

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

**Astroinformática y prospección de la astronomía
chilena: Sub-disciplina en el escenario global y
desarrollo científico local**

*“Astroinformatics and the prospection of astronomy in Chile: A sub-discipline in
the global scenario, and a local scientific development.”*

ALEJANDRO ESPINOSA-RADA

University of Manchester, Reino Unido

FRANCISCA ORTIZ RUIZ

University of Manchester, Reino Unido

TRINIDAD CERECEDA LORCA

Universidad Alberto Hurtado, Chile

RESUMEN El siguiente artículo busca contribuir al entendimiento de la astroinformática como una sub-disciplina emergente en el contexto de un sostenido incremento en las grandes cantidades de datos en la astronomía. Para ello, se realiza un estudio cualitativo en donde se entrevista a expertos internacionales de tal forma de indagar en los temas de interés de esta área y cómo ha sido definida. De la misma forma, se utiliza la tesis de la triple hélice – como coordinación entre empresa-Estado-universidad- de tal forma de explorar las estrategias que ha realizado Chile para posicionarse en el escenario global y desarrollar su cultura científica local a través de la astroinformática. Se concluye con los desafíos que enfrenta el país para llevar a cabo dicha empresa en la actual conformación de un sub-campo científico y el rol que podría tener en la conformación de esta nueva generación en el campo del saber astronómico.

PALABRAS CLAVE Sociología de la Ciencia; Triple Hélice; Astronomía; Estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad.

ABSTRACT The following article aims to understand astroinformatics as an emerging sub-discipline in the context of a sustained increase of the large amount of data produced by astronomy. For this purpose, a qualitative study is conducted which includes interviews to international experts of the area in order to investigate their topics of interest within this field and how it has been defined. In the same way, the triple helix hypothesis is used, as coordination between the company, the state and the university, to explore the strategies that Chile has used to position itself within the global scenario and to develop its scientific culture through astroinformatics. The study concludes discussing the challenges that the country is facing in the current conformation of a scientific subfield and the role that it could have in shaping this new generation in the field of astronomy.

KEYWORDS Sociology of Science; Triple Helix; Astronomy; Studies of science; technology and society.

Introducción

La astronomía no solo se ha constituido como uno de los hitos científicos más relevantes de la sociedad moderna (Espinosa, 2014), sino que en las últimas décadas ha cambiado de una era basada en los fotogramas, pasando por una etapa energética, y actualmente transitando hacia una era digital (McCray, 2014). Ello implica principalmente una gran cantidad de peta bytes de información (Borne et al. 2009, 2010) liderada por los datos adquiridos por un conjunto de telescopios tales como los observatorios British-Australian 2df Galaxy Redshift Survey (2df GRS), el Sloan Digital Sky Survey (SDSS) o el Large Synoptic Survey Telescope (LSST). La utilización y estandarización de dichos datos, ha generado nuevos desafíos y prácticas en la astronomía (Hoeppe, 2014; McCray, 2017), junto con el advenimiento de Observatorios Virtuales (Szalay, Djorgoski y Lake, 1999) agrupados en iniciativas como la Alianza del Observatorio Internacional (IVOA) para hacer frente a este nuevo escenario global.

El siguiente artículo busca contribuir al entendimiento de este nuevo contexto científico y clarificar cómo los astroinformáticos, a nivel global, conciben la prospección del campo astronómico y cómo es la participación de Chile en este proceso. La relevancia de ello radica en la contribución de conocimientos respecto a la situación contemporánea del surgimiento de un nuevo campo del saber delimitado por la gran cantidad de datos disponibles, por los esfuerzos de coordinación entre Estado-universidad-empresa para hacer frente a este nuevo escenario, y por la potencial participación de este país como actor en la periferia.

Para responder esta interrogante, desde una perspectiva metodológica se realizaron entrevistas en profundidad a expertos internacionales en el área de la astronomía, que más tarde fueron analizadas por medio del enfoque llamado *Grounded Theory*. El uso de la metodología cualitativa contempló la confección y validación del instrumento, la capacitación de los entrevistadores, su aplicación y análisis, y permitió garantizar flexibilidad en la realización de las entrevistas, y con ello, indagar más profundamente en los temas de interés de esta investigación.

En los resultados se aborda la prospección del campo de la astronomía, considerando la visión futura y la cadena de valor de la disciplina, profundizando, particularmente, en las ventajas que tiene Chile en relación al resto del mundo (cf. Catanzaro, 2014), y los desafíos que aquello implica a futuro. Para concluir vinculando lo investigado con la elaboración de propuestas y desafíos en el campo de la astronomía, con la meta de lograr un desarrollo social y económico de Chile en dicha materia.

A continuación, se presenta en primer lugar el marco de referencia del estudio, identificando cómo se constituye una disciplina como la astronomía frente al advenimiento de una gran cantidad de información disponible, seguido por la participación en triple hélice de Estado-universidad-empresa en el proceso de construcción de un campo, para luego reflexionar sobre la participación del país en su distinción centro-periferia. En segundo lugar, se presenta la metodología a utilizar por este estudio. Finalmente, se presentan los resultados encontrados.

Construcción de un área del saber como desafío a los grandes volúmenes de información

La astronomía es una ciencia principalmente paradigmática (Heidler, 2011) que tiene la particularidad de que los científicos comparten cierta moral económica – entendida como la propensión de la comunidad a orientar su quehacer científico al reconocimiento individual, expresado en factores de alto impacto, en la competencia por tiempos de observación o en la adquisición de recursos para el desarrollo científico (McCarty, 2000) – y ciertas valoraciones inminentemente científicas en la asignación de dichos tiempos de observación (Espinosa-Rada, 2015a). Asimismo, comparten ciertas prácticas y predisposiciones particulares al campo, como es la estandarización de datos a través de formatos como *Flexible Image Transport System* (FITS) de tal forma de combinar información para la investigación astronómica (Hoeppe, 2014).

