a estudiantes, investigadores y personal de las instituciones de investigación y educación, obtener conectividad a Internet Wi-Fi en todos los campus participantes en el mundo.
- Amazon Web Services (AWS): Propone ampliar posibilidades académicas y de investigación con múltiples servicios de almacenamiento, procesamiento y gestión de datos masivos.
- Videoconferencia de Escritorio: VC Espresso permite agendar y participar en conferencias web con pares ya sea que éstos estén registrados o no en Colaboratorio. Permitirá tomar notas, compartir presentaciones y grabar reuniones, mientras se interactúa con pares.
- Analytikus: Desarrolla soluciones sencillas a problemas complejos, permitiendo a las instituciones educativas atacar de mejor manera dichos retos, tales como disminuir la tasa de deserción de sus alumnos, optimizar la canalización de los procesos admisión y conectar a estudiantes con recursos académicos personalizados.

⁴³ Vease <https://www.redclara.net/index.php/es/>



- Google Cloud y G Suite for Education: Permite a instituciones miembro acceder a descuentos especiales en uso y transferencia de datos para Google Cloud, lo que aunado a los *peerings* en Brasil y EE.UU. con los que cuenta RedCLARA, disminuye considerablemente los precios de uso de la nube de Google en la región.

Por otro lado, es relevante destacar que RedCLARA se encuentra realizando una serie de proyectos que van en pos de su misión, mediante la mejora de sus redes de conexión en el mundo. En este contexto se destaca el proyecto general ALICE, mencionado anteriormente. Paralelamente se desarrolló ALICE 2⁴⁴, enfocada en el fortalecimiento de RedCLARA y su infraestructura de red y el fomento a la creación y mantenimiento de comunidades de investigación que trabajen en temáticas relativas al desarrollo. Contó con un financiamiento de la Central Europea (CE) de € 12.000.000 en conjunto con su contraparte América Latina de € 6.000.000. Por último, se destaca BELLA, la que se abordará más adelante en el informe.

4.1.2. AmLight ExP

AmLight Express and Protect (ExP) implementa una estrategia de red híbrida que combina espectro óptico (Express) y capacidad alquilada (Protect) que construye una infraestructura de red diversa de vanguardia confiable para investigación y educación. AmLight ExP opera enlaces de red de alto rendimiento que conectan América Latina con los EE. UU., Financiados por la National Science Foundation (NSF); con importantes inversiones de la Red Académica de São Paulo (ANSP), Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) y la Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía (AURA). El ancho de banda total proporcionado por AmLight ExP entre EE. UU. Y Sudamérica ha alcanzado más de 680 Gbps en capacidad agregada⁴⁵.

Algunas de las áreas que se ven beneficiadas con su infraestructura son la astronomía, física de alta energía, biodiversidad, genómica, sismología, entre otras. A continuación, se presentan algunos casos de uso.

Dimensions US-BIOTA-Sao Paulo

Un marco multidisciplinario para la predicción de la biodiversidad es el hotspot ubicado en el bosque atlántico brasileño. Esta investigación explicará y predecirá la distribución de especies animales y vegetales en peligro de extinción, que habitan esa zona. El proyecto implica el estudio tanto del clima como del paisaje y sus cambios en los últimos 120.000 años. Los datos de los satélites en órbita terrestre se combinarán con datos meteorológicos e información paleoambiental del registro de polen fósil y datos de precipitación antiguos, derivados de la geoquímica de depósitos encontrados en cuevas. Estos datos, combinados con información sobre los rangos de especies modernas; la diversidad genética; las tolerancias fisiológicas; la dinámica hospedante-patógeno y los cambios regionales en la composición de la biota demostrarán cómo la biodiversidad del bosque atlántico evolucionó con el tiempo. El proyecto consta de la colaboración entre Estados Unidos y Brasil, en la que AmLight tendrá una importante participación, mediante la transferencia diaria de archivos entre los países⁴⁶.

⁴⁴ <https://www.redclara.net/index.php/es/proyectos/red-e-infraestructura/alice2>

⁴⁵ <http://www.amlight.net/>

⁴⁶ https://www.amlight.net/?avada_portfolio=dimensions-us-biota-sao-paulo

Large Synoptic Survey Telescope (LSST)

LSST será un nuevo tipo de telescopio, con un poder de captación de luz entre los más grandes del mundo, puede detectar objetos débiles con exposiciones breves. Su campo de visión excepcionalmente amplio le permite observar grandes áreas del cielo a la vez. Es capaz de captar más de 800 imágenes panorámicas cada noche, que ascienden a más de 15 TB por noche, pudiendo así cubrir el cielo dos veces por semana. El Proyecto LSST llevó a cabo una serie de desafíos de datos sucesivamente más ambiciosos entre 2010 y 2015, simulando fracciones más grandes de transferencia de datos y capacidades de procesamiento necesarias para operaciones complejas (que requieren 10 Gbps conexión).

En el contexto de sus “desafíos de datos” anuales, LSST debe poder realizar pruebas de forma incremental desde La Serena, Chile, hasta National Center for Supercomputing Applications (NCSA) en Illinois, Estados Unidos, en el ancho de banda disponible de 10 Gbps todo el tiempo, 40 Gbps durante la noche y 80 Gbps o más para ponerse al día⁴⁷.

4.2. Redes Nacionales

4.2.1. Chile

En Chile existe la Red Universitaria Nacional (REUNA), que es una Corporación sin fines de lucro, integrada por universidades, centros de investigación de excelencia y grupos astronómicos internacionales, cuya meta es “*sumar a todas las instituciones de educación superior, investigación y cultura presentes en el territorio chileno*”⁴⁸, brindando una plataforma digital líder y servicios innovadores que propicien la colaboración nacional y global. Actualmente, esta red cuenta con más de 20 universidades chilenas asociadas (es decir, interconectadas).

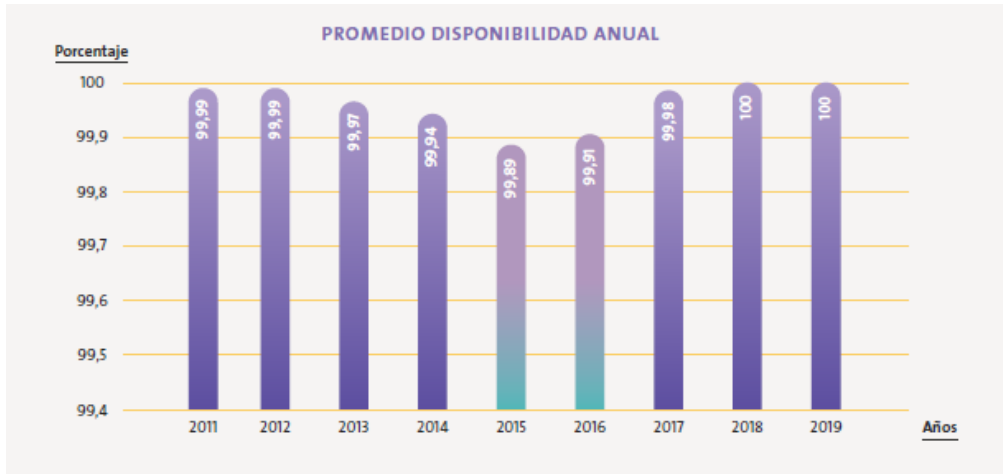
El desempeño y compromiso de REUNA con las redes académicas se ha visto reflejado en la disponibilidad anual de sus enlaces, alcanzando inclusive el 100% en los años 2018 y 2019 (Ver figura 8). Además, cuenta con un *datacenter*, con estándares de calidad homologables a Tier 4⁴⁹, cumpliendo en 2018 y 2019 con un 100% de disponibilidad.

Gráfico 3: Disponibilidad de enlaces de REUNA

⁴⁷ https://www.amlight.net/?avada_portfolio=large-synoptic-survey-telescope-lsst-2

⁴⁸ REUNA. (2019). MEMORIA ANUAL 2019. https://www.reuna.cl/wp-content/uploads/dlm_uploads/2020/07/Memoria-Corporativa-REUNA-2019.pdf

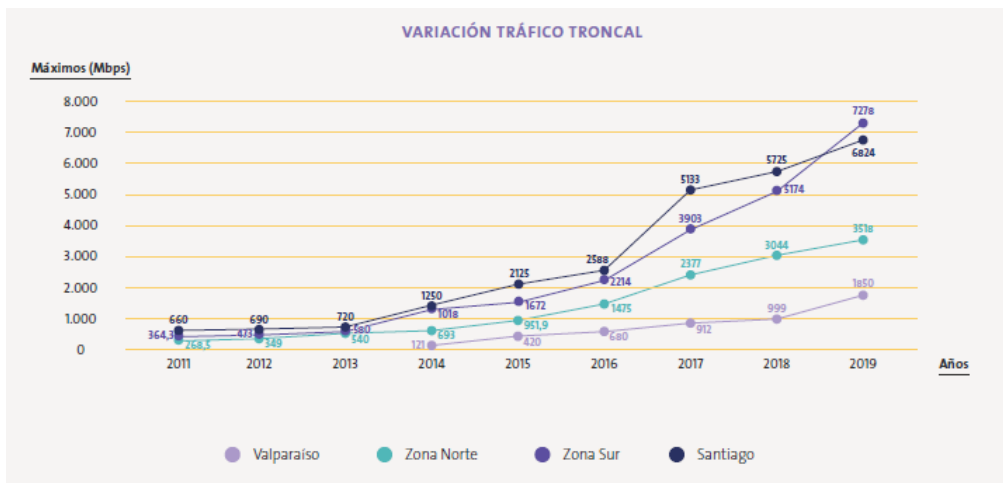
⁴⁹ Es el nivel más alto en la clasificación de datacenters según la disponibilidad de los componentes que presentan sus infraestructuras. Para más información, ver <https://www.hn.cl/blog/clasificacion-de-data-center/>



Fuente: REUNA

Por otro lado, en cuanto a consumo de datos, el ancho de banda utilizado por los socios de REUNA ha ido en un persistente aumento, sobre todo en la zona centro del país (ver figura 9).

Gráfico 4: Evolución en el Tráfico troncal entre los años 2011 a 2019



Fuente: REUNA

La Corporación se encuentra desarrollando un ambicioso proyecto de infraestructura digital que pretende alcanzar los 3000 km de conexión entre Arica hasta Puerto Montt en fibra óptica. Comenzado en 2018 con la interconexión de Santiago a La Serena y el cerro Pachón, lugar donde estará emplazado el Telescopio Vera C. Rubin (VRO), con una capacidad de 96 canales de 100 Gbps cada uno, terminará con la conexión de Temuco a Puerto Montt.

A nivel internacional, REUNA cuenta con múltiples enlaces a proveedores de Internet Comercial (ISP's), y a las Redes Académicas Internacionales, lo que permite a los científicos e investigadores chilenos transportar, almacenar, analizar y modelar grandes volúmenes de información o *big data*, para participar en iniciativas colaborativas de relevancia mundial.

4.2.2. Brasil

Red Nacional de Enseñanza e Investigación (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa RNP en portugués) es la infraestructura brasileña de red avanzada para colaboración y comunicación en enseñanza e investigación. Ella conecta más de 250 instituciones brasileñas entre sí y con el exterior, haciendo viable la interacción entre personas y recursos a través de aplicaciones avanzadas.

El mantenimiento de la red es realizado por el Programa Interministerial de los ministerios de Educación y de Ciencia y Tecnología, a través del contrato de gestión de la Organización Social Asociación RNP (RNP-OS) con el Ministerio de CyT. Además de contar con recursos públicos, la RNP realiza captación de recursos privados por medio de proyectos con empresas de informática y otras organizaciones⁵⁰.

Según la autodefinición de RNP declarada en su sitio web, *“Somos una red avanzada con cobertura nacional para educación superior, investigación e innovación. En 1992, ayudamos a traer Internet a Brasil y continuamos promoviendo el uso innovador de las Tecnologías de Información y Comunicación, impulsando la ciencia y la educación para todos”*⁵¹.

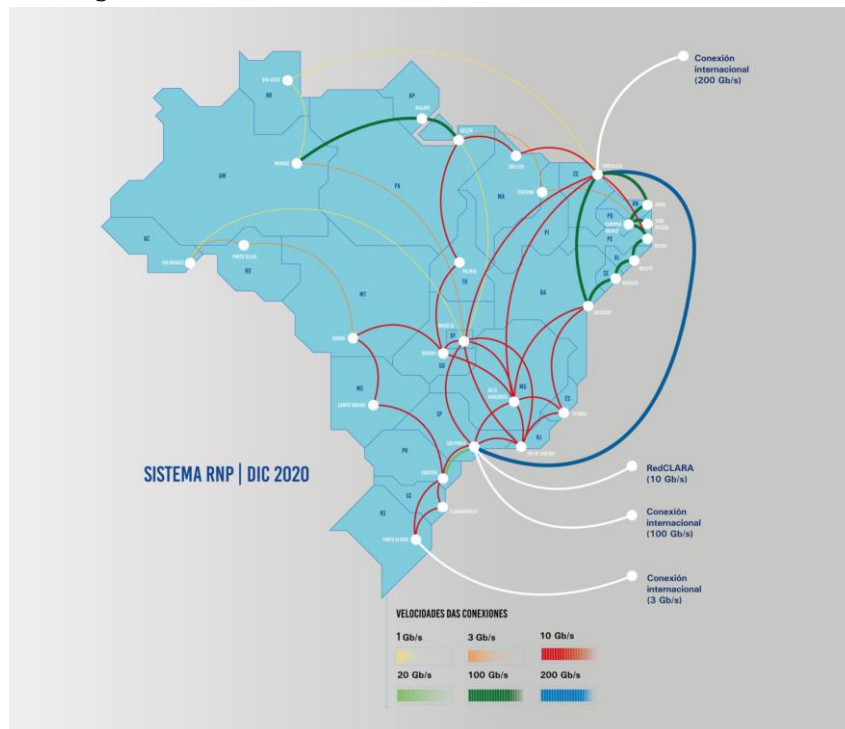
En la práctica, RNP conecta una serie de variadas instituciones dentro de todo su territorio nacional. Dentro de esas instituciones se encuentran unidades de enseñanza superior, centros de investigación, centros federales de enseñanza tecnológica, instituciones de enseñanza media, técnica y profesional, instituciones de fomento, hospitales, entidades gubernamentales y otras instituciones no Gubernamentales.

