

Observación del Planeta y el Universo al 2040

Oportunidades para materializar en Chile Sistemas de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación “en grande” que contribuyan de manera sustancial al desarrollo del país, una tarea pendiente al 2020.

Demián Arancibia¹

Resumen: Chile cuenta con ventajas comparativas tanto para la observación del universo, como para la observación del planeta que habitamos. Lo anterior, junto con las capacidades disponibles en el país al 2020, será utilizado para convertirnos en polo de desarrollo global al 2040 en la concepción, diseño, implementación y operaciones de sistemas (1) para observar el universo y el planeta y otros cuerpos para los que tengamos ventajas, (2) para adquisición, procesamiento, análisis, exploración, visualización, acceso de grandes volúmenes de datos generados por estos sistemas, y (3) para la colaboración compleja entre sociedad civil, estado, academia e industria necesaria para que dichos sistemas fomenten efectivamente el desarrollo de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, de una manera efectiva y sustentable.

Introducción

Los avances en Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación surgen de procesos complejos que requieren observar, extraer datos de manera organizada y desarrollar conocimiento y soluciones que se concilian a su vez con las observaciones: es el caso de los avances en medicamentos e instrumentos con que cuidamos nuestra salud, en las técnicas de construcción de los edificios que habitamos, de los motores en nuestros medios de transporte, del procesamiento de señales que utilizamos para comunicarnos, de las técnicas agropecuarias con que obtenemos nuestros alimentos, por nombrar algunos ejemplos de impacto masivo.

Estos procesos de avance se ven facilitados por combinaciones complejas de conocimiento, metodología, tecnología, talento, infraestructura e instrumentos que sintetizo en este texto como Sistemas de Ciencia, Conocimiento, Tecnología e Innovación (en adelante Sistemas CTCI). El nivel de capacidades que estos Sistemas CTCI proveen y cuánto contribuyen al avance en la materia, tiene una relación proporcional a los financiamientos, compromisos políticos, y colaboración multi-disciplinaria que requieren para materializarse.



Figure 1: Ciclo de avances en Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (negro) y Sistemas que los facilitan (verde). Fuente: elaboración propia

Chile histórico

A raíz del multi-lateralismo, la apertura cultural y la política de tratados de libre comercio que nuestro país ha celebrado desde el retorno de la democracia, nuestra sociedad disfrutó de estar inserta en la economía global

¹ Ingeniero Universidad de Chile (2008), Master en Ingeniería de Sistemas de Cornell University (2014), jefe de equipo de asesores de futuro del gabinete del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Fue antes Director del programa de astroinformática de CORFO (2016-2018), Project Manager y Lead Systems Engineer del Observatorio Nacional de Radio Astronomía de Estados Unidos en New Mexico, USA (2014-2016) y Project Controller durante la construcción del Observatorio ALMA en el norte de Chile (2010-2013).

y se ha beneficiado de los avances que los sistemas CTCL de otras naciones han propiciado. Chile logró su peak en productividad en la década de los 90 (ver Bitrán 2017), pero sin evidencias de instituciones públicas o privadas del país en roles protagónicos para el proceso de avance descrito en la introducción. Chile ha sido exclusivamente proveedor de materias primas para que otras economías impulsen y coordinen a sus actores para dicho avance. Lo anterior ha sido bien retratado por variados autores en artículos académicos y de prensa (ver E. Bitrán 2014-2018, C. Hidalgo 2018-2019, A. Velasco 2019, O. Landerretche 2019). Un buen resumen de todo esto fue recientemente publicado en prensa de circulación nacional. En la figura 2 queda claro que incluso en los momentos de mayor productividad mencionados, nuestra economía exportó y produjo bienes de baja complejidad.