De la misma manera, y al igual que en otras áreas del saber, las prácticas y los problemas específicos que deben enfrentar, pueden desarrollar cambios relevantes en la forma de constituir la ciencia. Algunos casos representativos de esta situación han sido motivados por la utilización de nuevas tecnologías – como son los amplios grupos colaborativos que deben manejar complejos tecnológicos, como es el caso de

las Partículas de Alta Energía (Heidler, 2017) o el descubrimiento del microscopio de efecto túnel y el fullereno en la nanotecnología, lo cual ha llevado a esta última a constituirse como una nueva ciencia (Jansen, Von Goertz, & Heidler 2010). Esta situación no es ajena al campo de la astronomía, lo cual se refleja en la utilización originaria de Galileo y el uso del telescopio como tecnología tipo, y actualmente en la construcción de grandes observatorios que ha movilizó a la disciplina astronómica en dirección a las ciencias de gran envergadura (McCray, 2014). Sin embargo, lo que es particularmente novedoso en esta área del saber, es que cuenta con el escenario de los datos como antesala de gran parte de sus investigaciones científicas (McCray, 2017) en donde se estima que la recolección de información equivaldrá a una gran cantidad de peta bytes en el escaneo del universo, debido a la construcción de una nueva generación de telescopios (como ejemplo, 2df GRS, GAMA, SDSS, DESI o LSST). Ello implica en la práctica, la necesidad por parte de los astrónomos de tener habilidades en la construcción de algoritmos para procesar un gran volumen de información, poder visualizar y analizar los datos en tiempo real, adoptar estrategias de análisis provenientes de diversas áreas del saber, combinar efectivamente la información proveniente de distintos observatorios astronómicos y poder almacenarlos eventualmente, entre otros.

Frente a esta situación, en donde se entrecruza una ciencia principalmente paradigmática en un contexto de sobre abundancia de información, la astronomía como ciencia disciplinar ha comenzado a crear sub-campos que amplían su aislamiento en el campo del saber (cf. Leydesdorff y Rafols, 2009; Jansen et al., 2010) en áreas tales como la astroquímica, astrobiología, astroingeniería o, más recientemente, la astroinformática. Pese a lo anterior, no pareciera deslindarse esta última de su disciplina originaria (tal fue el caso de la nanotecnología que se constituyó como ciencia interdisciplinaria) sino que su estrategia va en la dirección de aprovechar las capacidades de otras áreas del saber como la estadística, las ciencias de la computación, la física o las ciencias computacionales orientadas a los datos y al manejo de la información. Esta situación generaría que a diferencia de lo que esperaríamos como epistemologías en conflicto, como fue el caso de las estrategias utilizadas por equipos abocados a Partículas de Alta Energía en contraposición a los astrónomos en el descubrimiento de la expansión del universo (Heidler, 2017), estemos ante la presencia de áreas disciplinares que logran armonizar sin generar el deslinde disciplinar, produciéndose en cambio una colaboración basada en la diferenciación del trabajo científico y el intercambio de información entre los investigadores y técnicos.

Triple hélice en la construcción de un sub-campo

La tesis de la triple hélice plantea que la sociedad del conocimiento ha transitado de una relación diádica entre industria y gobierno hacia una tríadica entre gobierno-universidad-industria, otorgándole a las universidades un rol intermediador entre las

tres instancias, las cuales tienen la posibilidad de generar modos híbridos e interconectados en la forma de producir, transferir y aplicar el conocimiento (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000). En particular, este marco analítico asume que las universidades tendrían también un rol proactivo y gerencial al tener que poner a disposición el conocimiento creado en la academia y generar nuevo conocimiento, especialmente en las áreas de las llamadas “ciencias exactas” y la tecnología para el desarrollo económico a nivel regional.

A modo de contexto del estudio, durante el año 2017 se creó el programa ASTROdata (FIE Grant FIE-2016-Vo22 y CORFO Grant 16IFI6626, financiado por el Fondo de Inversión Estratégica (FIE) del Ministerio de Economía), a través de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) para identificar las oportunidades que tiene el país para desarrollar la astroinformática, de tal forma de que aumente la relevancia científica del país, y que se genere una alianza entre el ámbito del *big data*, la academia, el sector público y privado. Desde dicha perspectiva, y en línea con los postulados de la triple hélice (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000), se supone que la concepción de ciencia astronómica se desarrolle en línea con la era digital de la disciplina (McCarty, 2014), que logre interconectarse de mejor forma con otras áreas del saber, superando su eventual aislamiento disciplinar a nivel internacional (Jansen et al., 2010; Leydesdorff y Rafols, 2009) y nacional (Cárdenas, Cabrera, Moguillansky y Olivares, 2015), y pueda así transitar hacia una economía interconectada basada en el aprendizaje y el conocimiento. No obstante, pese a los esfuerzos del programa en generar un proyecto de desarrollo país, cabe preguntarse en qué medida dichas nociones previas tienen cabida en la percepción de miembros activos de este sub-campo científico.

Se ha de prever la eventual falta de sensibilidad del mundo académico con el entorno aparejado al fenómeno de la no participación del sector privado en investigación y desarrollo (I&D). Desde diversas fuentes (Comisión Presidencial, 2015: Informe Ciencia para el desarrollo; Urgencia de futuro, PUC, 2016) hay claridad de las dificultades para que la ciencia genere una oferta, específicamente en relación con la disponibilidad de investigadores necesarios para la sociedad. Esas mismas fuentes también muestran el desafío que implica, desde el punto de vista de la demanda o inserción de investigadores, que las industrias, empresas y negocios no hayan demostrado requerir personal de I&D, por cuanto los mercados en los que se desarrollan son poco competitivos y de escasa internacionalización.

En particular, y desde la tesis de la triple hélice, se pone en cuestión si la universidad posee efectivamente un rol privilegiado en la conformación de la sociedad basada en el conocimiento (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000) en vez del rol que históricamente se le ha atribuido a las firmas (Lundvall, 1988, 2007; Nelson, 1993) o al Estado (Sábado, 2011) en el liderazgo en la generación de innovación. El programa ASTROData

surge como una organización híbrida dependiente del Estado a través de CORFO, pero en donde parte de sus comités organizativos (comité general y comité científico) se encuentra constituido por miembros de distintas universidades (Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad de Valparaíso, Universidad de Concepción, Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad de la Serena), al igual que miembros del sector público (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo y Ministerio de Relaciones Exteriores) e incluso de la comunidad científica internacional (International Center for Radioastronomy Research, Association of Universities for Research in Astronomy and Space Telescope Science Institute). Instancias que permiten un solapamiento entre academia-Estado¹.