A continuación, se observa una figura que muestra las redes de conexión RNP actualizadas a diciembre de 2020.

⁵⁰ <https://www.redclara.net/index.php/es/somos/miembros/brasil-rnp>

⁵¹ <https://www.rnp.br/es/sobre/quienes-somos>

Figura 4: Red de conexiones RNP actualizada a diciembre 2020.



Fuente: rnp.br⁵²

4.2.3. Argentina

Red Científica Nacional de Argentina – InnovaRed- es un proyecto de la Fundación InnovaT, unidad de vinculación tecnológica del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)⁵³. Su objetivo es otorgar a la comunidad educativa e investigativa los medios para llevar a cabo tareas que requieran de transmisión de datos de carácter exclusivo, sin utilizar las redes comerciales tradicionales.

InnovaRed es la entidad Argentina encargada de asegurar la conectividad de la comunidad a nivel nacional y, además, con el resto de las comunidades tanto a nivel sudamericano como mundial. Para ello posee una red troncal de 10 Gbps, con nodos ubicados en Buenos Aires, Rosario, Córdoba, Villa Mercedes, San Luis, Mendoza, Malargue, La Plata, Bahía Blanca, Choele Choel, Neuquén y Bariloche.

De esta manera, permite a diversas instituciones que conforman la red, tales como universidades, centros de investigación astronómica, ministerios, entre otras⁵⁴, conectarse entre ellos y potenciar la generación de proyectos y colaboración científica a nivel nacional. A su vez, InnovaRed es miembro de RedCLARA, definida anteriormente en redes internacionales, a través de la cual se conecta con Sudamérica y el resto del mundo, permitiendo así las colaboraciones internacionales.

⁵² <https://www.rnp.br/es/sistema-rnp/rede-ipe>

⁵³ <https://www.innova-red.net/acerca-de/quienes-somos>

⁵⁴ Ver detalles en <https://www.innova-red.net/red/instituciones-conectadas>

InnovaRed utiliza el concepto de “*e-Ciencia*”, el cual se sustenta en el aumento sostenido en la exigencia de la ciencia de contar con más y mejores recursos de procesamiento y almacenamiento de datos, como también nuevas formas de trabajo colaborativo.

“La actividad científica tradicional se ha transformado dando lugar a un nuevo modelo definido como e-ciencia. Ésta se desarrolla a partir de la aplicación integral de herramientas de información y comunicación (TIC)”⁵⁵.

Esta “e-infraestructura” tiene como principal actor a las redes dedicadas, las cuales proveen a la comunidad científica la plataforma necesaria para las actividades de investigación que no pueden ser desarrolladas a través de las redes comerciales tradicionales. Otorgando la posibilidad de llevar adelante proyectos de gran envergadura e impacto; mayor simultaneidad y apertura geográfica.

4.2.4. Uruguay

La Red Académica Uruguaya (RAU) es un emprendimiento de la Universidad de la República, administrada por el Servicio Central de Informática Universitario (SeCIU) que opera desde el año 1988. Reúne a las Facultades, Escuelas, Institutos y Servicios de la Universidad de la República y a numerosas entidades de educación superior e investigación del país⁵⁶.

Los nodos de la Red Académica Uruguaya son un total de 48, pudiéndose discriminar entre los pertenecientes a la Universidad de la República (36 nodos) y los de otras entidades Académicas y de Investigación (14 nodos). La RAU está al servicio de 31 Facultades, Institutos y Escuelas, 6.516 docentes, 1.065 técnicos, y 60.000 estudiantes. Además, RAU se encuentra conectada a la red internacional RedCLARA, siendo uno de sus miembros.

4.2.5. Otros países de la región

Dentro de Sudamérica, se destaca Colombia y Ecuador como los únicos países que poseen NREN además de los ya mencionados. Sin embargo, estos se encuentran fuera de los países objetivos. Por consiguiente, Paraguay y Bolivia no poseen NREN.

Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA), es la NREN de Colombia. Dicha red se compone de 52 entidades miembros entre universidades, centros de investigación, fuerza armada, entre otros.

Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA), corresponde a la NREN de Ecuador. CEDIA trabaja a través de cuatro áreas; Tecnología, Investigación, Academia/Capacitación e Innovación y Transferencia Tecnológica, y en la actualidad cuenta con 59 instituciones miembros las cuales son las Universidades, Institutos Tecnológicos y Colegios a nivel del país.

⁵⁵ <https://www.innova-red.net/acerca-de/e-ciencia>

⁵⁶ <https://www.redclara.net/index.php/es/somos/miembros/uruguay-rau>

El sector académico boliviano, compuesto por más de 60 universidades, 500 mil estudiantes y 20 mil docentes, es de los pocos que no posee conexión a RedCLARA. No solo carece de alguna NREN que agrupe dichas instituciones, sino que tampoco ha logrado constituir su propia Red Científica Académica Nacional. Desde 2002, se han realizado diversos intentos, involucrando a más de 30 universidades en el país. Como resultado, se han redactado los estatutos y reglamentos de la Red Académica de Integración Boliviana (RIAB)⁵⁷, a cargo de internet society.

Red Académica Avanzada ARANDU, es un proyecto impulsado por varias de las universidades más importantes del Paraguay, que apunta a la formación de una red avanzada para la educación, la investigación científica y la innovación tecnológica. Con ello, se busca establecer definitivamente una NREN y generar una conexión a RedCLARA.

4.3. Caso de uso: Rol de redes académicas en África

El Banco Mundial ha desarrollado un estudio sobre las redes académicas en el continente africano, titulado *The Role and Status of National Research and Education Networks (NRENs) in Africa*⁵⁸, llevado a cabo por Michael Foley en 2016. Dicho estudio es de carácter histórico, donde se reúne información asociada y carácter crítico, donde se proponen políticas tanto para gobernadores, privados, NRENs, entre otras entidades.

El impulso que determinó el establecimiento de las NREN en África fue la llegada de cables de fibra óptica a lo largo de las costas este y oeste del continente en los últimos 20 años, especialmente desde 2000 a 2010. La llegada de redes de conexiones resultó en la importante caída en el costo de acceso a internet. Los costos de banda ancha se redujeron desde 4000-6000 USD por megabit por segundo (Mbps) por mes a menos de 100 USD por Mbps por mes en algunos países, debido al cambio desde el uso de satélites al uso de cables de fibra óptica.

El desarrollo en términos científicos se justifica debido al esfuerzo de académicos provenientes de unos pocos países que, mediante la ayuda de la Asociación de Universidades Africanas (AAU según sus siglas en inglés), promovieron la idea de que los países africanos necesitaban establecer sus propias NREN y con ello lograr finalmente la vinculación a una red continental similar a RedCLARA en LATAM y a GÉANT en Europa a través de la iniciativa llamada Red Africana de Investigación y Educación (AfREN por sus siglas en inglés).

Como consecuencia, se han formado asociaciones regionales de NREN para así promover el concepto AfREN; UbuntuNet Alliance en África oriental y meridional y, WACREN en el sector occidental y central. La Unión Europea (UE) entregó los medios financieros para la puesta en marcha, mediante el proyecto AfricaConnect, sobre la base de compartir los gastos con los países africanos asociados. Por otro lado, la UE previamente ya poseía un proyecto con los países del norte del continente, para así conectarlos con Europa, proyecto llamado EUMEDCONNECT. El

⁵⁷ Véase <https://www.internetsociety.org/es/blog/2018/03/connecting-500k-bolivians-national-research-education-network/>

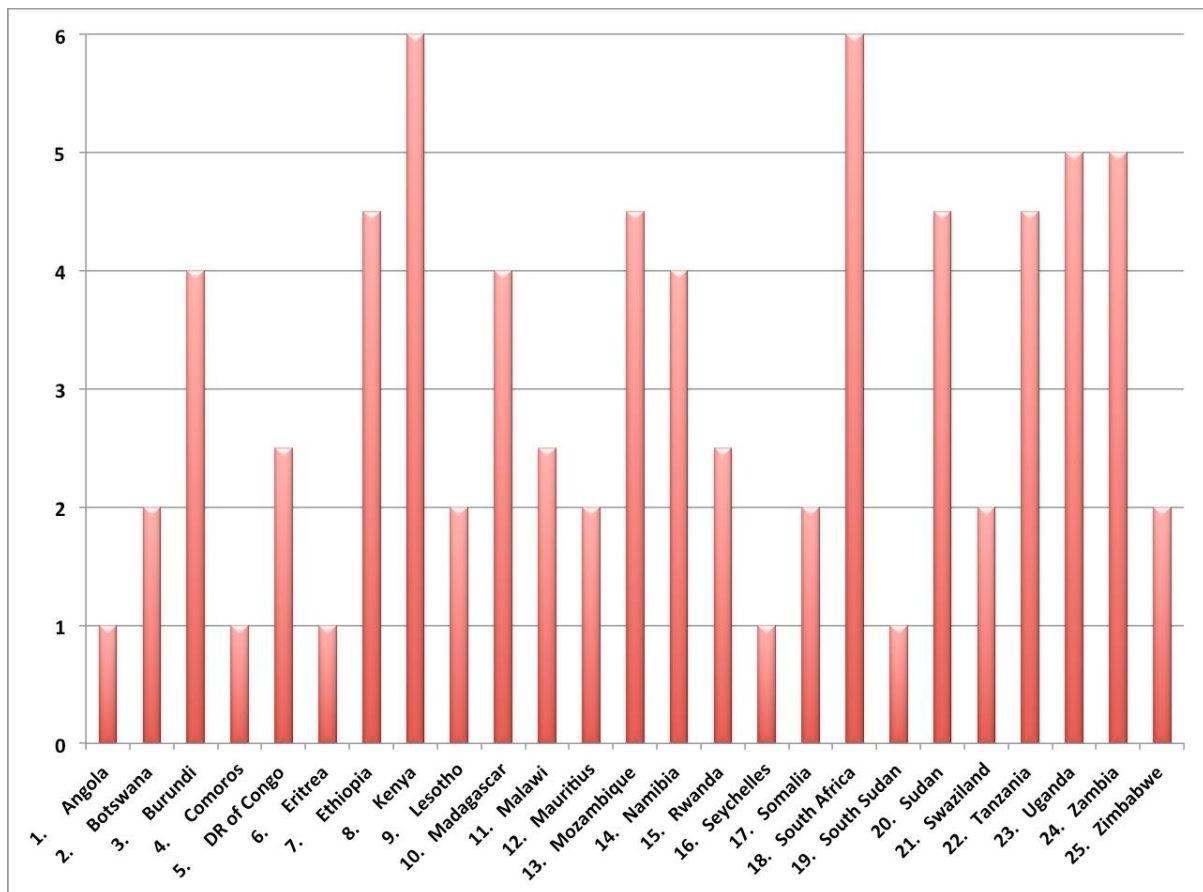
⁵⁸ World Bank Group. (2016). *The Role and Status of National Research and Education Networks (NRENs) in Africa*. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/233231488314835003/pdf/113114-NRENSinAfrica-SABER-ICTno05.pdf>

objetivo general de estas iniciativas fue conectarse con GÉANT y, a través de ella, conectarse a todas las demás NREN del mundo. La agencia ejecutora de estos proyectos fue Delivery of Advanced Network Technology to Europe (DANTE).

Con respecto al estado actual de dichas iniciativas, el proyecto AfricaConnect, correspondiente a la fase 1, ya se encuentra concluido. Por otra parte, AfricaConnect2 se encuentra en desarrollo desde julio de 2015, siendo esta una segunda fase en el objetivo de conectar el continente y generar NRENs. El interés por establecer las redes nacionales se ha desarrollado en casi todos los países de África, sin embargo, el crecimiento es variado con solo dieciocho redes en operación a junio de 2016.