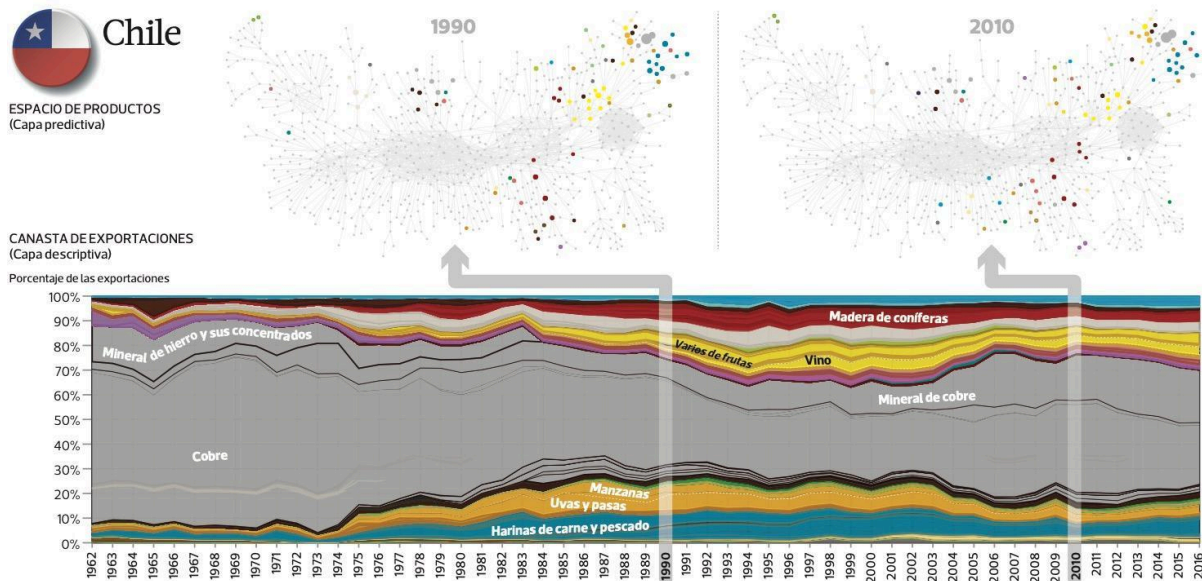


Figure 2: Espacio de productos, un diagrama de red cuya estructura fundamental es la de núcleo-periferia, en que el núcleo comprende los productos de mayor complejidad (que requieren mayor avance CTCL para ser producidos) y la periferia los con menor complejidad (materias primas). Fuente: Diario La Tercera, en base a Hidalgo, Cesar. A., Bailey Klingler, Albert-László Barabási, and Ricardo Hausmann. 2007. "The Product Space Conditions the Development of Nations." *Science* 317 (5837): 482-487

En la figura se aprecia que Chile no ha modificado su mix de productos de exportación entre 1990 y 2020, mientras otros países si lo han hecho, como es el caso de Estados Unidos cuyas principales empresas del Índice Standard & Poor's pasaron de bienes tangibles a bienes intangibles basados en el conocimiento.

Chile al 2020

No obstante lo anterior, en nuestro país existen sistemas CTCL insertos en redes con protagonismo en el proceso global de avances en CTCL. Si definimos un espectro que va desde aquellos que requirieron bajos niveles de financiamiento, compromiso político y colaboración multidisciplinaria para llegar a existir, hasta sistemas que requirieron altos niveles, en el extremo de bajos requisitos están los sistemas que ha financiado el estado a través de CONICYT en los últimos 25 años. Con políticas públicas que adjudican fondos del orden de 1 millón de dólares por año en plazos de 5 años renovables para completar 10, amparados por decretos de fuerza de ley del ejecutivo sin requerir acuerdos transversales por parte de las comunidades científicas con respecto a sus prioridades estratégicas; en los últimos 25 años se destinó aproximadamente \$600 millones de dólares a financiar esta clase de sistemas CTCL, adjudicado a través de licitaciones públicas realizadas por CONICYT, y en más de un 89% ha tenido como entidades beneficiadas a Universidades y Centros de Investigación anclados en Universidades nacionales. Los instrumentos que adjudicaron mayor cantidad de recursos han sido los "Centros Basales", FONDAP y el Programa Milenio de CONICYT. Por otro lado, también