No obstante, ASTROData no solo ha generado un espacio entre academia-Estado investigando la actual situación de la astroinformática a nivel mundial en términos científicos (Mecanismos Sociales, 2017), sino que ha creado varias mesas consultivas con miembros del sector privado en áreas relacionadas principalmente a la salud y minería, para identificar las demandas por *big data* que tienen estos sectores, junto con investigar las oportunidades de negocios para desarrollar esta iniciativa (Ernst & Young, 2018). De la misma forma, estudios recientes indican que los observatorios astronómicos chilenos poseen una gran demanda industrial por parte de empresas e instituciones extranjeras enfocada principalmente en la adquisición, reducción, archivo, servicio a la comunidad y al análisis de datos astronómicos (CONICYT, 2013; Ministerio de Economía, 2012; REUNACONICYT, 2009).

Bajo este principio, este programa representaría una organización en línea con la tesis de la triple hélice. No obstante, el supuesto principal es que la astroinformática podrá crear oportunidades de transferencia al sector privado, iniciativa que desarrollará la comunidad científica con la ayuda del sector público.

Actores periféricos en el juego global. El acecho de la construcción de una ciencia-periferia

La disposición de grandes complejos tecnológicos para el desarrollo científico (tales como ALMA, pronto el LSST, Gran Magallanes o el E-ELT), el aumento significativo en la disposición de recursos por parte de los consorcios internacionales (como ejemplo: fondo ALMA, Géminis o APEX), y su presencia a nivel global (Chang y Huang, 2013), plantea el desafío de posicionarse como un actor central en la comunidad internacional. Todo esto ha constatado que, si bien Chile tiene una ventaja comparativa con respecto a la astronomía a nivel mundial, no lidera los proyectos instalados en el

1. En la próxima etapa del programa se constituirá el Data Observatory, como una organización sin fines de lucro independiente, que opera en el corazón de la relación necesaria entre Estado-academia-privados-observatorios, con socios de estos estamentos como fundadores.

territorio nacional. Esta situación implica superar el acecho de la relación de ciencia-periferia con los países del norte que podría depender en gran parte del nivel de internacionalización de la disciplina (Wagner and Leydesdorff, 2004), la superación de las barreras territoriales (Katz, 1994) y/o la propensión a fortalecer la colaboración científica (Glänzel, 2001; Hara, Solomon, Kim & Sonnenwald, 2003).

A pesar de que Chile en temas de avance científico se encuentra en una situación desventajosa comparado al grupo de países desarrollados, presenta cada vez mayores avances e incentivos para la inversión con respecto a los demás países de la región latinoamericana (Jiménez y Bruzzo, 2016). Específicamente, en los últimos 20 años se ha logrado una serie de avances relacionados con la internacionalización de la ciencia, tanto por el liderazgo y excelencia de grupos de investigadores nacionales, como por las condiciones propias de su política de Estado (Comisión Presidencial Ciencia para el Desarrollo de Chile, 2015).

Tal es el caso de la astronomía, que por medio de las colaboraciones establecidas con centros de investigación extranjeros y por la instalación de observatorios astronómicos en el norte del país, se ha logrado posicionar como una de las ciencias con mayores posibilidades de progreso de este. Así, para incentivar la oferta interna de proyectos astronómicos, específicamente en el ámbito de la astroinformática en Chile, los fondos de CONICYT (FONDEF) han tenido un rol importante. Entre ellos destacan: “Desarrollo de una plataforma astro-informática” liderado por la Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Santiago y Universidad de Concepción, con el auspicio de REUNA y ALMA, que permitió que Chile fuese miembro de la Alianza Internacional de Observatorios Virtuales (IVOA) generando el Observatorio Virtual Chileno (ChIVO), de tal modo de permitir la administración y análisis de datos a gran escala captados por ALMA, pese a que hay otros fondos menores, como Fondecyt, que provocan desafortunadamente efectos negativos en la tendencia a acumular mayor cantidad de citas en los astrónomos chilenos (Espinosa-Rada, 2015b). Esta situación, permite evaluar las ventajas que posee el país para posicionarse como actor en el escenario global y generar, a su vez, un desarrollo local sostenible.

De tal forma de contribuir al entendimiento de la astroinformática como una subdisciplina emergente en el contexto de un sostenido incremento en las grandes cantidades de datos en la astronomía, este estudio recoge los esfuerzos del programa ASTROData para preguntarse ¿Cómo actores claves en el campo destacan el advenimiento de la era digital en la astroinformática? ¿Cómo ello puede conectarse con un desarrollo integral e interconectado? ¿En qué medida, nivel y escala se destaca el rol de los diversos actores en el desarrollo de este subcampo?

Metodología

El estudio cualitativo sobre la materia permitió rescatar la subjetividad de los entrevistados, como una de las características principales de este tipo de investigaciones (Taylor y Bogdan, 2000; Valles, 2000). En este contexto, la metodología cualitativa tuvo como propósito abordar la visión a futuro del campo de la astroinformática, debido a que permite abrir temáticas antes no consideradas, investigando y profundizando en indicios sustentados en discursos claves (Canales, 2006, 2014a, 2014b; Taylor y Bogdan, 2000; Valles, 2000). También esta aproximación nos ayudó a conocer la mirada de expertos extranjeros sobre el desarrollo de esta ciencia en Chile y su construcción conceptual. A partir del método cualitativo, se rescatan los diferentes puntos de vista de los entrevistados expertos en la materia (Taylor y Bogdan, 2000), por medio del estudio de caso múltiple (Stake, 2013).