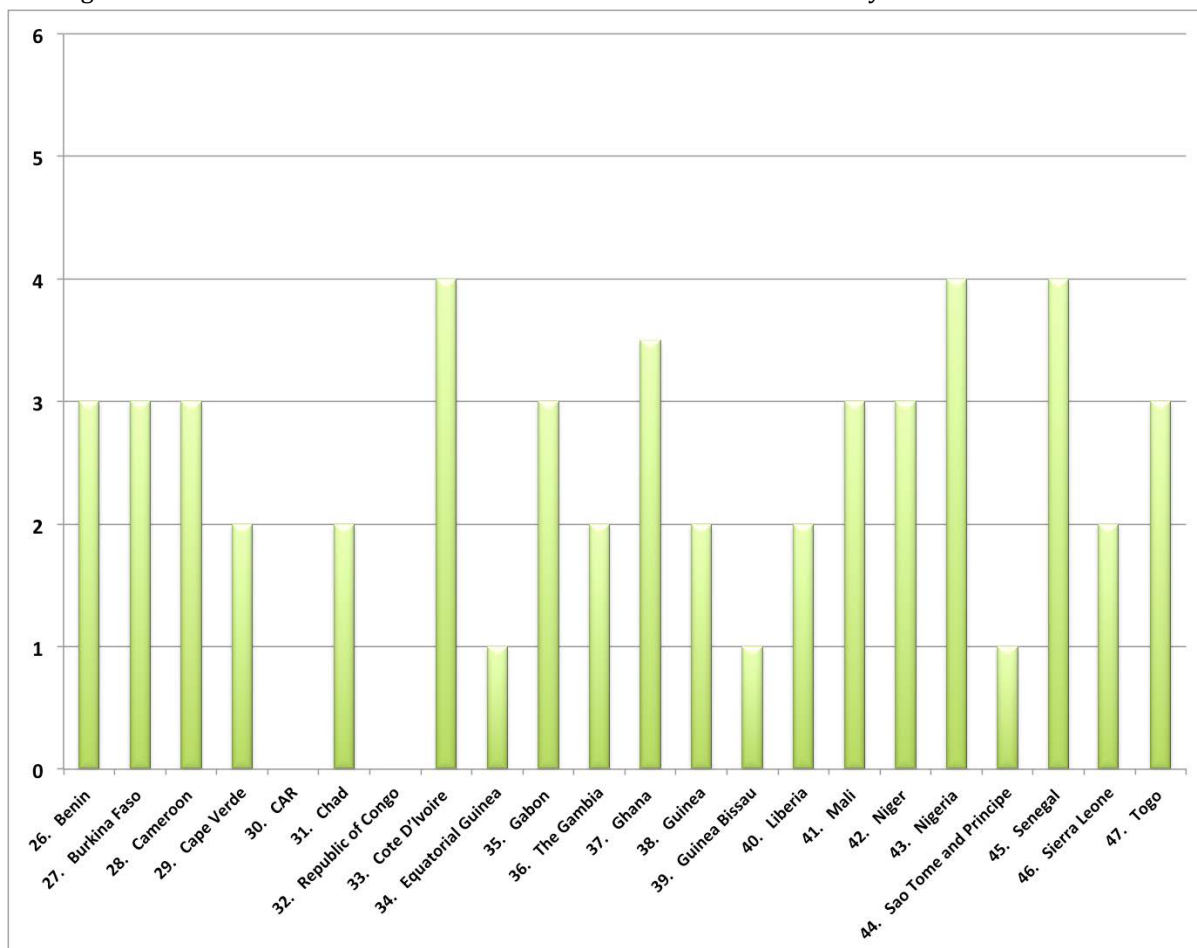
Con respecto a las capacidades de conexión de algunas de esas redes, el ancho de banda promedio proporcionado a las instituciones miembro puede ser tan bajo como 1 a 10 Mbps, con un promedio de 100 Mbps. En las siguientes ilustraciones, se muestra el estado de las NREN en África actualizado a junio de 2016, elaborado según el Capability Maturity Model (CMM).

Figura 5: UbuntuNet Alliance - Nivel de desarrollo de NRENs en África oriental y meridional basado en CMM



Fuente: Banco Mundial

Figura 6: WACREN – Nivel de desarrollo de NRENs en África occidental y central basado en CMM



Fuente: Banco Mundial

Finalmente, el estudio del Banco Mundial genera una serie de políticas públicas enfocadas a los gobiernos, las cuales buscan promover la creación y establecimiento de NRENs, como el fomento de la educación. Entre ellas, se destacan las siguientes: (1) Garantizar una política reguladora liberal, que estimule el mercado de servicios de banda ancha, reconociendo el carácter de bien público de Internet para la educación y la salud. (2) Legislar en consecuencia para permitirle subsidiar en parte las operaciones de una NREN. (3) Apoyar el establecimiento de una NREN y sus operaciones en curso como una agencia con su propia junta directiva, proveniente principalmente de las instituciones a las que sirve. (4) Permitir la importación libre de impuestos de equipos para su uso en NREN y la red en desarrollo. Si es necesario, buscar, en nombre de la NREN, fondos de donantes para la puesta en marcha y las primeras operaciones, solventando gastos e incluso, haciendo de capital ocasionales. (5) Proporcionar licencias de operador a la NREN. Esta política garantizaría que la NREN no sea un competidor del sector privado en el suministro de internet y productos asociados básicos para el público. (6) Promover la adopción de TIC y nuevas tecnologías en el sector educativo donde sea apropiado.

5. Factores Incidentes en la Necesidad de Interconexión de la Industria Científica

Se identificaron factores relevantes para el desarrollo de la industria científica y la investigación de manera de entender las necesidades de interconexión que presenta esta área en particular. Estos fueron separados en dos grupos: primero, las necesidades o requerimientos técnicos de la industria científica en cuanto al manejo de datos que determinan la necesidad de acceder a redes de transporte y, segundo, los factores habilitantes, entendidos como los pilares fundamentales que sustentan el desarrollo de la industria científica y de investigación en la región.

Factores que determinan la necesidad de acceder a redes de transporte de alta capacidad, baja latencia y resilientes

5.1. Volumen y Transporte de Datos

La ciencia moderna utiliza como herramienta básica el método científico, el cual recibe como insumo fundamental la observación de los fenómenos y la realización de experimentos que entregan información/datos medidos de la naturaleza que nos rodea. Entonces, resulta esencial para los científicos contar con formas de almacenar dicha información de manera de poder realizar análisis que permitan testear las hipótesis y así responder las preguntas que se plantean.

En los últimos años la sofisticación de la ciencia ha llevado al desarrollo de nuevas herramientas y tecnologías de análisis de datos que permiten analizar grandes conjuntos de información para responder preguntas crecientemente complejas con mayor precisión y confianza. La aparición de técnicas como el modelamiento predictivo, la solución óptima de modelamiento de grandes problemas, el análisis de imágenes, entre otros, ha permitido expandir las fronteras del conocimiento, pero para lograr aquello necesitan de cantidades masivas de datos y de lugares donde almacenarlos. Actualmente, la forma en que los científicos recopilan y almacenan la información es completamente digital, por lo que es crucial contar con la infraestructura tecnológica suficiente.

Un ejemplo concreto de lo anterior es el observatorio ALMA en Chile, uno de los principales centros de investigación astronómica del país y del mundo. Las imágenes recopiladas por el telescopio generan 1Tb de información al día⁵⁹, lo que requiere más espacio de lo que casi cualquier computador portátil logra almacenar en su disco duro. Aplicaciones como esta requieren de grandes centros de almacenamiento para poder alojar los datos, los que a su vez requieren de grandes inversiones en capital y energía.

⁵⁹<https://www.almaobservatory.org/es/anuncios/alma-organiza-en-chile-conferencia-internacional-de-astroinformatica/#:~:text=Solo%20el%20observatorio%20ALMA%20genera,por%20hora%20en%20el%20202030.&text=La%20astroinform%C3%A1tica%20combina%20computaci%C3%B3n%20avanzada,masivos%20y%20complejos%2C%20y%20astronom%C3%ADa.>

Existen varias tecnologías que son utilizadas en distintos momentos de la “cadena productiva” de la investigación científica. La más evidente es el *big data* el cual, como se explicó anteriormente, juega un rol crucial en la ciencia moderna de alta precisión y complejidad al momento de procesar la información hacia el final del proceso. Sin embargo, el *IoT* también es una tecnología importante en la recopilación de datos ya que permite obtener datos en lugares remotos o con condiciones climáticas complejas de manera sincronizada. Un ejemplo concreto de lo anterior es el caso de investigación de cambio climático en Antártica, en donde investigadores utilizan sensores y drones para obtener datos de zonas en las que ir presencialmente resulta imposible o muy costoso. Un segundo ejemplo es la investigación en agronomía, en donde se necesita de un sensor por planta para comprender cabalmente la evolución de las plantaciones.

Por otra parte, también es necesario transportar estos grandes volúmenes de información dependiendo del lugar en que se almacenarán o donde procesarán dicha información. Esto ocurre cuando el lugar en donde se generan los datos es distinto al lugar en donde se almacenan y/o se procesan. Esto genera la necesidad de medios de transporte de datos que sean capaces de mover cantidades como las que produce el observatorio ALMA en cortos intervalos de tiempo.

5.2. Procesamiento de Datos

Un segundo paso crucial del método científico consta del análisis de los datos para así generar conocimiento y poder responder a preguntas o testear hipótesis, análisis que hoy en día, al igual que el almacenamiento, es principalmente realizado de manera digital. La necesidad recae en contar con la infraestructura para poder procesar grandes cantidades de información y muchas veces utilizando métodos sofisticados. En muchos de los casos de la ciencia actual este tipo de procesamiento sólo puede ser realizado por *supercomputadores* o centros de datos dedicados.

Volviendo al ejemplo anterior del observatorio ALMA, el algoritmo de procesamiento de imágenes que analiza los datos recopilados diariamente son procesados en un *supercomputador* que realiza 17 mil billones de operaciones por segundo⁶⁰. Este tipo de computadores son sumamente escasos y requieren de altos niveles de inversión y de carreteras que los interconectan a los centros de datos.

A medida que los científicos cuentan con mayores cantidades de datos y herramientas de análisis más complejas, se volverá cada vez más necesario contar con infraestructura de procesamiento más potente. Actualmente, en Sudamérica se cuenta con pocos *supercomputadores* o centros de datos, a diferencia de Estados Unidos o China que cuentan con 116 y 219 *supercomputadores* respectivamente⁶¹. Lo anterior significa que los países de la región necesitan o bien invertir en este tipo de infraestructura o construir medios de transporte de datos que conecten los centros de investigación con *supercomputadores* extranjeros. Esta tecnología es escasa en Sudamérica,

⁶⁰<https://www.conicyt.cl/astrofísica/2013/03/13/alma-contara-con-supercarretera-digital-para-transmision-y-procesamiento-de-datos/>

⁶¹<https://www.xataka.com/ordenadores/china-tiene-219-500-supercomputadores-potentes-mundo-eeuu-dominan-top-10#:~:text=PRO-,%20China%20ya%20tiene%20219%20de%20los%20500%20supercomputadores%20m%C3%A1s%20potentes,EEUU%20domina%20el%20top%2010&text=La%20batalla%20dentro%20de%20la,de%20computo%20en%20el%20plana>

pero existen algunos *supercomputadores* operativos en la región⁶². En Brasil, líder de la región, destaca por las *supercomputadoras*: Santos Dumont (1,1 PetaFLOPS), Cimatec Yemoja (400 TeraFLOPS), Grifo04 (25,1 TeraFLOPS) y Tupa (214 TeraFLOPS). Por otra parte, Colombia tiene 2 *supercomputadoras*: Guane-1 y Apolo (5,8 TeraFLOPS). Argentina, al igual que Colombia, tiene 2 *supercomputadoras*: Tupac y Mendieta (14,7 TeraFLOPS). Ecuador tiene una supercomputadora, Yachay (350 TeraFLOPS). Y, finalmente, Chile con Guacolda-Leftrararu en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (266 TeraFLOPS).

5.3. Interconexión entre Centros de Investigación

Por último, se considera que la interconexión de centros de investigación es un factor relevante en cualquier área de investigación que trabaje con grandes volúmenes de datos y que pueda realizar proyectos de forma conjunta con colaboradores ubicados en distintas zonas del planeta. Enlaces rápidos y resilientes facilitan el transporte de datos, brindando mayor rapidez y continuidad a la investigación.

En cuanto a la industria científica y de investigación, Chile pertenece al *Global Science Forum*, liderado por la OCDE, el cual tiene por objetivo dar lineamientos sobre el avance en la ciencia en el mundo. En últimas versiones, el foro determinó los siguientes pilares fundamentales para impulsar el avance: 1) fortalecer el sistema científico interno con políticas que abarquen prioridades nacionales y permitiendo a los científicos participar en instancias internacionales; 2) promover la colaboración internacional en la ciencia, buscando el apoyo entre países para enfrentar problemáticas mundiales y; 3) promover el compromiso y la confianza en la ciencia como herramienta que dé pie a la toma de decisiones y la política pública. Se destaca, entre ellos, la firmeza con la que declaran la importancia de la colaboración internacional en la ciencia, lo que requiere no solo gestiones políticas y organizaciones, sino también de infraestructura digital que permita comunicar activamente los centros de investigación. La OCDE afirma que estos pilares son requisitos en el camino para alcanzar el desarrollo.

Un caso emblemático de cooperación es, nuevamente, la investigación en Antártica. A modo de ejemplo, Chile ha apoyado estudios de la *National Academy of Science* de Estados Unidos a través del transporte de datos y la solidaridad de la información recopilado en momentos en que los estadounidenses presentaban dificultades presupuestarias.

La robustez de redes de información y colaboración científica toma una alta relevancia especialmente en investigaciones en las que es sumamente difícil y costoso conseguir datos. Un ejemplo de esto son los observatorios astronómicos y, en específico, el caso del observatorio ALMA. Proyectos colaborativos como este dan acceso a grandes cantidades de información a múltiples investigadores en el mundo y se necesita de infraestructura digital, como el cable Humboldt, para enviar dicha información. El reciente éxito en obtener una imagen de un agujero negro necesitó de ocho radiotelescopios en distintos puntos del planeta que colaboraron y cursaron información para poder construir la imagen⁶³. Ese es un ejemplo de un avance científico

⁶² <https://www.nlhpc.cl/supercomputadoras-en-latinoamerica/>

⁶³ <https://www.almaobservatory.org/es/comunicados-de-prensa/astronomos-obtienen-primera-imagen-de-un-agujero-negro/>

que no hubiese podido realizarse sin colaboración y redes de transporte de información que interconectan investigadores.

La ciencia colaborativa ha logrado situar a Sudamérica en un marco de investigación internacional ya que permite “competir” en áreas específicas, como la astronomía y la biología y el cambio climático, en donde países como Chile y Argentina producen conocimiento de alto nivel. En ese sentido, el aumento de oferta de datos permite no solo acceder al conocimiento que se genera a nivel mundial, sino también generar sinergias en el avance de la ciencia, lo que desemboca en proyectos innovadores.

Muchas de estas sinergias destacan en la práctica en la Antártica, lugar inhóspito donde el éxito de las investigaciones depende en muchos casos de la colaboración internacional, por ejemplo, según el Instituto Chileno Antártico, equipos chilenos han apoyado el cumplimiento de investigaciones de largo plazo recogiendo datos en diversos lugares de la Antártica cuando equipos de otros países, como Estados Unidos o Argentina, no pueden alcanzarlos por razones logísticas, climáticas e incluso económicas.