en nuestro país, en el extremo de sistemas CTCL con altos requisitos, y a raíz de las condiciones especiales que tiene nuestro desierto de Atacama, están los observatorios astronómicos internacionales de los cuales nuestro país es anfitrión. Más del 40% de la capacidad de observación en el planeta, en las ventanas relevantes del espectro electromagnético, creciendo a casi el 60% durante la próxima década está en Chile. Estos sistemas CTCL han requerido financiamientos mayores a \$100 millones de dólares por año, en periodos de 30 años de vida útil en promedio, nacen de acuerdos nacionales e internacionales entre academia, estado, industria y sociedad civil, y necesitan de profesionales, técnicos y científicas de diversas disciplinas para su construcción y operaciones.

Tomando aquellos en la parte de altos requisitos del espectro, en la medida en que nuestro país se ha involucrado, hemos sido capaces de aprovechar las capacidades que proveen y disfrutar de sus beneficios para el desarrollo nacional. Cada vez que un observatorio internacional decide instalarse en Chile, el estado o la Academia han negociado y acordado condiciones. Hasta el 2018 se han firmado 22 acuerdos y se encuentran negociando al menos 5 más (CORFO, 2019). A raíz de estos acuerdos, los científicos basados en Chile pueden hacer uso de al menos el 10% del tiempo disponible para observar, y los observatorios aportan financiamiento que es administrado por CONICYT. Por otra parte, si bien varios hitos desde la llegada de la primera misión astronómica al país en el siglo XIX comandada por James M. Gilliss permiten inferir la intención de Chile de un involucramiento mayor en la construcción, operación y de los sistemas (ver Silva, 2019), solo el año 2010 con la creación del programa de astronomía en CONICYT se formalizó una hoja de ruta enfocada al fomento al desarrollo de componentes. Desde la publicación de esa hoja de ruta en 2012, CORFO ha hecho un esfuerzo equivalente por acoplar la hoja de ruta de CONICYT al fomento de la economía nacional, preguntándose qué oportunidades presenta el desarrollo de componentes astronómicos para generar aplicaciones a la economía, y emprendiendo medidas e inversiones para aprovechar dichas oportunidades.

A partir de estas definiciones estratégicas y utilizando en algunos casos fondos administrados por CONICYT o por CORFO² han surgido iniciativas que combinan Astronomía e Ingenierías para lograr una participación incipiente en construcción y operación de óptica, electrónica y mecánica de instrumentos, así como en el desarrollo del software de los observatorios, la definición de estándares y aplicación de interoperabilidad de datos astronómicos y también en el procesamiento de datos.

Entre los principales logros de estas estrategias está el desarrollo de espectrógrafos para telescopios de 8 m como MOONS en el VLT (liderado por el Centro de Astro-ingeniería de la Pontificia Universidad Católica y financiado por el Instituto Milenio de Astrofísica –MAS–, desde 2010 a la fecha), de la óptica y el procesamiento de señales para detectores sub-milimétricos como las Bandas 1 a 3 instaladas en los 66 telescopios de ALMA (liderado por el Laboratorio de Ondas Milimétricas Universidad de Chile y financiado por el Centro de Astronomía y Tecnologías Afines –CATA–, desde 2012 a la fecha), el desarrollo de un bróker de alertas del Large Synoptic Survey Telescope (LSST) que utiliza el estado del arte en inteligencia artificial para detectar todo tipo de fenómenos que varían en el tiempo (denominados transientes) incluyendo, entre otras cosas, meteoritos y supernovas en etapas tempranas (liderado por el Laboratorio de Astro-informática del Centro de Modelamiento Matemático Universidad de Chile y financiado por el Instituto Milenio de Astrofísica, desde 2015 a la fecha), el desarrollo del capítulo chileno del *Virtual Observatory* denominado ChiVO (liderado por Universidad Técnico Federico Santa María y financiado por CONICYT) y la alianza público-privada que reunió 22 millones de dólares (~55% inversión foránea directa, ~25% inversión privada local, ~20% inversión pública por parte del Ministerio de Economía del Gobierno de Chile) para contribuir a enfrentar los desafíos