Se utilizó la técnica de la entrevista cualitativa a expertos, la cual se escogió ya que, tal como argumenta Sierra (1998), da un mayor espacio para la retroalimentación y favorece la reflexividad. Este tipo de entrevista a su vez permitió alcanzar una mayor focalización en los diversos temas de interés y una cierta amplitud y flexibilidad, posibilitando la emergencia de nuevas temáticas igualmente relevantes para el estudio, modificando el curso de la entrevista en cada situación que lo ameritara, con el objetivo de que los entrevistados puedan llenarla de contenido con una mayor libertad (Sierra, 2001), haciendo posible el rescate del lenguaje de los entrevistados (respecto a sus categorizaciones, expresiones y opiniones) para acercarse a los objetivos del estudio (Troncoso y Daniele, 2004). Dicho esto, para este estudio se escogieron las entrevistas cualitativas a expertos (Sierra, 1998) de carácter holística (Gainza, 2006), con el propósito de profundizar en la astroinformática a nivel nacional e internacional.

En cuanto al trabajo de campo se realizaron entrevistas a expertos en la materia del campo de la astronomía en Chile². Todas las entrevistas fueron grabadas, y posteriormente transcritas para su análisis, respetando el idioma original de aplicación (inglés), además del uso de cartas de consentimiento informado en cada caso. Finalmente se realizaron 8 entrevistas a actores claves de la astroinformática a nivel internacional; durante los meses de agosto y octubre del año 2017. Los científicos participantes fueron: Alex Szalay, Robert Hanisch, Peter Quinn, Adreas Wicenec, Kirk Borne, Carlton Baugh, Michael Blanton y Robert Mann.

2. Quienes fueron seleccionados y contactados por un comité de expertos conformado por Demián Arancibia, Mauricio Araya, Amelia Bayo, Guillermo Cabrera, Francisco Förster, Roberto González, Mario Hamuy, Juan Carlos Maureira, Nelson Padilla, Peter Quinn, Juan Rada, Gabriel Rodríguez, María Teresa Ruiz, Mauro San Martín, Chris Smith, Massimo Tarengi y Robert Williams. Esta selección se realizó considerando que fueran los principales expertos en el tema a nivel mundial. Este tipo de entrevistas considera que las personas a quienes se les hacen las preguntas, son seleccionadas en tanto cumplen el rol de ser los principales conocedores del tema en cuestión. En este sentido, la selección implicó una construcción teórica validada por el comité científico.

El plan de análisis consistió en la aplicación de la metodología llamada *Grounded Theory* (según la traducción). Ello permitió desarrollar un análisis crítico de las temáticas abordadas, ayudando a reconocer las tendencias centrales, a alcanzar un mejor abordaje de los relatos de manera abstracta (con la creación de conceptos y categorías) y una mayor flexibilidad y apertura (Charmaz, 2013; Charmaz y Mitchell, 2001; Flores y Naranjo, 2014; Ruiz 2009; Strauss y Corbin, 2002). Esto dio la posibilidad de generar cierta sensibilidad con las palabras y su relación con las acciones correspondientes, con las que se crearon representaciones visuales contextualizadas en los principales hallazgos (Medina, 2014). Asimismo, este análisis ayudó a develar procesos de construcción de conceptos, en coherencia con el objetivo de indagar en la prospección del campo de la astroinformática en la próxima década, especialmente para el caso chileno. Para este análisis se utilizaron criterios similares a los señalados por Charmaz y Mitchel (2001) y Charmaz (2013), que privilegian la utilización de categorizaciones creativas y flexibles. El procesamiento de la información cualitativa (codificación y análisis) se realizó con la ayuda del programa informático MAXQDA versión 11.

Resultados: Qué dicen los expertos sobre la ciencia y su desarrollo en Chile

El uso de la metodología cualitativa permitió contribuir a la descripción de la prospección del campo de la astroinformática en la próxima década. A partir de ello, se clasificó la información aquí presentada en tres grandes temáticas: la comprensión de la ciencia desde la comunidad astronómica, los elementos positivos de su desarrollo en Chile y los futuros desafíos que se le presentan.

Qué se entiende por ciencia dentro de la comunidad astroinformática

Las personas entrevistadas pudieron abordar temas tanto referentes a la astroinformática, como a aspectos más concretos y prácticos de ésta. En gran medida, la discusión en torno a ello se dio desde la interdisciplinariedad y variedad de roles que los sujetos representan al interior de la disciplina. Así, en un primer momento del análisis conceptualizaremos este gran marco en torno al concepto de ciencia, el cual se encuentra resumido en la siguiente representación gráfica. En esta imagen, se visualiza lo que más tarde está redactado y justificado con las entrevistas.

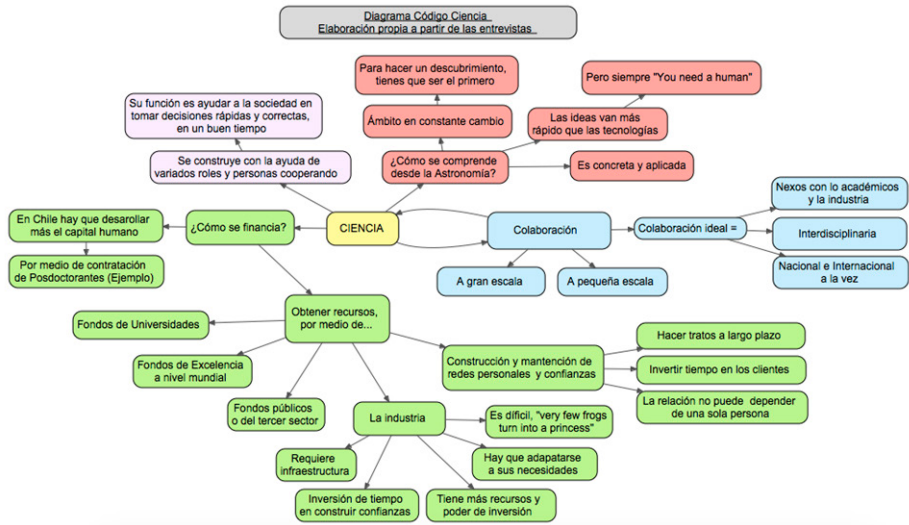


Figura 1: Diagrama codificación ciencia

Fuente: Elaboración propia con datos utilizados en la investigación de Mecanismos Sociales (2017).