Otro ejemplo sinérgico y que releva la importancia del fortalecimiento de la vinculación académica con la región Asia-Pacífico tiene que ver con la colaboración científica que se ha desarrollado en el marco de la pandemia de coronavirus en Chile y Brasil entre diversos centros científicos con el laboratorio Sinovac Biotech. En junio del 2020 instituciones universitarias de la región estaban firmando acuerdos para iniciar ensayos clínicos de tercera fase con este laboratorio⁶⁴. Sin embargo, mientras que la mayoría de los ensayos en tercera fase realizados en la región tenían que ver con vacunas procedentes de Estados Unidos y Europa, la escasez de oferta de estas vacunas no permitió, en una primera instancia, la inoculación masiva con ellas en la región, mientras que los lazos científicos con Asia terminaron trayendo importantes beneficios para los programas de vacunación de Chile y Brasil.

Factores habilitantes o pilares fundamentales que sustentan el desarrollo de la industria científica

5.4. Masa Crítica o Capital Humano

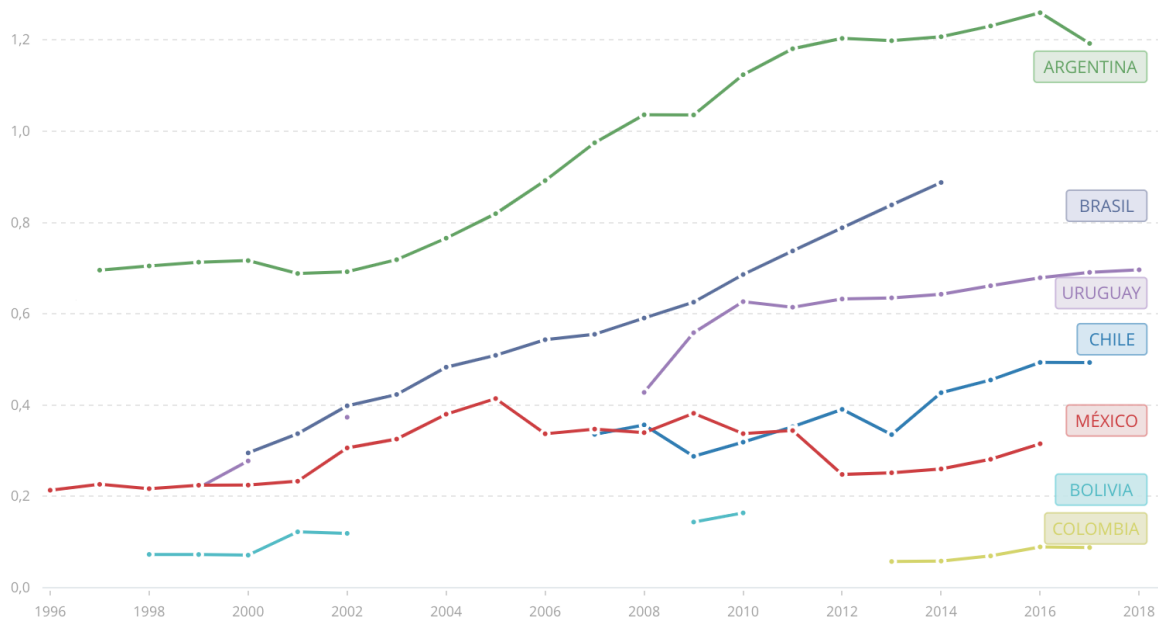
Un primer factor habilitante relevante para el desarrollo de la industria científica es la masa crítica o capital humano. Es evidente la necesidad de disponer de científicos e investigadores para poder concebir el avance de la ciencia, especialmente los profesionales altamente capacitados, como doctores y magísteres. Además, este factor es importante para el avance nacional de la industria científica ya que permite desarrollarse sin la necesidad de suplir con investigadores extranjeros.

Según un estudio realizado por la OCDE, los países Sudamericanos tienen un número promedio de investigadores bastante más bajo que los países OCDE, mientras los primeros presentan

⁶⁴<https://www.uc.cl/noticias/firman-acuerdo-entre-uc-y-laboratorio-chino-que-pretende-facilitar-acceso-de-chile-a-vacuna-contra-el-covid-19/>

niveles inferiores a un investigador por cada millón de habitantes, los países europeos presentan en promedio sobre 2,5⁶⁵. En otras palabras, en Sudamérica en general existe un déficit de investigadores en la industria científica.

Gráfico 5: Cantidad de investigadores por cada millón de habitantes



Fuente: Banco Mundial⁶⁶

Sin embargo, la calidad de las publicaciones de algunos países de Sudamérica es de nivel internacional. Según un estudio realizado por SCImago, Chile tiene 0,79 citaciones promedio por publicación y Argentina tiene 0,58, situándose sobre los países cercanos y similares en cuanto a desarrollo, pero debajo de los países desarrollados que alcanzan, en promedio, 1 citación o más.

Tabla 3: Cantidad de citaciones por publicación

País	Número de Publicaciones	Citaciones por publicación
Brasil	84.887	0,54
México	27.542	0,61
Chile	15.487	0,79
Argentina	14.580	0,68
Colombia	14.001	0,58

⁶⁵Banco Mundial. (2021). Investigadores dedicados a investigación y desarrollo por cada millón de habitantes. Abril 2021, de Banco Mundial Sitio web: https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.SCIE.RD.P6?end=2018&locations=CL-AR-BR-PE-BO-UY-CO-MX&name_desc=false&start=1996&view=chart

⁶⁶Banco Mundial. (2021). Investigadores dedicados a investigación y desarrollo por cada millón de habitantes. Abril 2021, de Banco Mundial Sitio web: https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.SCIE.RD.P6?end=2018&locations=CL-AR-BR-PE-BO-UY-CO-MX&name_desc=false&start=1996&view=chart

Ecuador	4.786	0,54
Perú	4.297	0,56
Estados Unidos	678.197	0,86
Reino Unido	212.519	0,98
China	684.048	0,8

Fuente: SCImago⁶⁷

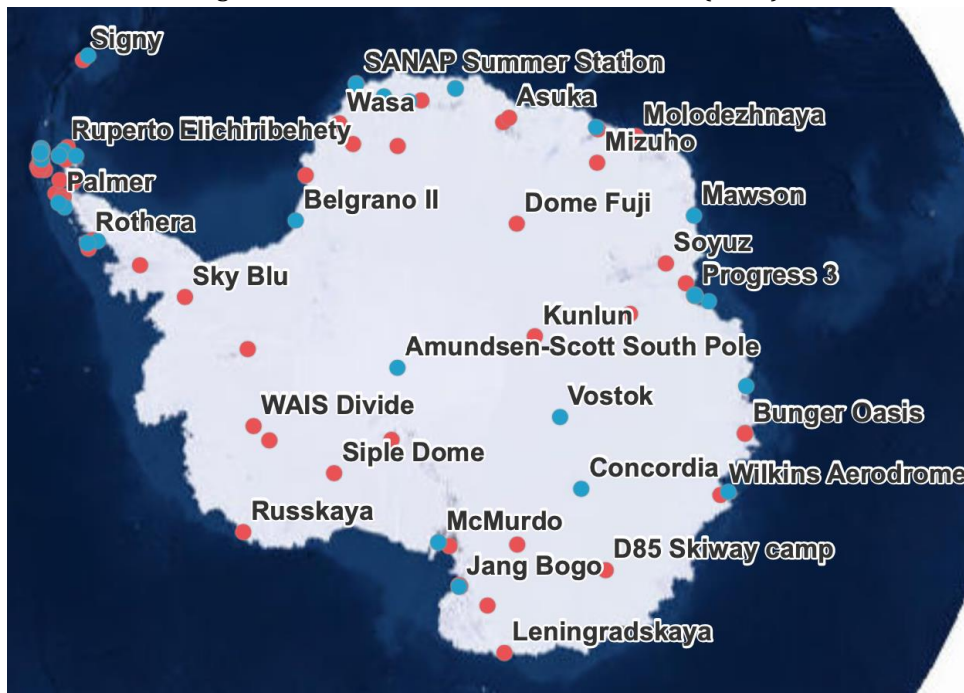
5.5. Presencia del Objeto de Estudio

Aunque resulte un aspecto bastante obvio y sobre el cual se tiene poco control, la presencia del objeto de estudio es un factor habilitante sumamente importante en el desarrollo de la ciencia, especialmente en las ciencias naturales. Sin contar con cielos como los que se encuentran en la zona de Atacama se vuelve imposible realizar observaciones astronómicas de calidad, o, sin contar con volcanes, no se podría estudiar volcanología en el país. Este factor puede resultar sumamente restrictivo o puede transformarse en una ventaja significativa y en un gran motivador para los avances científicos, como es el caso de Chile y varios países de Sudamérica.

La diversidad y la calidad geográfica de un país tienen el potencial de encauzar la dirección de los avances científicos y tecnológicos ya que simplemente hace factible o infactible ciertas áreas de investigación. Sudamérica, y en particular Chile, tienen una ventaja importante al contar con una calidad mundial de cielos para la observación astronómica, una variedad sumamente amplia en cuanto a hitos geológicos (cordones montañosos, volcanes, lagos, ríos, etc.), variedad de condiciones climáticas (desde desiertos hasta glaciares) y una gran variedad de flora y fauna. Además, Chile y Argentina destacan por su cercanía y presencia activa en Antártica, lugar altamente relevante en investigación geológica, biológica y climatológica, entre otras, a nivel internacional. Existen alrededor de 70 bases de múltiples países que invierten fuertemente en inversión científica en Antártica, lo que lo posiciona como un centro importante de actividad científica.

⁶⁷SCImago. (2019). SCImago Journal & Country Rank. Abril 2021, de SCImago Sitio web: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?year=2019@ion=Latin%20America>

Figura 7: Bases Internacionales en Antártica (2016)



Fuente: COMNAP Antarctic Facilities⁶⁸

Considerando lo anterior, contar con un alto nivel de infraestructura en los lugares en donde se cuenta con este tipo de características resulta relevante tanto para los investigadores locales como investigadores extranjeros que utilizan los datos recopilados. Una buena infraestructura permitiría almacenar una mayor cantidad de datos además de transportarlos rápidamente, en beneficio de la investigación en todo el mundo.

En este sentido, sudamérica tiene un valor importante que aportar al resto del mundo, particularmente en las ciencias naturales. Contar con estas características podría ser una motivación concreta para que países extranjeros inviertan en infraestructura local que, además de tener utilidad directa para los proyectos extranjeros, podría aprovecharse como infraestructura que beneficie el ecosistema digital para uso local. Además, lo mismo podría convertirse en un catalizador de generación de relaciones internacionales entre centros de investigación extranjeros con centros sudamericanos.

Un ejemplo concreto de lo anterior es nuevamente el caso del Observatorio ALMA. Es claro que la calidad única de los cielos en el norte de Chile se transformó en una motivación a que Japón, Estados Unidos y Europa invirtiesen en infraestructura. En esta negociación, el gobierno chileno logró reservar un 10% del tiempo de uso para investigadores locales, lo que demuestra la gran oportunidad que tiene el continente de aprovechar sus condiciones para beneficiar la investigación local y el desarrollo del ecosistema digital.

⁶⁸ COMNAP Antarctic Facilities. (2016). COMNAP Antarctic Facilities. Abril 2021, de COMNAP Antarctic Facilities Sitio web: <https://ucnz.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8663617ffa264e45aa3804d0d08fcd8>

5.6. Inversión

Un último factor relevante es la inversión, ya sea pública o privada, que se realiza en la industria científica. Las inversiones se requieren en los distintos niveles del proceso de investigación, ya sea infraestructura, capacitación o educación, herramientas, etc.

En varios países de Sudamérica, la inversión suele ser baja (según lo considerado por la OCDE⁶⁹), y se sitúa bajo el 1% de su PIB correspondiente. Países como Chile, Argentina y Brasil podrían, dado su nivel de ingreso, llegar a invertir más en investigación y desarrollo. Es común en varios de estos países, que la inversión pública supera la privada, asignando dicha responsabilidad directamente al Estado. Es más, en algunos países, como es el caso de Chile, la inversión ha disminuido en los últimos años, hecho que afecta negativamente el desarrollo tecnológico de la industria, tanto privada como científica. La siguiente tabla resume la información relevante.

Tabla 4: Inversión en CIT en la región

País	Inversión en CIT (como porcentaje del PIB de cada país)	Inversión neta (medido en dólares PPP)	Investigadores por cada millón de habitantes
Brasil	1,3%	\$40,518.5M	887
Argentina	0,6%	\$4.998,7M	1.206
Chile	0,4%	\$1.527,6M	427
Uruguay	0,3%	\$229.438,9k	642
Colombia	0,3%	\$1.910,2M	58
Ecuador	0,4%	827.103,8k	399

Fuente: UNESCO⁷⁰

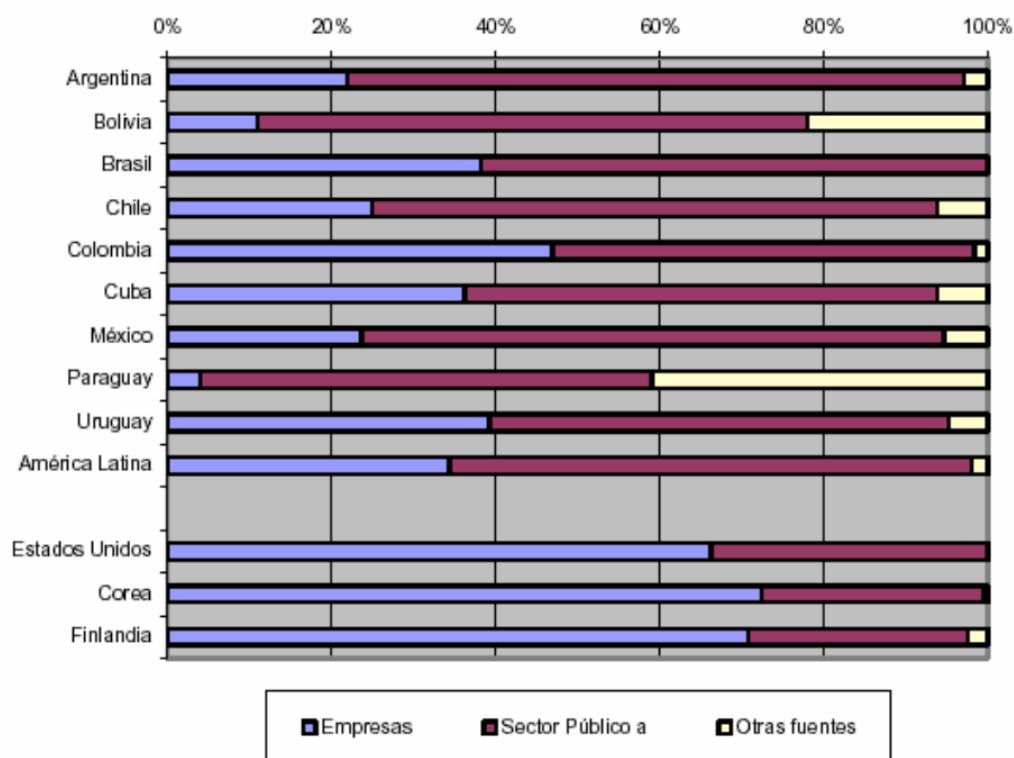
Últimamente, muchos países y sus comunidades científicas se han puesto como objetivo alcanzar una inversión del 1% del PIB en investigación y desarrollo dentro de los próximos años. Expertos comentan que existe una relación que plantea que los países que alcanzan el 1% de inversión lo hacen cuando la inversión privada supera a la estatal⁷¹ lo que podría generar un cambio de estrategia en cuanto a los mecanismos que los gobiernos implementan para alcanzar dicho objetivo. Esto se ve reflejado en el gráfico a continuación en donde países líderes en inversión, como lo son Estados Unidos, Corea y Finlandia, destacan por su alta participación privada. Lo anterior haría posible un financiamiento sostenible de la CIT a través del tiempo y requiere de marcos regulatorios e incentivos que motivan este tipo de comportamiento de parte de las empresas privadas.