² De origen en la ley de presupuesto nacional en fondos del Ministerio de Educación y el Ministerio de Ciencia, Conocimiento, Tecnología e Innovación y, también, en los tratados con Observatorios Internacionales ya mencionados.

globales que tiene la astronomía en cuanto a adquisición, análisis, exploración y visualización y acceso a grandes volúmenes de datos, desde Chile (el *Data Observatory*).

El impacto en el proceso de avance en Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación que han tenido estos involucramientos son dispares. Por un lado, el 10% del tiempo de observación ha hecho crecer la comunidad exponencialmente y ha posicionado la astronomía como mayor productor nacional de Ciencia y Conocimiento (Guridi, 2018). Por otro, el impacto logrado en cuanto a Tecnología e Innovación es aún limitado, quizá proporcional al involucramiento incipiente de Chile en los proyectos.

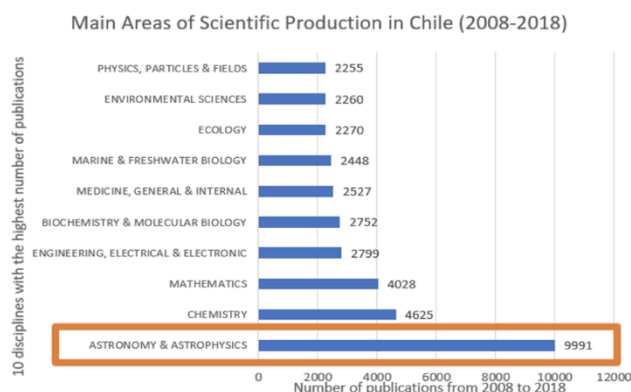


Figure 3: Publications from 2008 to 2018. Source: Guridi et al., 2018 with data from CONICYT.

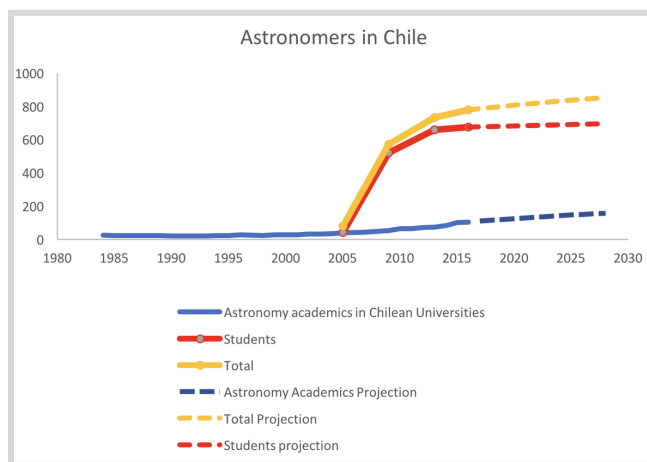


Figure 4: Quantity of Astronomers 2008 to 2015. Source: Guridi et al., 2018 with data from CONICYT.

¿Cómo se potencia esta situación con la aparición de la nueva institucionalidad del estado en Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación? ¿Qué pasaría si pudiésemos lograr invertir más en estos sistemas CTIC? ¿Qué pasaría si tuviésemos opción de usar mayor cantidad de tiempo en ellos, o coordinar de una manera estratégica el uso del tiempo disponible? ¿Qué pasaría si tuviéramos participación mayor en la conceptualización, diseño, implementación y operación de sistemas como estos y sus componentes? ¿Qué pasaría si explotásemos todo lo que la conceptualización, diseño, implementación y operación de estos sistemas y sus componentes tiene de sinergia y *spillovers* con otros procesos de avance distintos al de la astronomía?