A pesar de existir una gran inserción de las tecnologías en la ciencia, esto aún no ha sido suficiente para la realización de descubrimientos que aporten realmente al conocimiento: *“to make a genuine new scientific discovery I still think you need a human”* (Alex Szalay). Tal como comenta Kirk Borne, la rapidez de los datos es esencial en estas áreas de la ciencia, ya que *“well, you know, fast response is needed, fast discoveries”* (Kirk Borne). O como dirá Alex Szalay y Kirk Borne:

“It’s like the joke about the lion, you know, with the tennis shoes. Two guys are chased by a lion in the desert, and one of them takes the other guy’s shoes and starts to run a bit faster, and the other guy says “why are you taking my shoes? The lion will still catch you”, the other one says “but it will catch you first!” Anyway, so that’s where you have an advantage” (Alex Szalay).

“I think that’s a powerful world to put on the slide there, because it’s not just about creating knowledge, it’s about creating better decisions, more rapid decisions, and now I can make the right decision at the right time” (Kirk Borne).

Y es que en la ciencia, quien primero obtiene los datos y realiza un descubrimiento, es quien finalmente posee la autoría sobre aquello, situación que ha sido descrita por la literatura como la relevancia de la competencia por los descubrimientos científicos (Merton, 1973).

Otra de las particularidades de la astroinformática, es que se ha constituido como una síntesis interdisciplinar que se entrecruza con distintas áreas del saber, orientadas principalmente a las ciencias de los datos. En particular, el énfasis en la construcción de conocimiento colaborativo y de distintas áreas hace que este subcampo adquiera identidad:

“There is kind of a coherence, five, six faculty members who really spend a large amount of time working together, a mix of statisticians, astronomers and computer scientists. These are, the kind of, the three components that you need” (Alex Szalay).

En términos de rapidez, otro de los puntos importantes, es que ésta no siempre avanza a la misma velocidad que la generación de proyectos de desarrollo de tecnologías. Los avances en las herramientas de este tipo y en innovación, a veces pueden ocurrir con mayor retraso implicando que los descubrimientos también lo estén, lo cual es un desafío constantemente presente en la ciencia, y una importante preocupación para aquellos que trabajan en estos temas:

“Well I think the early work I did at NASA, was too early for that. There’s not a lot of spillover or technology transfer if you start from those projects, because that work was still in the early days” (Kirk Borne).

En el futuro, lo que entendamos como las necesidades de la ciencia para que ésta progrese, cambiará constantemente. Por ahora, lo que si podemos hacer es analizar respecto hacia dónde irán las investigaciones en los siguientes años, siendo una de las opiniones que éstas se orientarán hacia la incorporación de la pregunta por las condiciones de creación y adquisición de los datos:

“I tend to think of things around data discovery, data access, data operability, visibility, but knowing how you collected your data, the conditions under which the instrument was operated, anything about the environment that affects the way the data is interpreted, that is fundamental in every field I see here at NIST [National Institute of Standards and Technology]” (Robert Hanisch).

De esta manera, se evidencia que la construcción del conocimiento no sólo se crea a partir de la rapidez de los datos, sino que también desde la relevancia de la toma de decisiones en torno a la estandarización de éstos, como fue avistado por Hoeppe (2014) y las versiones preliminares de estos procesos de estandarización a través del sistema FITS, hoy bajo el estándar de IVOA. Por lo cual, el consenso que trae como resultado la diversificación de personas, roles y herramientas es fundamental para su desarrollo:

“So the standardization of course is very important, and this is not standardization in terms of a single archive standardization, in a global sense, so it's IVOA standards essentially” (Andreas Wicenec).

“You really have to get researches driven questions responded by informatics, analytics, statisticians and then [you will have] a solution” (Robert Harnisch).

Asimismo, no sólo la colaboración a nivel local ayudaría en varios términos, sino que también la colaboración a nivel internacional. Y es que este concepto es lo que puede generar otras formas de interacción, y sobre todo en la construcción del conocimiento. En particular, estudios previos han recalcado cómo la distancia geográfica en la colaboración científica genera varios impedimentos para promover la colaboración (Katz, 1994; Luukkonen, Persson & Sivertsen, 1992). Como ciencia en el sur del mundo esto podría ser uno de los grandes desafíos en la próxima década, reflexionando en los modos de atraer, consolidar y disminuir las distancias geográficas. Además de ello, este tipo de colaboración promueve y potencia espacios para la formación de estudiantes, con diversos intereses, y que en un futuro puedan aportar a la misma disciplina.

“But we do have interactions with research networks providers here in Australia and also in China, to work with us on that, and they are very helpful because that's an interesting topic to work on, to optimize that kind of stuff” (Andreas Wicenec).

“[T]eams of students work for us in interphases, so yeah, it's quite an active group, and they are interacting directly with our science teams, to help them do their science, their current science, and then plan for the future science they want to do with ASKAP (Australian Square Kilometer Array Pathfinder), and then finally all to the SKA (Square Kilometer Array)” (Andreas Wicenec).

Una de las instancias a considerar para promover la colaboración, son los proyectos de investigación y las conferencias, siendo espacios que permiten el encuentro entre distintas personas y el desarrollo de nuevas ideas, considerándose circuitos epistémicos institucionalizados en observatorios y colaboraciones internacionales. En otras palabras, son lugares que ayudan a promover la pre-colaboración, y con ello, en un futuro, la colaboración propiamente tal. Asimismo, los entrevistados señalan:

“[A]ll of them are a point to point connection, so we are, they are not the same, we are usually trying to set up our kind of pet, small project, at the beginning, and that small project gives us enough information and insights to

decide whether that's a useful and working exercise, because very often, well, sometimes at least, it looks like, well, it might not really work, or the interests are so different, that we could, we wouldn't do it, so we stop off at the first project, but in other areas it's actually working very well, so we continue to have projects going on, bigger ones as well, and then we have an agreement which usually comes from our memorandum of understanding or letter of intent, and then we have very concrete projects..." (Andreas Wicenec).

"But I think with LSST is definitely true, there, and, so one of the things I did when I was there is like I helped to form the astrophysics and statistics collaboration, science collaboration, and that collaboration includes astronomers, statisticians, computer scientists, and that was the only research collaboration team that's like that, all the other collaboration teams were just astronomers, right?" (Kirk Borne).