⁶⁹ OCDE. (2017). Research and Development Statistics. Abril 2021, de OCDE Sitio web: <https://www.oecd.org/innovation/inno/researchanddevelopmentstatisticsrds.htm>

⁷⁰ <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/>

⁷¹ <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/>

Gráfico 6: Composición del gasto en investigación y desarrollo por fuente de financiamiento



Fuente: UNESCO, 2015⁷²

El gráfico anterior refleja la desconexión entre la industria privada y la investigación junto con la academia, en tanto el sector privado en Sudamérica presenta una baja participación en financiamiento de investigación. Además, en una entrevista con el Director de Relaciones Internacionales de la Universidad de Chile, Eduardo Vera, se destacó dicha desconexión y se discutió la posibilidad de reducir la brecha como mecanismo para impulsar la inversión en la región. En este ámbito, destaca lo anunciado por China en su último plan quinquenal en el que uno de sus objetivos que destaca en materia de ciencia y tecnologías es el impulso a la integración entre la academia y la industria.

Como se comentó anteriormente, los países líderes en investigación presentan una alta inversión privada, alcanzando el punto en que existen empresas que son las principales contratadoras de doctorados, destacando por sus aportes en las ciencias. Además, en algunos países de la región se ha visto una baja del nivel de inversión en los últimos años, lo que explica puede deberse a una baja de la participación privada⁷³. En general, existen dos caminos por los que una empresa decidiría invertir en investigación: en primer lugar, que la misma empresa alcance un nivel de sofisticación en el que se ve enfrentada a un problema complejo en el que sea claro que la investigación se traduzca en un beneficio, o, en segundo lugar, que existan incentivos que impulsen las asociaciones o proyectos público-privados de investigación y desarrollo, en los

⁷² UNESCO. (2015). Informe de la UNESCO sobre la Ciencia : hacia 2030. Mayo 2021, de UNESCO Sitio web: https://es.unesco.org/unesco_science_report/lac

⁷³ Iván Suazo. (2019). Doctorados industriales: vinculación academia-empresa. Mayo 2021, de La Tercera Sitio web: <https://www.latercera.com/opinion/noticia/doctorados-industriales-vinculacion-academia-empresa/820511/>

cuales, por lo general el Estado financia parte de los proyectos con el fin de aportar al bienestar social, fomentando el desarrollo científico en áreas determinadas.

6. Efectos del cable Humboldt en la Industria Científica

Como se mencionó anteriormente, la infraestructura digital local, regional e internacional se han vuelto cada vez más relevantes en la industria científica en un contexto de cooperación. En ese marco, el Cable Humboldt es una pieza importante ya que aporta directamente a la conformación de redes de información en cuanto proporciona una nueva ruta expedita hacia el sector asiático, el cual se destaca por su investigación a nivel internacional y cuenta con una oferta gigante de infraestructura (redes, supercomputadores, etc) de primer nivel. A continuación, destacamos dos potenciales efectos derivados de esta nueva conexión con Asia-Oceanía.

6.1. Cooperación con centros de investigación Asia-Oceanía

Una de las redes digitales académicas más grandes presentes en Asia y Oceanía es la “Asia Pacific Advanced Network”⁷⁴ (APAN), compuesta por dos grandes categorías de miembros, en las que los principales son las NREN’s de los países asociados (todos asiáticos), y otras entidades que compartan intereses con APAN.

APAN coordina actividades relacionadas con tecnologías, servicios y aplicaciones de redes entre sus miembros y con sus organizaciones internacionales pares. También es un impulsor clave en la promoción y facilitación de actividades de investigación y educación habilitadas en red, tales como colaboración en investigación, descubrimiento e intercambio de conocimientos, telemedicina y mitigación de desastres naturales.

Algunas redes académicas presentes dentro de esta gran red son: “Australia’s Academic and Research Network”, “Hong Kong Academic & Research Network”, “APAN-JP”, “Education & Research Network of India”, entre otros.

Es aquí donde el cable Humboldt ofrece una gran oportunidad para la ampliación de colaboración científica tanto para Chile, como los países de la región. Ya se ha argumentado sobre los beneficios de la investigación conjunta, y de los desafíos que presenta cuando son líneas de investigación intensivas en el uso de datos, tanto por el volumen, la velocidad a la que se producen y su posterior necesidad de procesamiento. Chile y cualquier otro país de la región, podría aportar tanto en las especialidades que se destaquen, como también en la generación de datos de alto valor, debido a su geografía, flora y fauna propia. A su vez, se puede aprender de los países asiáticos y oceánicos en las líneas investigativas en las que son pioneros.

⁷⁴<https://apan.net/about/>

Un caso concreto de este tipo de cooperación es el observatorio ALMA (el cual será mencionado más adelante), en donde los datos recopilados en Chile son enviados a los países cooperadores, entre ellos Japón.

6.2. Beneficios transversales para la investigación

Los efectos del Cable Humboldt en cada área de investigación no son diferenciados, sino más bien el cable submarino conlleva un efecto transversal de tecnologización de la industria científica y propicio de la cooperación a través de la conectividad de datos, lo que ya se destacó como un factor relevante. Al definir la necesidad transversal de la ciencia en la generación, almacenamiento y transmisión de grandes volúmenes de datos, esta se plasma de distintas formas según su aplicabilidad en cada rubro. Por ejemplo, algunas disciplinas, como la astronomía, se ven beneficiadas ya que en general los datos son generados en zonas remotas en las que no existen centros de almacenamiento o procesamiento de datos adecuados, por lo que transportar los datos es crucial. Por otra parte, disciplinas como el estudio del cambio climático, necesitan de altas capacidades de procesamiento que no se encuentran en la región, por lo que la conexión con supercomputadores asiáticos es muy importante. La constante dentro de estos escenarios es la necesidad de transportar información en un contexto de ciencia colaborativa, en donde el cable submarino es un aporte directo.

Un caso particularmente interesante es el de los estudios medioambientales y de cambio climático. Sudamérica, situada en el hemisferio sur, cuenta con una variedad asombrosa dentro de su ecosistema, completamente distinta a la que se observa en países del hemisferio norte. En otras palabras, los datos que levanta la ciencia en Sudamérica aportan real valor al desarrollo del conocimiento internacional. Datos recopilados en la Antártica, el Amazonas o la Cordillera de los Andes, son valorados por la comunidad científica internacional, por lo que es necesario contar con la infraestructura digital suficiente para generar estos datos y transportarlos a distintas partes del mundo para su análisis. La completitud de los datos a nivel global es esencial para lograr entender cabalmente el medioambiente y eso requiere de infraestructura en todos los lugares en donde se levantan datos. Este es el caso del supercomputador “The Earth Simulator” en Japón, el cual recopila información de todo el mundo para ser procesada por científicos que buscan generar nuevo conocimiento sobre la crisis climática.

7. Futuros Proyectos

7.1. BELLA

“Building the Europe Link with Latin America” (BELLA) es un proyecto en curso, anclado a la creación del cable EllaLink, proyecto que está instalando un cable submarino de fibra óptica entre Europa y Latinoamérica. Parte de la capacidad de la nueva infraestructura EllaLink está reservada para el uso exclusivo de la comunidad científica y académica, lo que beneficiará directamente a una serie de universidades a nivel latinoamericano. Específicamente, EllaLink posee una capacidad de 72 Tbps, de los cuales cerca del 9%, equivalente a 6,75 Tbps se ha adquirido por

BELLA para el uso exclusivo de investigación y educación (I+E)⁷⁵. Al crear la ruta directa más corta entre Europa y América Latina, evitando el paso por otros países, EllaLink reduce la latencia en un 50% respecto a la infraestructura actual, alcanzando un valor real de menos de 60ms entre Portugal y Brasil⁷⁶.

El programa BELLA cubre las necesidades de interconectividad a largo plazo de las comunidades de investigación y educación de Europa y América Latina. Esto se está logrando a través de dos acciones complementarias e interdependientes, estas son BELLA-S y BELLA-T⁷⁷.

- BELLA-S: Al asegurar los derechos de espectro en un cable submarino directo entre las dos regiones, BELLA-S cubrirá las necesidades de intercambio de datos transatlánticos de las comunidades de investigación y educación de Europa y América Latina durante el próximo cuarto de siglo. BELLA-S implementará capacidad suficiente entre las redes GÉANT y RedCLARA para satisfacer los requisitos de capacidad inmediatos y, posteriormente, podrá mejorar la capacidad según lo requiera la demanda.
- BELLA-T: Al completar la infraestructura de la red de fibra óptica terrestre de RedCLARA, se logrará una mejora significativa de la columna vertebral de investigación y educación de América Latina. Esta mejora garantizará que el enorme paso adelante de la capacidad transcontinental se distribuya uniformemente en toda la región y, a través de las sinergias con las National Research and Education Network (NREN) latinoamericanas, mejorará la capilaridad y el acceso equitativo a los servicios intercontinentales para todos los usuarios finales de investigación y educación en América Latina.

Sigue que, en términos de financiamiento, este proviene de la Unión Europea a través de tres Direcciones Generales de la Comunidad Europea (DG CONNECT⁷⁸, DG DEVCO⁷⁹ y DG DEFIS⁸⁰) y por la comunidad NREN de América Latina. La financiación total del programa BELLA asciende a aproximadamente 40 millones de euros, 25 millones de euros aportados por la Unión Europea y 15 millones de euros aportados por la comunidad NREN latinoamericana. Además, las NREN latinoamericanas aportan contribuciones en especie a través de la infraestructura nacional por un valor de aproximadamente 25 millones de euros.

A continuación, se describe la topología de red que busca alcanzar este proyecto, según informa el sitio oficial, a través de su sección "MEDIA"⁸¹:

⁷⁵<https://www.redclara.net/index.php/en/noticiasyevenos/noticias/2231-bella-the-ellalink-cable-between-south-america-and-europe-and-the-future-expansion-of-redclara>

⁷⁶ <https://www.reuna.cl/2021/01/06/el-cable-submarino-transatlantico-de-ellalink-anclo-en-portugal/>

⁷⁷ <https://bella-programme.redclara.net/index.php/en/about-bella/the-bella-programme>

⁷⁸ Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. Véase https://ec.europa.eu/info/departments/communications-networks-content-and-technology_en

⁷⁹ Directorate-General for International Partnerships (ex DEVCO). Véase https://ec.europa.eu/info/departments/international-partnerships_en

⁸⁰ Directorate-General for Defence Industry and Space (DEFIS). Véase https://ec.europa.eu/info/departments/defence-industry-and-space_en

⁸¹ <https://bella-programme.redclara.net/index.php/en/dissemination/bella-brochures-and-maps>

Figura 8: Topología de red BELLA



Fuente: bella-programme.redclara.net

Luego, con respecto al estado actual del proyecto, destaca la conexión transatlántica del cable EllaLink, que cual se encuentra en estado completo. Según lo declarado el 9 de marzo de 2021 en el sitio oficial de BELLA⁸²; después de varios años de planificación, adquisición, preparación y construcción, está listo el empalme final, y, por tanto, el fin de la conexión de los nuevos 6 mil kilómetros del cable submarino EllaLink, que une directamente Europa y América Latina.

Por el lado terrestre del proyecto, BELLA ya cuenta con su primer enrutador instalado. El 24 de febrero de 2021, el Gerente Técnico de RedCLARA, Marco Teixeira, visitó el *datacenter* de Equinix-São Paulo (Brasil), donde se llevó a cabo la instalación del primer equipo enrutador para BELLA-T. Imagen que se adjunta a continuación:

⁸² <https://bella-programme.redclara.net/index.php/en/component/content/article/99-ultimas-noticias-2021/228-ellalink-cable-construction-complete?Itemid=437>

Figura 9: Primer enrutador terrestre BELLA-T



Fuente: bella-programme.redclara.net

El nuevo equipo pasó a ser parte de la troncal de RedCLARA, y su función será conectar a la red académica brasileña, RNP, a mayor capacidad y conectar los enlaces que van a Argentina y Chile. De acuerdo a Marco Teixeira, *“este cambio nos permitirá recibir los enlaces de 100G y representa un incremento gigantesco a nivel de capacidad de ruteo. Solo para que tengas idea de la capacidad, hoy el router en operación tiene instalado 120G por segundo y el nuevo es de 2.4Tbps por segundo; un incremento de 1900% si miramos el actual”*⁸³.