Chile del 2020 al 2030: Estrategia, coordinación de actores y medición de impacto

Con la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación el estado tiene nuevas y aumentadas capacidades para abordar iniciativas que demanden más política, financiamientos y colaboración compleja. La ley que genera el ministerio lo dota de facultades amplias en la materia y funciones consistentes con ello. El primer paso en el campo de la Astronomía sería un levantamiento crítico del escenario al 2020, que permitiera observar por un lado la correlación de los beneficios que trajo el involucramiento en sistemas CTCl con sus requisitos en dichas dimensiones y por el otro, las capacidades disponibles para abordarlos. Con los resultados en torno a la Astronomía, sería natural que luego del levantamiento crítico se concluya fomentar el protagonismo del país en esos sistemas CTCl, potenciando las políticas públicas originadas en el Programa de Astronomía en 2010 y en CORFO desde 2016, fortaleciendo aspectos que pueden mejorar, y agregando nuevas medidas en base a los logros obtenidos en la última década.

Estrategia

El levantamiento crítico debería dar lugar a un proceso de sondeo, conversación y coordinación entre el estado, la comunidad científica, la industria y la sociedad civil que culmine en un acuerdo compartido por estos actores. Como mínimo dicho acuerdo potenciará la dirección establecida en la estrategia de la década anterior por parte de CORFO y CONICYT y generará el alineamiento necesario para la colaboración entre estos actores de una manera más robusta. Así el 10% de acceso a tiempo se mantendrá como la disponibilidad mínima para uso local, y crecerá a medida que se logren acuerdos de contribución superior a lo otorgado como anfitriones y aumente nuestro protagonismo en la conceptualización, diseño, construcción y operación de componentes de esos observatorios.

El objetivo para la década del 2030 podría ser conseguir una participación mayoritaria en alguno de los proyectos que se construyan hacia la segunda mitad de la década³. Esto último, como hemos aprendido, potenciará la generación de Ciencia, Conocimiento, Tecnología e Innovación, pero tendremos también que avanzar en al menos dos desafíos que se generan por ser estas acciones las primeras en su tipo que emprende el país, sin antecedentes en participación protagónica en sistemas CTCl “en grande”:

- Por un lado, existe la dificultad de coordinar el esfuerzo de actores en los diversos sectores mencionados, lo cual presenta principalmente dos desafíos, el primero dice relación con la definición del nuevo Ministerio como representante singular de estos actores frente a los observatorios internacionales (cuestión actualmente repartida entre la Universidad de Chile, el Ministerio de Relaciones Exteriores, el Ministerio de Bienes Nacionales y el CONICYT) y el segundo dice relación con lograr cooperación de aquellos actores que han generado al 2020 la capacidad de contribuir cuya relación al 2020 esta dominada por una conducta competitiva más que de colaboración. Además, existe el desafío de poder observar y monitorear el impacto de una eventual mayor participación, para poder actuar en base a evidencia y justificar toda la energía y recursos que se invertirá en estas acciones.
- Por último, es necesario contribuir en esta década a un desafío que es a escala global y que tiene que ver con conectar el desarrollo de la Astronomía a otros campos del saber y actividades, afortunadamente para esto último Chile tiene condiciones únicas.

³ Lo anterior es también válido para los sondeos del cielo, en esos casos hasta el momento el acceso sería al 100% de las observaciones y cabe aclarar que el acceso no es abierto para cualquier comunidad, si no solo para los miembros de los proyectos que contribuyen de una manera valorable a ellos. Además, es necesario aclarar que estas definiciones son responsabilidad de las agencias de financiamiento internacionales que invierten en los proyectos y negociadas con Chile a través del Gobierno o la Academia.