Otro tema que surgió fue en torno a las aplicaciones (reales y potenciales) de la ciencia a la industria. En este caso, los entrevistados manifiestan que trabajar en la industria y en el sector privado, en general, genera mayores ganancias, lo cual ha provocado que varios jóvenes recién egresados prefieran dedicarse a ello. No obstante, son pocos quienes ingresan a otro tipo de organizaciones, tales como fundaciones, proyectos, investigaciones y pequeños nichos con ideas nuevas. Es por esto que fomentar y potenciar las instancias de colaboración entre la investigación y la industria sea un importante desafío, en línea con la tesis de la triple hélice (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000), y también sería una buena alternativa que permitiría la ayuda mutua en términos de recursos y de capital humano.

En este sentido, existen espacios en el sector privado en donde se puede realizar colaboración y generación de negocios, en tanto se cumplan condiciones mínimas. No obstante, el sector privado es visto como un espacio en donde se enfrentan problemas similares a los de la astronomía (grandes volúmenes de información), pese a que este es reacio a asumir los riesgos de aplicar nuevos tipo de conocimiento provenientes de esta disciplina. Además, existe la paradoja de una eventual "fuga de cerebros" del ámbito académico al privado, en vista de que los astrónomos contarían con habilidades necesarias para incorporarse adecuadamente a dicho sector. Al respecto, los entrevistados señalan:

"I think it is a combination of things, one is the job market in astronomy has gone very tight for faculty and tenure track positions, the financial benefits in the private sector can be much higher than they are in the academic world. (...) I think that has a huge impact on the job situation and, we mean, sort of unfortunate for the astronomy and all the really bright young people, again, about find work in the private sector" (Robert Hanisch).

“Huge numbers of people’s emergency teams are trying to gather all the information they need to know where to send the disaster response, medical teams, food, things like these, and, so maybe that’s now quite the same as with time series in astronomy, but again they need fast information access and trend and correlation patterns or discoveries in data, so that becomes a common case everywhere” (Kirk Borne).

“There are so many computational problems, everywhere, that they are kind of 50 years behind. So if you hand them smart astronomy postdocs, who have gone through several years of data reduction and image processing, go and engage with a group on medical sciences, they will do miracles. But you need a medical group who is desperate, who realizes what they have been doing is not good enough, otherwise it’s like an old person and then another person carries them over across the street, and he says, “I did not really want to cross the street”. You can’t carry someone across the street if they don’t want to” (Alex Szalay).

Aun así, una de las mayores preocupaciones señaladas hace referencia a los financiamientos. Se ha mencionado ya que la infraestructura es esencial para la astronomía, lo que implica que los recursos destinados a ésta tienen que ser constantes y eficientes, *“So I say definitely the online fast analysis, ultra-fast analysis... in every business”* (Kirk Borne), pero conseguir los fondos, *“Every time is different”* (Alex Szalay). Y es que para obtener el financiamiento esperado, no siempre se logra establecer los vínculos con otras instituciones.

Aspectos positivos del desarrollo de la astronomía en Chile

Los elementos positivos sobre el territorio chileno y su comunidad astronómica comienzan, en general, con la mención de terrenos que permiten la creación de observatorios únicos con cielos privilegiados para el desarrollo de la astronomía. Estos terrenos facilitan el escenario de observación debido principalmente a las condiciones atmosféricas del país, lo cual fue destacado por los entrevistados como una de las ventajas comparativas de la astronomía chilena frente a los otros países:

“And I think you have potentially tremendous assets with the number of high end, world class observation facilities that have their base in Chile” (Robert Hanisch).

“[T]o be clear, advantage that Chile has a lot of telescopes, so the huge, all the ESO telescopes, ALMA, so there’s huge, massive, and some of the biggest telescopes in the world are in Chile” (Carlton Baugh).

“in Chile, you know, in astronomy, I mean I don’t know what other data elements exists outside astronomy, but obviously, the big fish in your pond is going to be LSST, you know... I guess there is going to be some big data center run by AURA in La Serena (...) it looks to me to be growing, and it’s, you know, and it’s in a good position to get good people because it’s a good place to do astronomy, the access to telescopes is excellent” (Michael Blanton).

Esta cualidad tan particular también ha sido la causa de que se hayan construido varios observatorios hasta la fecha, siendo ALMA y el LSST los ejemplos más recurrentes en las entrevistas para describir el caso chileno. Estas condiciones han significado, además, que en los últimos años se haya incrementado la cantidad de astrónomos, al existir mayor formación e instancias para compartir con las personas del mismo país, lo cual no deja de ser mencionado como unos de los desafíos para considerar. Tal como lo dicen los mismos entrevistados:

“[O]f course there are the multiple observatories that exist in Chile, I mean, obviously all the astronomic, the optical observatories, but also ALMA” (Kirk Borne).

“I think that you’re extremely fortunate in that you’re hosting ALMA, and you will be hosting LSST, which means that you’re in the heart of two of the most interesting of these sort of data intensive astronomy projects, and I think this is one of the things that is especially interesting” (Robert Mann).

“First of all, the number of astronomers is growing faster in Chile than anywhere” (Alex Szalay).

Aun cuando Chile se encuentra *“in a unique situation”* (Alex Szalay), al disponer de condiciones geográficas y atmosféricas adecuadas para la construcción de telescopios, lo cual ha generado una proliferación de observatorios astronómicos de gran impacto, es necesario consolidar proyectos únicos que tengan la potencialidad de desarrollarse en el país. En palabras de uno de los entrevistados:

“You are also sitting on top of the biggest astronomy data pipeline in the world that would be very easy to tap into. All this data is flying through Santiago. So if you can come up with clever ideas, with all the buffered data there and in La Serena, I think there are some unique project opportunities that you can do” (Alex Szalay).