Adicionalmente, se declara que desde el 9 de marzo de 2021, se encuentra abierta la llamada al **quinto y último Proceso de Licitación** de Infraestructura y Servicios de Telecomunicaciones para reforzar la troncal de RedCLARA en el tramo que une a las redes nacionales de investigación y educación (RNIE) de Ecuador, Panamá y Brasil⁸⁴. La licitación, busca obtener derechos de uso irrevocable a largo plazo del espectro de la infraestructura de telecomunicaciones de la red DWDM. Se espera firmar contratos por Derechos Irrevocables de Uso (IRUs) por un período de 15 años, en uso de canales ópticos. Con esto, se daría finalización a la BELLA-T, pudiendo operar en un 100% el proyecto.

Finalmente, para una mejor caracterización del proyecto, se describen casos de uso, donde se evidencia el impacto que generará BELLA. En primer lugar, estos son el Cherenkov Telescope Array (CTA) y el Copernicus Earth Observation.

7.1.1. Cherenkov Telescope Array (CTA)

Cherenkov Telescope Array (CTA) será el observatorio terrestre más grande y más sensible del mundo para la astronomía de rayos gamma a energías muy altas, con más de 100 telescopios ubicados en dos sitios en los hemisferios norte y sur. El sitio de CTA en el hemisferio norte estará

⁸³ <https://www.redclara.net/index.php/es/noticiasyevenos/noticias/2248-fase-terrestre-de-bella-ya-cuenta-con-su-primer-enrutador-instalado>

⁸⁴ <https://bella-programme.redclara.net/index.php/en/component/content/article/99-ultimas-noticias-2021/229-bella-project-announces-the-fifth-and-last-infrastructure-tender-for-its-terrestrial-phase?Itemid=437>

ubicado en la isla de La Palma, España, mientras que, el sitio del hemisferio sur estará cerca de Paranal, Chile. Otras ubicaciones europeas son Alemania, donde se llevará a cabo la gestión de datos, e Italia. CTA, el primer observatorio en el mundo de su tipo, será accesible a las comunidades astronómicas y de física de partículas globales y abordará algunos de los mayores misterios de la astrofísica, detectando rayos gamma con una sensibilidad sin precedentes y expandiendo diez veces el catálogo de fuentes cósmicas⁸⁵.

Para un correcto funcionamiento de CTA, es necesaria una red de transmisión de datos que conecte los observatorios en ambos hemisferios con el centro gestor de datos ubicado en Alemania. Por ello, es necesaria una red dedicada a la transferencia de datos desde Chile al centro de gestión de datos en Alemania y que, además, satisfaga otros flujos de tráfico entre Europa y América Latina. Afortunadamente, y gracias al programa BELLA y las colaboraciones de NREN en América Latina, será posible satisfacer las demandas de infraestructura y las grandes necesidades de intercambio de datos de CTA, siendo BELLA un habilitante para la Astronomía colaborativa a nivel mundial.

REUNA, la NREN chilena, cuya red troncal tiene espectro y fibra actualmente iluminada a múltiplos de 100 Gbps, planea poder aumentar las capacidades disponibles colaborando con CTA para desarrollar conectividad para la última milla y busca desempeñar un papel de coordinación para la entrega de la fibra requerida. En particular, la conexión entre Antofagasta y Santiago está protegida con conectividad de respaldo para garantizar la máxima disponibilidad del servicio, lo que debe garantizar el intercambio de datos ininterrumpido para CTA.

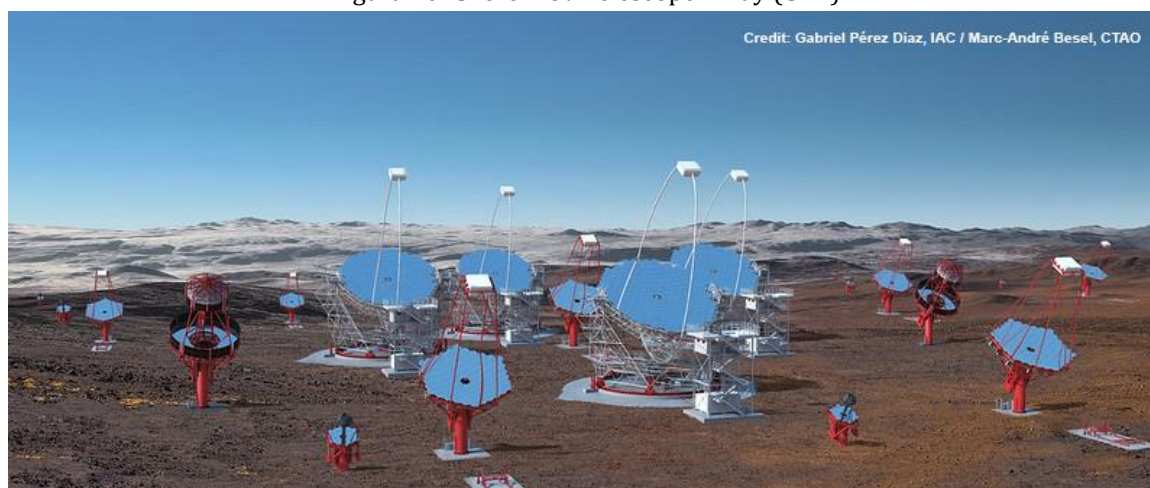
Por lo tanto, BELLA cubre completamente las necesidades de ancho de banda de CTA para la transferencia de datos entre el sitio de Southern Array y los centros de datos europeos, permitiendo además reducciones considerables de costos en comparación con la infraestructura de conectividad que ha estado disponible hasta el día de hoy.

Nadine Neyroud, Líder de Infraestructura de TIC del Observatorio de CTA dice: *“Comprender nuestro universo es uno de los objetivos ambiciosos de CTA y proyectos como BELLA, al facilitar la colaboración científica global, traerán beneficios inimaginables y sin precedentes a nuestra iniciativa”*⁸⁶.

⁸⁵ <https://bella-programme.redclara.net/index.php/en/component/content/article/95-use-cases/226-bella-impact-large-data-exchanges-and-high-capacity-connectivity-will-enable-the-cherenkov-telescope-array-cta-to-open-a-new-window-to-the-universe?Itemid=437>

⁸⁶ Ídem

Figura 10: Cherenkov Telescope Array (CTA)



Fuente: bella-programme.redclara.net

7.1.2. Copernicus Earth Observation

Copernicus es el programa de observación de la Tierra de la Unión Europea, que busca observar nuestro planeta y su medio ambiente en beneficio de todos los ciudadanos europeos. Ofrece servicios de información que se basan en la observación de la Tierra por satélite y en datos in situ (no espaciales). La Comisión Europea gestiona el Programa y se implementa en asociación con los Estados miembros, la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF), Agencias de la UE y Mercator Océan⁸⁷.

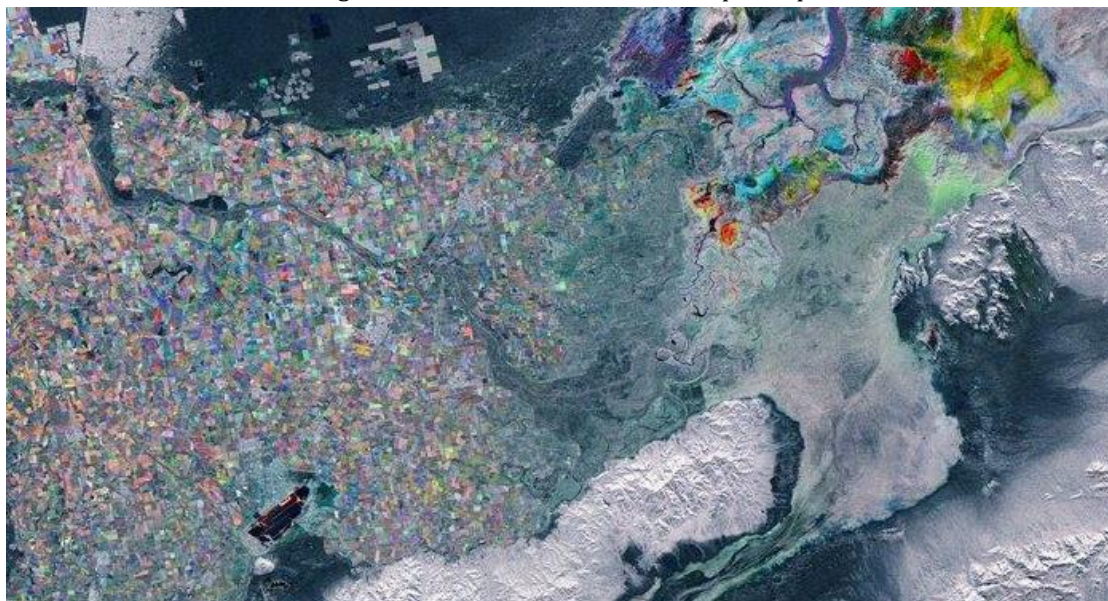
Las Redes Nacionales de Investigación y Educación (NREN) de América Latina, como las de Brasil, Chile, Ecuador y muchas otras, están conectadas a RedCLARA, la red regional de investigación y educación de América Latina. Las NREN a menudo interconectan agencias gubernamentales, ministerios, investigadores académicos y científicos, todos los cuales requieren datos de observación de la tierra (Earth Observation EO sus siglas en inglés) a alta velocidad y sin los problemas de latencia causados por la ruta de conexión actual a Copernicus a través de América del Norte.

El cable EllaLink de BELLA, reducirá la distancia de conexión actual a través de América del Norte en aproximadamente un 300% y reducirá en gran medida los costos de conectividad. A partir de una conexión inicial de 100 Gbps entre RedCLARA y GÉANT, junto con una conexión adicional de 100 Gbps para el tráfico de Copernicus, el sistema puede escalar a 4,5 Tbps, suficiente para la colaboración de investigación y educación durante los próximos 25 años. Es por ello que no se trata solo de velocidad: la latencia, la demora entre el navegador y el servidor, se reduce en gran medida como resultado de la distancia de conexión mucho más corta proporcionada por BELLA. Específicamente se declara:

⁸⁷ <https://bella-programme.redclara.net/index.php/en/component/content/article/95-use-cases/221-bella-impact-latin-america-can-tackle-climate-emergencies-with-high-speed-and-reliable-access-to-vital-copernicus-earth-observation-data?Itemid=437>

“Sin conectividad a una Red Nacional de Investigación y Educación, un trabajador de emergencia en América Latina que mapee una región de 500 km² podría esperar 60 minutos para descargar datos críticos. Con la finalización de BELLA en 2021, la conectividad NREN de alta velocidad entregará esos mismos datos en solo 7 minutos”⁸⁸.

Figura 11: Visión satelital realizada por Copernicus



Fuente:

bella-programme.redclara.net

7.2. Antártica

En mayo de 2019, el presidente Sebastián Piñera sorprendió a la comunidad científica que trabaja en la Antártica al anunciar intenciones de llegar con conectividad de fibra óptica al continente helado para cumplir su misión de “*estar a la vanguardia de la sociedad del conocimiento y la información*”.

La Antártica es una valiosa fuente de ecosistemas naturales, provisión de agua dulce y conocimiento en general, que alberga especies y fenómenos poco habituales en otras zonas del mundo, debido a sus condiciones geográficas, climáticas y de poca intervención humana. Por este motivo es que varios países del mundo tienen proyectos de investigación en dicho continente.

Chile cuenta con el Instituto Antártico Chileno (INACH), que trabaja con alrededor de 350 investigadores en unos 100 proyectos actualmente en ejecución, lo que involucra 23 instituciones nacionales y 30 extranjeras. Son siete las líneas de investigación que lleva a cabo la institución a través del Programa Nacional de Ciencia Antártica (PROCIEN): Estado del ecosistema antártico; Umbrales antárticos; Cambio climático en la Antártica; Astronomía y Ciencias de la Tierra; Biotecnología; Huellas humanas en la Antártica y Ciencias Sociales y Humanidades.

⁸⁸ ídem

Las contribuciones al conocimiento y las aplicaciones derivadas son de gran valor para el desarrollo humano tanto en el país, como en el mundo. Por nombrar algunos aportes, se sabe que la mayoría de los minerales del mar de los cuales se nutren las especies marinas provienen de las aguas antárticas, por lo que el estudio de las dinámicas de las corrientes marinas cercanas son un clave determinante para el crecimiento y reproducción de especies que se usan para el consumo humano. Saber cuál será la producción en la industria pesquera para un determinado periodo brinda un gran valor al dar certeza a los productores, y también sirve para tomar medidas en políticas regulatorias respecto a la preservación de especies. Otro aporte ha sido el estudio del agujero de la capa de ozono en Antártica y su relación con las precipitaciones en el hemisferio sur. *“En otras palabras, confirmamos que la Antártica no sólo establece las tendencias climáticas de largo plazo en nuestro hemisferio, sino que determina la meteorología interanual: la intensidad de las lluvias en el verano austral, dependen de la profundidad del agujero de ozono que se da sobre Antártica cada año”*, dice el Dr. Raúl R. Cordero, uno de los investigadores dedicado al estudio de la capa de ozono.

En general, una de las aristas del valor del conocimiento sobre el continente antártico, deriva del hecho de que el mundo está conectado como un gran ecosistema y, por tanto, lo que suceda en los alrededores del continente termina afectando otras zonas del planeta, lo que puede tener consecuencias en el desarrollo de la humanidad. Así, toma relevancia la investigación realizada como captadora de valor para temas económicos para los países al desarrollar modelos predictivos.