Coordinación de actores

Con respecto a actores en los Centros de Investigación Chilenos que han generado la capacidad de participar de la conceptualización, diseño, construcción, ensamblaje, integración, verificación y operaciones de componentes de estos sistemas CTCI “en grande” lo han hecho a través de financiamiento público en la forma de contribuciones del CATA, del MAS e instrumentos del programa de astronomía de CONICYT. Estos fondos tienen origen mayoritariamente en el presupuesto fiscal de Chile y en menor medida de los países que financian los observatorios internacionales en nuestro país. Al analizar en detalle la incipiente institucionalidad que este esquema ha generado, se observan dos elementos que necesariamente tienen que cambiar para avanzar a un siguiente nivel:

1. que en el esquema actual no hay mecanismos que faciliten una negociación por mayor protagonismo en el diseño, operación y construcción de estos instrumentos, pues la negociación ocurre una vez cuando el observatorio se instala, y luego el poder de negociación por parte de un actor local como cualquiera de los aludidos en este texto es limitada.
2. que el esquema actual ha formado a generaciones de astrónomas, pero los claustros académicos, no han crecido para dar trabajo que use este talento.
3. que si bien en el esquema actual existe personal contratado a tiempo completo por estas entidades, la proporción es pequeña pues en rigor son integrados principalmente por miembros del claustro académico de las Universidades que se adjudican el financiamiento, estos académicos tienen responsabilidades múltiples, no se cuenta con un sistema de información que permita monitorear y controlar su financiamiento y resulta poco verosímil que logren cumplir con todas las responsabilidades que se observa que tienen (clases, alumnos, fondos de investigación y por último estos financiamientos).

Tabla 1: Instrumentos de Financiamiento para sistemas CTCI en el ámbito Astronomía

Nombre	Descripción	Entidades	Fondo (Origen)	Financiamiento (\$M-CLP)	Años	Impacto Destacado en el Desarrollo
MAS	Nace con el objetivo de preparar a la nueva generación de investigadores para la “era del Big Data”, reuniendo a un equipo multidisciplinario de investigadores y estudiantes de universidades chilenas y colaboración internacional. Sus principales objetivos son conducir sondeos masivos y a gran escala del cielo; desarrollar técnicas eficientes de análisis de datos necesarias para extraer información astrofísica relevante desde grandes volúmenes de datos.	Universidad Andrés Bello Pontificia Universidad Católica de Chile Universidad de Concepción Universidad de Chile Universidad de Valparaíso	Institutos Científicos Milenio (Ministerio de Economía)	\$3,834.80	2013-hoy	Componentes del sistema computacional de precursores de LSST
Centro de Astrofísica	Su misión fue pavimentar el camino, a través de la investigación de sus miembros y la educación de las nuevas generaciones de astrónomos, para identificar y establecer la base de problemas recientes a ser enfrentados con la nueva generación de instrumentos instalados en Chile.	Universidad de Chile	Fondo de Financiamiento de Centros de Investigación en Áreas Prioritarias (FONDAP)	\$8,698.40	2002-2008	Formación de Astrónomas y Astrónomos, siendo el periodo de mayor crecimiento de la historia en número de investigadoras (factor de 8).
CATA	Se construye sobre el legado de CENASTRO con la misión de generar condiciones que impulsan la astrofísica, ubicando a Chile entre los líderes mundiales en esta área. Sostiene reunir a más del 70% de toda la masa crítica de investigadores nacionales ligados al área.	Universidad de Chile	Centros de Excelencia con Financiamiento Basal (CONICYT)	\$15,158.65	2008-hoy	Componentes del Observatorio ALMA Ha continuado el trabajo del CENASTRO en cuanto a formación, manteniendo la tendencia al crecimiento.