Y es que en Chile no solo destacan todos estos elementos positivos, sino que también existe una visión desde el extranjero de que la calidad de vida es adecuada, razón por la cual muchos jóvenes extranjeros estarían evaluando la opción de ir a este país, como una oportunidad real: *“I think the quality of life in Chile is very attractive, a lot*

of people who graduate on this field and if they can find an interesting place to work they won't want to leave or less inclined to leave somewhere else like the US" (Alex Szalay). Produciendo una movilización de migrantes altamente especializados que buscan obtener experiencia en el país de tal forma de adquirir nuevas credenciales para futuros trabajos en sus lugares de origen o para realizar "ciencia de avanzada", al disponer de acceso a infraestructura de alta calidad, herramientas y capital humano, entre otros (Ackers, 2005).

Planteamiento de desafíos para el desarrollo de la astronomía chilena

Todas estas condiciones también plantean desafíos por parte de Chile. Uno de ellos es saber asegurar y negociar los tiempos de observación útil para los chilenos en cada observatorio, y las facilidades que aquello conlleva:

"Perhaps there will have to be a 6-month proprietary period for other 90% of the time, but maybe after 6 months and you should say that Chilean astronomers should be able to access it after those 6 months after it was taken or something. If all that data is actually stored in a way that is special for Chileans and you can actually integrate all this data together that can be, again, a competitive advantage" (Alex Szalay).

"I think initially some of the arrangements, they were not very fair to the Chilean, in terms of access to the facilities, that may be changing, I'm not sure, you know guarantee time or something, and some of the major instruments there at ALMA for example" (Robert Hanisch).

"[G]uaranteed observing time, so that Chilean astronomers are able to leverage the use of these tremendous instruments, and improve the quality and quantity of research they do" (Robert Hanisch).

En relación a ello, se considera como una ventaja competitiva la administración de datos, lo que en un futuro permitiría al país ser más rápido y eficiente en la generación y/o utilización del conocimiento, dado el consenso científico producido por la estandarización y el uso de los datos.

"If you can collect all that data in a much more systematic fashion and organize all data and generate well defined and well calibrated datasets that could be very beneficial for Chilean astronomy. (...) If all that data is actually stored in a way that is special for Chileans and you can actually integrate all this data together, that can be, again, a competitive advantage" (Alex Szalay).

“You know for LSST you are talking about a database with billions and billions of rows, and so you need to think about storage architecture for efficient access” (Robert Hanisch).

De la misma forma, se asocia la utilización y administración de datos con una perspectiva interdisciplinar. De tal forma que el trabajo de astrónomos con otros expertos en otras áreas sea beneficioso no solo para la disciplina, sino que también para el país.

“Chilean astronomy is active and it’s expanding and I think that just strengthening the interaction between the astronomers and the experts in statistics and machine learning, would be extremely valuable” (Robert Mann).

El trabajo con los datos implica necesariamente el desafío de promover nichos más pequeños, variados e innovadores que puedan generar aportes consistentes, que se vayan sumando y generando propuestas únicas. Esto facilitaría la promoción de un contexto en que existan áreas más precisas de estudio, pero que a su vez implique una diversidad de puntos de vista y de talentos posibles en el país. En palabras de los entrevistados:

“I guess what I could say from my own point here in Australia, and I guess Peter told you as well, the situation is very, very similar. So if you look into Australia is a small community as well, they’re quite well known around the world, but then if you look into other countries they have a very, very big community, in Europe or in the US, and you always feel a bit dwarfed against that, but I have to say, there are always niches, you just have to find them, and there are always good things you can do, and I think in Chile there are great people, we have two Chileans here at ICRAR as well and they are absolutely outstanding, so you have the resources, you have good ideas, and I think you can make it” (Andreas Wicenec).

“Where I would be the most wary of is in order to exploit opportunities, within each of those you should pick more focused areas, more precise or detailed areas, then going over each of those and what could be special for Chile on each of those” (Alex Szalay).

“I think it is really invigorating to get those diverse points of view and talents coming together” (Robert Hanisch).

La creación del LSST *“will offer an entirely new dimension of analysis, which is the time dimension”* (Alex Szalay). Este gran aporte es reconocido por varios con un gran consenso, planteando el desafío de saber qué es lo que viene y hacia dónde tendría que apuntar la construcción de nuevas infraestructuras en el país, de tal forma de

no detener el alto flujo de datos que actualmente se está produciendo. Ante ello una sugerencia fue la evaluación de llevar a cabo otro telescopio que complemente y potencie el LSST y otros telescopios en la misma latitud. Con esto, la calidad y riqueza de los datos pondría a Chile en un lugar privilegiado, al disponer de un complemento único y restringido en la utilización de datos, en donde otros investigadores busquen aliarse con la comunidad chilena.

"The other thing is that Chilean astronomers probably may want to build their own telescope. For LSST there won't be matching spectroscopy like we had for SDSS, and whoever will have control of the spectroscopy data will clean up all the synergic science. And SDSS was ten times more successful because it was the synergy of the two things [photometric + spectroscopy] with the matching, for the most interesting object you could study all the spectra, this is not about astroinformatics, but since my visit to Chile in January I've been thinking that compared to the Spanish building something in Canary Island or something built at Baja California, I think having another telescope at the same latitude will have a lot of strategical advantages. (...) Well, if you can build your own spectroscopy telescope, then you may not even want alliances at that point. Because then you control that data and at that point everybody will want to ally with you" (Alex Szalay).

La generación de un proyecto de esta envergadura no solo atraería mejores alianzas para el país, sino que también ayudarían a potenciar la colaboración internacional y la formación de personas con conocimientos variados y complementarios, tanto en la construcción, organización y manejo, como en el análisis de estas infraestructuras. Lo anterior llevaría a enfrentar otro de los grandes retos actuales para el país, que es aprender qué necesita el gobierno chileno de parte de este campo de estudio, a cambio de una mayor obtención de recursos y beneficios. Sobre todo, la forma de llevar los avances y conocimientos científicos a la industria y a la vida cotidiana. Y es que tal como mencionaba Sábato (2011), potenciar el triángulo entre el sector científico-tecnológico, sector productivo y Estado, resulta fundamental para el desarrollo de cada una de estas áreas. En palabras de los entrevistados:

"[I]f the Chilean government wants it to have leverage beyond their size economically or in terms of population. An investment, a big investment in informatics, machine learning area, applied to astronomy, but always thinking in terms of what we learn doing astronomy, can re-apply in other areas that will strengthen the Chilean economy. Information is the commodity of the modern world, and if you don't have the ability to intelligently manage, store, access, analyze, and create knowledge from that information then you are going to be falling behind" (Robert Hanisch).