Según una entrevista realizada a Marcelo Leppe, director de INACH, del total de datos producidos en la Antártica por parte de Chile, *“un 20% es analizado en el mismo continente y el 80% restante es transportado al país”*. La gran mayoría de estos datos son recogidos dos veces al año en forma física, y algunos son transportados digitalmente de forma satelital. El transporte físico posee claras desventajas en comparación a un transporte digital: la frecuencia con la que se disponibiliza es infinitamente más baja (dos veces al año versus información en tiempo real); posee un mayor riesgo de pérdida de un gran paquete de datos y tiene menos seguridad en cuanto a una manipulación malintencionada de la información.

Desde hace más de seis años, se ha discutido la posibilidad de crear conexión de fibra óptica entre el Chile continental y antártico para suplir las necesidades de transferencia y procesamiento de datos. Si bien, los sensores actualmente utilizados y las otras formas de muestreo no suelen recoger una cantidad muy elevada de información en tiempo real, la investigación y desarrollo de aplicaciones podría estar subdesarrollada debido al lento proceso de obtención de datos, imposibilitando cualquier aplicación que requiera datos en tiempo real, y disminuyendo el interés por aprender del continente helado.

Son muchos los beneficios que tiene una conexión con fibra óptica. Como bien se dijo anteriormente, la transmisión de datos sería en tiempo real, lo que acelera la investigación y podría atraer a más investigadores e incentivar el desarrollo de nuevas aplicaciones que requieran data en tiempo real. Se ganaría eficiencia al enviar sólo a personal técnico para manejar los equipos necesarios, y no necesariamente al investigador para recolectar datos. Se facilitaría la telemedicina que es esencial para las personas que habitan la Antártica, tanto para tratar

enfermedades físicas, como psicológicas. La información sería más confiable y se disminuiría con creces su riesgo de pérdida o de manipulación malintencionada.

Cabe resaltar que probablemente no haya alguna iniciativa privada que quiera construir este enlace de fibra óptica hacia el continente helado, debido a que no se identifica una alta demanda por tráfico⁸⁹ (comparado, por ejemplo, a abastecer de internet una ciudad) y por tanto no habría rentabilidad: la construcción del cable es altamente costosa y habilita a una alta capacidad de transmisión (varios Gbps), lo cual puede ser un ancho de banda demasiado elevado para las necesidades actuales de transmisión de datos generados en el continente helado. Si los planes contratados por las instituciones que realizan investigación son de baja capacidad, el operador del cable no podría rentabilizarlo. Esto no quiere decir que no deba impulsarse esta iniciativa, ya que la investigación en sí, y la mejora de infraestructura que disponibiliza de forma más eficiente los datos tienen grandes beneficios al desarrollo del país y la humanidad en general.

El 16 de abril de 2021, el Grupo Datco (holding integrado por empresas dedicadas a las telecomunicaciones y TI), anunció que proyecta un cable submarino a la Antártica cuyo costo será superior a 30 millones de dólares⁹⁰. Grupo Datco desembolsará un total de dos millones de dólares para hacer el estudio de factibilidad mientras busca más socios para llevar a cabo el proyecto.

8. Observatorio ALMA: Caso de estudio

Un caso relevante en cuanto al manejo de datos en la industria científica y de investigación es el caso del observatorio ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) ubicado en la zona de San Pedro de Atacama en el norte de Chile. Este es un proyecto en colaboración internacional entre NRAO (National Radio Astronomy Observatory, Estados Unidos), ESO (European Southern Observatory, Europa) y National Astronomical Observatory of Japan (Japón) y tiene como objetivo construir un gran centro de medición astronómica en un lugar extremadamente ventajoso en cuanto al nivel de visibilidad espacial⁹¹.

El proyecto consta de 66 antenas que funcionan sincrónicamente (interferometría) recopilando distintas mediciones en un rango de espectros de radiofrecuencia que permiten generar análisis de gran especificidad una vez procesadas por equipos de astrónomos. Estas antenas capturan información las 24 horas del día durante todo el año por lo que la cantidad de datos producidos es de gran escala. Actualmente, ALMA genera 200 TB al año en información para ser procesada. Expertos estiman que esta cantidad aumentará sustancialmente en el corto plazo a medida que se utilicen instrumentos de mayor precisión y mejore la capacidad de procesamiento. El siguiente gráfico muestra la cantidad total de información generada por ALMA que se almacenó durante un ciclo⁹² de operación. El gráfico diferencia la *raw data* (data cruda), es decir, la información directa

⁸⁹ Los sensores suelen recopilar datos de poco peso. Las imágenes suelen ser el tipo de información de mayor escala.

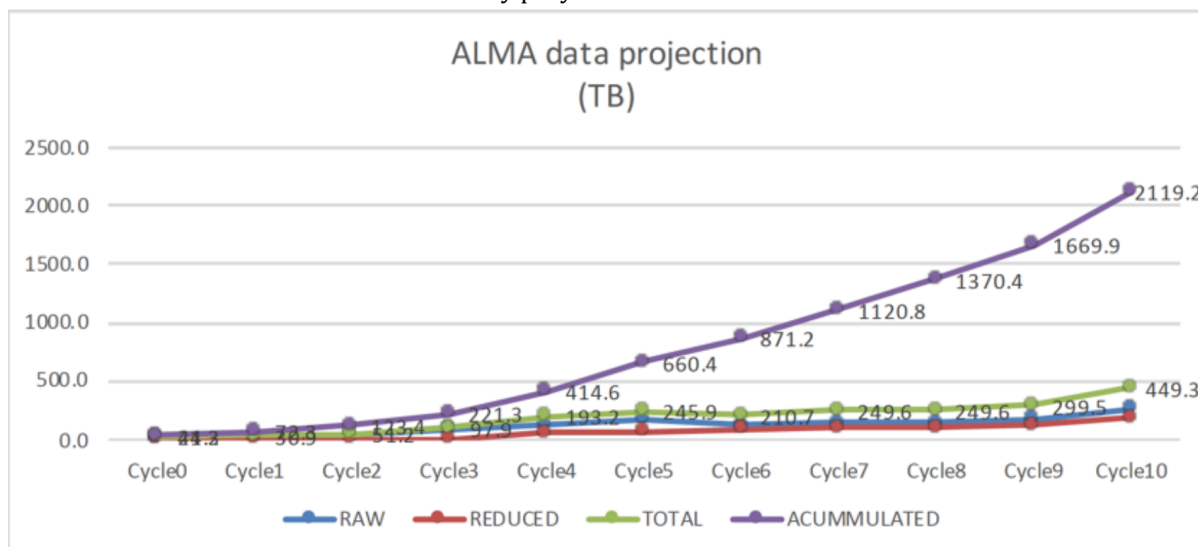
⁹⁰ <https://www.silicaneetworks.com/es/grupo-datco-presento-trafico-seguro-frente-al-aumento-de-ataques-de-ramsonware-duplicate-1/>

⁹¹ ALMA. (2007). Origins. Marzo 2021, de ALMA Sitio web: <https://www.almaobservatory.org/en/about-alma-at-first-glance/origins/>

⁹² ALMA funciona en ciclos de operación de alrededor de un año definidos por los proyectos de investigación que utilizan dichos datos.

rescatada de los telescopios, versus la *reduced data* (data reducida), la cual tiene un menor tamaño luego de procesar los datos crudos recopilados.

Gráfico 7: Historial y proyección de uso de datos en ALMA



Fuente: ALMA data rates and archiving at the NAASC, NAASC Memo 110 (v5.1), ALMA Archive Review, 2019

El desafío que enfrenta ALMA en cuanto a los datos, es la manera de transportarlos para que científicos alrededor del mundo puedan hacer investigación basada en la información recopilada en uno de los lugares más remotos del mundo. Actualmente, utiliza un circuito de fibra óptica que integra tramos propios, tramos comerciales y tramos asociados a REUNA. El primer tramo, desde ALMA hasta Calama, recorre 150 km y utiliza una fibra óptica oscura instalada el 2017. El segundo tramo, desde Calama hasta Antofagasta, recorre 200 km y utiliza una red comercial operada por Telefónica. El tercer y último tramo, desde Antofagasta hasta Santiago, recorre 1.300 km y utiliza instalaciones de REUNA para finalmente alcanzar el centro de investigación y almacenamiento de datos ubicado en Vitacura. La siguiente tabla resume los tramos que recorren los datos además de las capacidades que presentan, lo que evidencia que ALMA posee una conexión a Santiago con una capacidad de 2,5G.

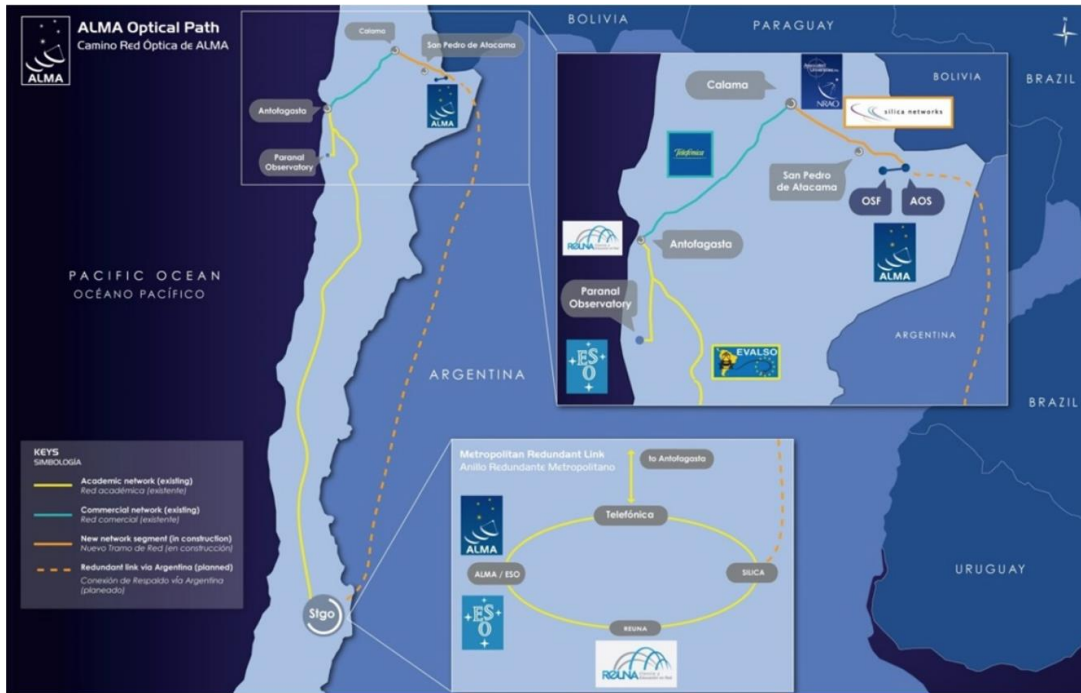
Tabla 5: Tramos de transmisión con capacidades asociadas

Tramo	Capacidad	Distancia
Chajnantor - Calama	Fibra, hoy alumbrada a 10G	150 km
Calama - Antofagasta	Lambda de 10G	200 km
Antofagasta - Santiago	Sub Lambda de 2,5G	1.300 km

Fuente: Filippi, Saldias & Ovando, 2016

Además del recorrido mencionado, el proyecto cuenta con una ruta alternativa de respaldo que transita por Argentina. Gráficamente, el recorrido que realizan los datos de ALMA diariamente se ilustran en la siguiente figura.

Figura 12: Recorrido nacional de datos de ALMA



Fuente: G.Filippi, J.Ibsen, S.Jaquec, F.Liellod, C.Navarroe. (2016). ALMA communication backbone in Chile goes optical.

Por otra parte, una vez que los datos están almacenados en Santiago, es necesario transportar los datos a todos los centros de investigación internacionales asociados al proyecto, es decir, Estados Unidos, Europa y Japón. Para lograrlo, el centro de investigación en Santiago utiliza redes científicas instaladas en la región, por ejemplo, RED CLARA para lograr llegar a Estados Unidos y Brasil, y luego la red BELLA que conecta Brasil con Europa. Lo anterior se ilustra en la siguiente figura.

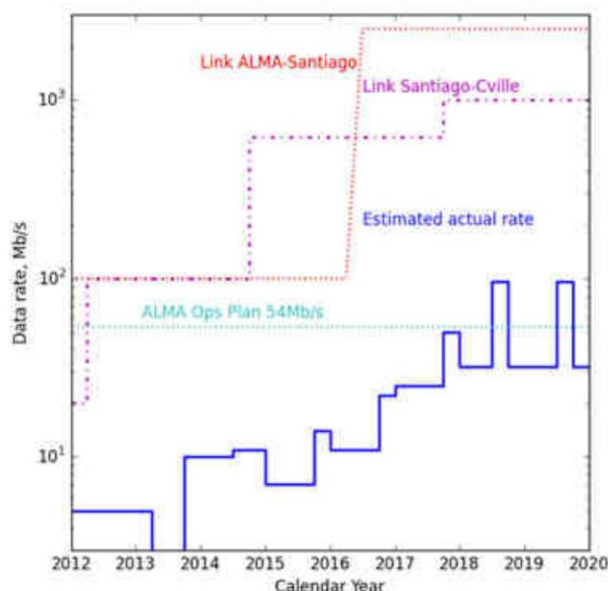
Figura 13: Recorrido internacional de datos de ALMA



Fuente: G.Filippi, J.Ibsen, S.Jaquec , F.Liellod , C.Navarroe. (2016). ALMA communication backbone in Chile goes optical.

Cabe destacar la particularidad que tiene la transmisión de datos científicos en fibra óptica en estos contextos. En general, este tipo de transferencias tienen una media que no refleja completamente las tasas de transmisión debidos a que usualmente se identifican *peaks* de transmisión. En el caso de ALMA, se observa una media de alrededor de 50 Mbps hasta 100 Mbps y se observan *peaks* de entre 200 y 400 Mbps⁹³. Esto complica la transmisión ya que las redes deben estar preparadas para soportar esta alta variabilidad en las tasas de transmisión. El siguiente gráfico resume las tasas de transmisión de datos observadas.