Con respecto a actores en el sector privado, al 2020 no se han sumado a esfuerzos de los Centros de Investigación de forma sustancial salvo en el caso del *Data Observatory*, aprovechando las oportunidades de colaboración identificadas en torno a componentes para procesamiento de grandes volúmenes de datos y tecnologías como Inteligencia Artificial. En ese sentido el levantamiento crítico de esta situación se hace más urgente, y manteniendo la dirección estratégica de CORFO debería invertirse aún más en facilitar aquellos vínculos detectados entre el desarrollo de componentes para procesamiento de datos en astronomía al desarrollo de otras actividades e industrias.

Con respecto a actores de la sociedad civil y los habitantes del territorio nacional, al 2020 se puede decir que el involucramiento de las personas es aún más limitado que en los aspectos mencionados anteriormente, si bien la gran mayoría del país se identifica con la astronomía (Marca Chile, 2016), un número pequeño de sus habitantes puede nombrar exitosamente más de un observatorio, explicar con elocuencia aspectos generales del comportamiento de los fotones o simplemente contar que han logrado visitar alguno de los observatorios internacionales.

Chile es un lugar propicio para el modelo de apalancamiento de recursos públicos con inversión privada, habiendo múltiples experiencias que permiten además optimizar el modelo. Chile además tiene la necesidad de que el resultado sea un bien público a raíz de la naturaleza de la misión de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación tiene un efecto muy positivo al juntar a que los que realmente pueden generar la articulación con otros sectores de la economía (empresas privadas), con aquellos que realmente pueden fomentar el desarrollo de conocimiento (academia), en armonía compartiendo aquellos puntos en común entre sus misiones.

Medición de impacto

Cómo podemos observar y monitorear el impacto constituye un requisito para continuar con el crecimiento sostenido de capacidades de lograr acuerdos políticos, financiamiento y colaboración multidisciplinar. En base a lo aprendido a la fecha observando las contribuciones al desarrollo de este campo, como mínimo se implementarán y fortalecerán formas de observar y monitorear:

- Producción de conocimiento y fortalecimiento a cómo lo medimos,
- Creación de nuevo talento y fomento en educación a todos los niveles,
- Creación de sistemas y soluciones de manufactura avanzada como componentes electrónicos de procesamiento de señales electromagnéticas, y formas de medir su uso en astronomía, fotografía, telecomunicaciones, observación de la tierra, entre otros campos,
- Creación de sistemas y soluciones computacionales para fenómenos físicos complejos, procesar grandes volúmenes de datos, visualizar y ofrecer acceso a ellos, y formas de medir el uso de estos sistemas y soluciones en astronomía, observación de la tierra, y en otros campos,
- Creación de sistemas y soluciones de gestión para sistemas CTCI con altos requisitos como observatorios de políticas públicas, y formas de medir su uso,
- Inversión pública y privada, nacional y extranjera en infraestructura habilitante (ej. fibra óptica, data centers y conectividad última milla),

Impacto de los Sistemas CTCI para Astronomía en otros campos y en el desarrollo nacional

Usando el principio de relación ("The Principle of Relatedness", Hidalgo, Balland, et. al. 2018) y observando capacidades, tecnología y conocimiento presentes en los sistemas CTCI de astronomía y su potencial transferencia de capacidades, tecnologías y conocimiento a otros campos, se identifican al menos 3 grandes áreas potenciales:

- (1) la fuerza de la astronomía como ciencia que es una puerta de entrada a las ciencias naturales y humanidades, como motor de creación de talento,
- (2) el ensamblaje, integración y verificación de sistemas electrónicos, ópticos y mecánicos conocidos como astroingeniería, como (a) motor de desarrollo de IoT aplicado a sensores de observación del planeta, (b) de instrumentos para observación del planeta desde el espacio y (c) el programa satelital nacional y de la operación de sistemas espaciales desde tierra,
- (3) por último y quizás con el mayor potencial observable a la fecha, la adquisición, análisis, exploración y visualización, y el acceso y despliegue de grandes volúmenes de datos como una tecnología de alcance general con potencial de impacto en una diversidad de campos a raíz de su condición de factor habilitante de Inteligencia Artificial, desde el retail hasta las operaciones industriales de la minería y la agricultura.