Gráfico 8: Tasa de transmisión de datos en ALMA



Fuente: Halstead, 2016

El caso del observatorio ALMA es una aproximación útil para entender el nivel de sofisticación e inversión que puede requerir la industria científica, específicamente aquellas disciplinas que son intensivas en datos, como lo es la astronomía. Como fue mencionado, expertos estiman que la intensidad del uso de datos de estas disciplinas aumentará drásticamente en la medida que los investigadores busquen responder preguntas cada vez más complejas y a medida de que la tecnología (instrumentos e infraestructura) permita obtener la información requerida para contestar dichas preguntas. Este ciclo virtuoso de curiosidad científica y desarrollo tecnológico se ha visto potenciado en las últimas décadas y ha requerido de grandes inversiones para avanzar las que, seguramente, seguirá necesitando.

9. Recomendaciones de Política Pública

La Antártica tiene una relevancia científica muy relevante debido a su importancia en las nuevas investigaciones sobre el cambio climático y la biología. Sus datos son imprescindibles para la

⁹³ Filippi, Saldias & Ovando, 2016

comprensión de la crisis climática actual, sus consecuencias y las posibles soluciones. Asimismo, este fenómeno está siendo central y está orientando el desarrollo de la ciencia de los próximos años.

La región cuenta con importantes ventajas para establecer una conexión directa con la Antártica y de esta forma, tener un canal directo de obtención de estos datos. Conectar el continente blanco con Chile o Argentina implica la instalación de un cable submarino de aproximadamente 1000 kilómetros de largo, lo que es significativamente menor a lo necesario desde Australia (aprox. 8.000 km) o Sudáfrica (aprox. 5000 km). Lo anterior, sitúa a la región en una posición de ventaja que les permitiría transmitir datos que, como se ha planteado, son de gran valor para la ciencia a nivel internacional.

Por otra parte, existen otras razones a relevar para disponer de un cable de fibra óptica hacia la Antártica, entre ellas las de carácter geopolítico, en particular considerando la importancia estratégica para la región de la Antártica y sus recursos.

Otro punto importante en materia de política pública tiene que ver con la relevancia de la inversión en ciencia y tecnología. Como se mencionó en este informe, alcanzar un alto nivel de inversión que permita impulsar el desarrollo científico requiere de un esfuerzo tanto público como privado. En muchos países de Sudamérica este no es el caso, ya que usualmente es el Estado de cada país quién más invierte. Esto puede ser producto de distintas causas, sin embargo, se identifica que una de las más relevantes es la desconexión entre la industria y el ámbito científico. El entorno competitivo mundial ha mostrado la necesidad de establecer políticas públicas que incentiven esta relación, generando innovaciones disruptivas que generen una mayor cantidad de valor. Una política pública que se esfuerce en reconstituir dicha conexión entre la ciencia y la industria y que active un círculo virtuoso de necesidades y soluciones podría atraer inversión privada a la ciencia, generando avances tecnológicos que se traduzcan en desarrollo transversal. La experiencia internacional ha demostrado que una posibilidad es fomentar asociaciones y proyectos de investigación que respondan a stakeholders variados (públicos y privados)⁹⁴. Este tipo de asociaciones ha permitido integrar la industria con la academia al formar equipos de trabajo mixtos que, bajo un mismo objetivo, colaboran para producir investigación aplicada y así construir el círculo virtuoso antes mencionado.

Otro aspecto a considerar es el valor que la región posee en cuanto a la presencia del objeto de estudio, especialmente en las ciencias naturales, y como aquello podría traducirse en mayor colaboración con el extranjero. Como se mencionó anteriormente, la región cuenta con características especiales (como calidad de cielos, variedad geográfica y zonas extremas) que son valoradas tanto por la investigación local como por la investigación internacional. Lo anterior podría instalarse como un fuerte motivador de colaboración científica con el extranjero ya que se produce un objetivo común que puede aprovecharse para generar vínculos en materia de desarrollo de infraestructura, acceso a nuevas tecnologías y colaboración científica. Aunque esto sería válido para muchos países extranjeros, es especialmente relevante en el caso de Asia y en el

⁹⁴ Tetyana Basse. (2015). Drivers behind Public-Private Partnerships: An explorative case study of four SOS Children's Villages partnerships: Xellia, Solar, Delta and Siemens. Mayo 2021, de Copenhagen Business School Sitio web: <https://research.cbs.dk/en/studentProjects/1a45eaa8-83ce-407a-8a84-aeb34ad94012>

contexto de cambio climático, en donde esta característica propia de Sudamérica podría utilizarse para gatillar una serie de nuevas colaboraciones, hasta ahora escasas, con líderes mundiales en investigación.

Por otro lado, se recomienda estudiar en mayor detalle el proyecto BELLA e intentar realizar una extrapolación hacia el Cable Humboldt. Como se ha analizado en el capítulo de **Futuros Proyectos**, BELLA-S corresponde a un porcentaje del cable ELLALink, dedicado exclusivamente a investigación y educación, es decir, a redes académicas. Con ello, se proyecta obtener importantes beneficios en términos de investigación y colaboración internacional, como es el caso de Cherenkov Telescope Array (CTA) y Copernicus Earth Observation, analizados en el documento. En términos económicos, BELLA aprovecha el proyecto ELLALink que realizará la inversión de mayor envergadura, comprando solo un porcentaje del mismo. De esta manera, aprovecha la infraestructura generada por otras entidades, sólo captando la capacidad que requiere, comprando a precio mayorista y agrupando demanda tanto desde Europa con su red GÉANT, como desde Latinoamérica a través de RedCLARA. A su vez, es relevante destacar el financiamiento y colaboración en conjunto, que aporta tanto la Unión Europea como LATAM, generando un beneficio mutuo.

En línea con los párrafos anteriores, se recomienda evaluar contratar a perpetuidad una fracción del cable de Humboldt, la cual se dedique exclusivamente a redes académicas. Es relevante notar que dicho proyecto no es realizable exclusivamente por REUNA (NREN chilena), sino que requiere de la colaboración de RedCLARA en conjunto con las redes oceánicas y/o asiáticas, como por ejemplo APAN. Con ello, se busca fortalecer la colaboración y mejorar las conexiones entre los extremos involucrados, pudiendo esto tener una serie de beneficios a estudiar.

Adicionalmente, según el análisis realizado en el subcapítulo **Caso de uso: Rol de redes académicas en África**, donde el Banco Mundial realiza recomendaciones de políticas públicas para los gobiernos africanos, se puede extrapolar dicho caso al contexto sudamericano. En esta línea, la mayoría de los países ya poseen NRENs, sin embargo, aún es posible potenciar aún más su desarrollo y obtener mejores redes en términos de capacidad y resiliencia.

Para el caso sudamericano, se recomienda en primer lugar distinguir legalmente las NRENs de los ISPs o proveedores privados, para así no generar conflictos en términos de libre competencia, entrega de subsidios u otras políticas y regulaciones. Con ello, se asegura explícitamente que las NREN no sean competidores del sector privado y se dediquen exclusivamente a investigación y desarrollo.

A los países que aún no desarrollan formalmente sus NRENs, como Bolivia y Paraguay, se recomienda la implementación de subsidios o financiamientos, que permitan cubrir parte de la inversión inicial necesaria para llevar a cabo una NREN. Luego, por lo general los miembros son quienes financian los costos operacionales, siendo este un camino posible y que ha funcionado en el caso africano.

Para los países que ya han desarrollado sus NRENs, como Chile, Argentina, Brasil, entre otros, se recomienda implementar políticas que incentiven la modernización o mayor desarrollo de las

redes, como por ejemplo la exención o rebaja arancelaria para importaciones de elementos, los cuales sean destinados a la construcción o mejora de redes de conexiones.

10. Conclusiones

La evolución de la ciencia en cuanto a sus métodos de investigación se ha ido modernizando, y con su avance se han podido abordar problemas cada vez más complejos. Por un lado, el desarrollo de estos modelos suele requerir información respecto a más variables presentes en lo que se quiere estudiar, por lo que a menudo se necesitan de más o nuevas tecnologías, como sensores y dispositivos. Para recolectar estos datos continuamente, es necesaria una infraestructura digital robusta que, además, facilite la colaboración entre los investigadores.

Por otro lado, la creación de tecnologías e infraestructura que permitan medir más variables o de forma más precisa, fomenta la creación de modelos más complejos, que antes eran imposibles de aplicar. Entender esta complementariedad es necesaria para la creación de políticas destinadas a desarrollar la industria científica. La tecnología disponible en la actualidad permite recolectar grandes cantidades de datos desde distintos lugares del mundo, lo que facilita los descubrimientos científicos. Esta abundante disponibilidad de información solo es posible gestionarla gracias a las robustas redes que conectan los distintos centros de investigación en el mundo.

Los centros de investigación presentan necesidades particulares en cuanto a la transmisión de datos y su conexión a internet, y es por este motivo que toma sentido la creación de redes académicas, que agrupan demanda y responden a las exigencias propias de los centros de investigación.

La investigación científica se basa en la colaboración, lo que ha incentivado la generación de redes internacionales. Las redes de la región se han desarrollado tradicionalmente en busca de la conexión con Europa y Estados Unidos, sin embargo, Asia es un actor relevante a nivel mundial en el desarrollo científico y el desarrollo del cable permitirá profundizar las incipientes relaciones académicas de la región con esta zona, acercando ecosistemas como la Patagonia, la Antártica y el desierto de Atacama a los centros de investigación asiáticos.

La producción científica de Asia ha crecido significativamente durante los últimos años, en particular en China que se ha establecido como el principal generador de conocimiento del mundo a nivel de publicaciones científicas, esto los ubica como un polo de gran relevancia académica, con un gran volumen y calidad de innovaciones.

La construcción del cable de Humboldt incentivará la integración científica entre sudamérica y la región de Asia-Pacífico, lo cual debiera traducirse en un impulso a la colaboración, lo que en el largo plazo debiera permitir estrechar los vínculos académicos entre ambas partes. Esto, sumado a las ventajas y características geográficas de la región, pueden impulsar el desarrollo de un gran laboratorio natural en la región, en la que confluyen investigadores de todo el mundo.

La academia ha desarrollado importantes proyectos de colaboración con otros continentes que pueden ser replicados en Asia-Pacífico, oportunidades como el proyecto del cable BELLA entre Brasil y Europa; el Cherenkov Telescope Array, proyecto innovador de medición astronómica que integra observatorios en todo el mundo; y el cable de fibra óptica a la Antártica. Estos proyectos reflejan los esfuerzos que se han hecho en la región por avanzar en ciencia y dan indicios sobre la importancia que ha tomado la digitalización en la industria científica, además de resaltar la colaboración, como característica de la investigación actual.

Finalmente, la región aún tiene desafíos importantes que cubrir, incentivar la innovación y creación de conocimiento del sector privado es uno de los elementos centrales para transformar los modelos de desarrollo y generar mayor valor. Es por esto, que se requieren políticas que permitan aprovechar al máximo las ventajas que trae el cable, acercando nuevas disciplinas y nuevas tendencias científicas y tecnológicas. Estas políticas deben incentivar la colaboración científica entre instituciones públicas, permitiendo transmitir investigación de punta a innovaciones aplicadas que impacten directamente en la vida de las personas.

11. Bibliografía

1. Liang, H., Tsui, B.Y., Ni, H. et al. Evaluation and accurate diagnoses of pediatric diseases using artificial intelligence. *Nat Med* 25, 433–438 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0335-9>
2. Wiweko B, Zakirah SC. Future of Health Services: The Role of Physicians in the Disruptive Era. *J Hum Reprod Sci.* 2020 Oct-Dec;13(4):250-256. doi: 10.4103/jhrs.JHRS_172_19. Epub 2020 Dec 28. PMID: 33627972; PMCID: PMC7879842.
3. Agtech. (2017, marzo). Cómo la Big Data está revolucionando la agricultura y la cadena de abastecimiento. *Red agrícola.* <https://www.redagricola.com/cl/la-big-data-esta-revolucionando-la-agricultura-la-cadena-abastecimiento-2/>
4. BELLA. (2016). RedCLARA. <https://www.redclara.net/index.php/es/proyectos/en-ejecucion/bella>
5. “Big Data” y Astronomía en Chile: El dúo del futuro. (s. f.). La brújula cowork. <http://www.labrujulacowork.cl/home/big-data-y-astronomia-en-chile-el-duo-del-futuro/>
6. Calvo, A. (2019, 3 octubre). Big data en agricultura: siembra datos, cosecha decisiones. *Agroptima Blog.* <https://www.agroptima.com/es/blog/big-data-agricultura-datos-decisiones/>
7. Comunicaciones ISCI. (s. f.). Predecimos accidentes en autopista urbana cinco minutos antes de que sucedan. Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería. https://isci.cl/historias_de_impacto/predecimos-accidentes-en-carretera-5-minutos-antes-de-que-estos-sucedan/
8. CONICYT. (2010, diciembre). Investigación en Transporte en Chile: Áreas de investigación y capacidades Informe de estado del arte. [http://repositorio.conicyt.cl/bitstream/handle/10533/171313/INVESTIGACION EN TRANSPORTE EN CHILE AREAS DE INVESTIGACION Y CAPACIDADES INFORME DE ESTADO DEL ARTE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.conicyt.cl/bitstream/handle/10533/171313/INVESTIGACION_EN_TRANSPORTE_EN_CHILE_AREAS_DE_INVESTIGACION_Y_CAPACIDADES_INFORME_DE_ESTADO_DEL_ARTE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
9. El rol protagónico de Chile en la astronomía internacional. (2020, 20 marzo). Explora. <https://www.explora.cl/blog/el-rol-protagonico-de-chile-en-la-astronomia-internacional/#:~:text=Actualmente%2C%20Chile%20posee%20el%2040,capital%20mundial%20de%20la%20astronom%C3%ADa%E2%80%9D>
10. REUNA. (2019). MEMORIA ANUAL 2019. https://www.reuna.cl/wp-content/uploads/dlm_uploads/2020/07/Memoria-Corporativa-REUNA-2019.pdf