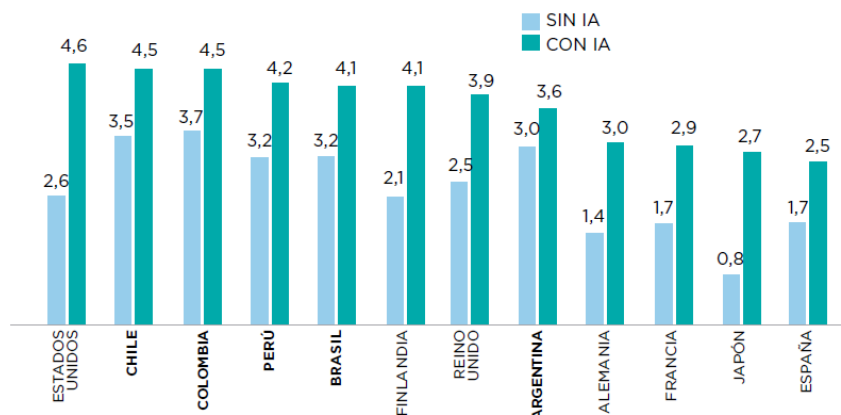


Figure 5. Impacto económico de la Inteligencia Artificial. Tiene el potencial de incrementar tasas de crecimiento económico anuales en América del Sur. Fuente: Accenture y Frontier Economics, 2017.

A raíz de la creación de la nueva Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo surge la oportunidad de estudiar alianzas publico-privadas para desarrollar el siguiente paso de involucramiento en estos sistemas CTCI, que debería estar anclado en dichas interdependencias y superar la frontera de los \$10 millones de dólares al año de costo operacional.

Chile al 2040

Las grandes preguntas

Transcurridos los 20 años que quedan al 2040, hay pocas cosas que pueden decirse con certeza, sin embargo me atrevo a escribir con relativa seguridad que los sistemas CTCL en nuestro país estarán contribuyendo a descubrir de dónde vienen las estructuras que observamos con ellos, es decir clarificando sus orígenes y su evolución, incluyendo cuerpos como planetas, estrellas, galaxias y clúster de galaxias.

También estarán contribuyendo a conocer si existen otros planetas como el nuestro y los mecanismos a través de los cuales ha surgido la vida aquí, y también ayudando a contestar si acaso existe en otros lugares del Cosmos.

Además, cómo esta última pregunta se nutre de los avances que propician sistemas de observación de nuestro propio planeta, también en nuestro país se contribuirá a contestar sobre la física del clima y la vida en nuestro planeta, a diversas escalas de tiempo e interacciones entre los distintos subsistemas planetarios y su evolución.

A escalas de tiempo astronómicas podremos contribuir con factores críticos para dilucidar cómo un planeta que permite la vida llega a existir, en escalas de tiempo humanas podremos comprender como se relaciona las corrientes en los mares con los ciclos del clima continental, avanzar en la predicción de fenómenos estacionarios y ciclos climáticos al punto de facilitar actividades diarias de las personas.

El protagonismo

La incógnita es qué nivel de participación tendremos en dicho avance. Utilizando las interdependencias distinguidas y acudiendo a los desafíos de desarrollo sustentable y bienestar social que se nos presentan, se abre una oportunidad que no podemos desechar. Al 2040 deberíamos contar un laboratorio con las capacidades para conceptualizar, desarrollar, construir, ensamblar, integrar y verificar tecnologías afines a la observación del universo y del planeta, cuya interdependencia permitirá también desarrollar otras actividades y aumentar la complejidad de los productos elaborados en Chile, contribuyendo a mejorar la situación de desigualdad.