"I have another word in my mind that I want to use later, but basically heterogeneous data integration" (Kirk Borne).

"That said, I think there probably needs to be a lot more injection of teaching data mining, and deep learning things at the graduate level, so that people get exposed to that kind of techniques, as they're going to need it once they start dealing with large dataset and innovation of complex data sets" (Robert Hanisch).

"And, so I think, thinking, about those terms enable you, as a community in Chile, that has access to so many different kinds of telescopes, and kinds of data, and that's very transferable technology to other businesses and other industries, as other industries will also have other data types that you have, so you have the system that can ingest, almost like an ingest archive tool, that makes the acquisition..." (Kirk Borne).

Sin embargo, al preguntarles por los desafíos en concreto de aquí a diez años, en el 2027, algunos creían que *"Chile could be actually one of the major centers, if not the dominant force in astroinformatics... if you do it well"* (Alez Szalay). Pero para ello, se deberían considerar ciertos aprendizajes:

"[M]ost astronomical images have hundreds and hundreds of metadata elements, keywords and headers so if you don't know a priori which of those are going to be really important to understand, say, some instrumental flaws, some behavior, long term behavior, changes in sensitivity or geometric distortions, or whatever" (Robert Hanisch).

"So community building is one that you need to start very aggressively. But try not to build a monolithic program. Try to enable lots of smart individuals to go on, try, to be creative (...) you should try to apply a funding system that rewards excellence, risk taking and reward success... very highly, much more than in the US or anywhere else in the world, that is why you will go on a faster trajectory" (Alex Szalay).

"I've been in so many review panels, there is a distribution of... there is a bunch of proposals, the proposals are generally not Gaussian distributed in quality, but they are not normal, they have a very long tail, there are some very good, very clever, but very unusual proposals, the panel assigns numerical grades and then you take an average that does have a Gaussian distribution, that automatically... one bad grade kills everything in the tail. Try and create one mechanism where you actually give all those risky proposals a chance" (Alex Szalay).

Una de las medidas que se mencionó fue la de potenciar la formación de profesionales, y algunos entrevistados también destacaron que esto era central para el desarrollo de la investigación en el país. Así, una propuesta concreta sería la de llevar estudiantes de posgrado al extranjero a especializarse en materias que sean útiles a su vuelta (como lo son las áreas prioritarias), específicamente en ciertos observatorios que requieran de personal o de habilidades/conocimientos determinados. O, por el contrario, traer estudiantes desde el extranjero o expertos para aprender sobre lo que están haciendo en otros contextos, ayudaría enormemente a enriquecer la información y el análisis actual de los datos.

“I think that’s definitely the right way to go, to get expertise from other countries, so by exchanging researchers, getting young people from Chile to go and work in these labs and then getting them to learn. Is, that way you get people returning back to Chile with some new expertise, so is a faster way to develop and learn, perhaps the obvious groups are the people doing big surveys, the groups in the US involved in DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument), LSST, the people in Europe involved in those surveys, people involved in Euclid, involved mostly in universities in Europe.” (Carlton Baugh).
“[W]ell I think obviously, what’s key overall is integrating into these international projects, like ALMA and LSST, which are operating in Chile and have centres in Chile and I think that if you can get students and young staff interacting with the international project staff in these projects in Chile I think that’s extremely important. (...) students who are working partly in Chile and partly internationally, I think the experience that these students are able to gain at their international interactions would help a lot and bring that expertise back to Chile, and to help to expand its interactions in this overall area” (Robert Mann).

Para ello también habría que considerar que son necesarias las inversiones internacionales en conjunto con las nacionales, con el propósito de modernizar los computadores, los programas y las tecnologías en general. Desarrollando esta idea, se podría llegar a tener relaciones de mutuos beneficios entre todas las entidades que conforman la noción de la triple hélice, Estado-universidad-empresa. Sobre todo porque uno de los nuevos desafíos para estos temas, no solo consiste en contar con más astroinformáticos, sino en integrar más conocimiento sobre estadísticas, ciencias de la computación, entre otros.

“I think the key thing to make it grow is to get more people working on it and have more computers (...) I think what you need are more people and more resources to do that, so more infrastructure, more computing, things” (Carlton Baugh).

"[I]n terms of engaging the Chilean community of computer scientists and statisticians, you know, that's what you want to do I think, that becomes probably a much easier data set to introduce that community to, than sort of the data sets that come from the ESO telescopes or off of Campana and, you know, these things where it's like here is a pile of data files, have fun" (Michael Blanton).

"I think that it isn't just a passing phase in astronomy, I think this is a real change of the nature of astronomy, and it means that the skills that astronomers will need, are expanding and extending into statistics, computing, etcetera, which means I think that it's an expansion of what's expected of an astronomer really" (Robert Mann).

En otras palabras, se hace necesario seguir construyendo infraestructura para que el flujo de información logre continuar; no centralizar los procesos en un solo lugar, y lograr una mayor diversificación de estos; organizar y tener mayor cuidado en la forma de organización de los datos, sobre todo si consideráramos que éste podría aumentar con más observatorios y proyectos; darle una oportunidad a propuestas riesgosas de proyectos, ya que es la única forma de conseguir aportes y descubrimientos de gran alcance; continuar y fortalecer la formación de estudiantes; y por último, postular a fondos de excelencia, con metas claras a cumplir cada cierto tiempo, lo que produciría a su vez, la atracción de recursos privados o de la industria.

Conclusiones

Chile se convirtió en uno de los lugares más propicios para la construcción de grandes observatorios astronómicos debido, entre otras cosas, a las características de su contexto geográfico. Dado lo anterior, y producto del advenimiento de una nueva generación de telescopios, se creó el programa ASTROData para comprender las potenciales ventajas comparativas que podría tener el país para enfrentar este nuevo escenario. Desde dicha perspectiva y en términos generales, uno de los elementos claves de este artículo fue comprender en qué consistía la subdisciplina de la astroinformática en términos globales, destacándose que ésta se conforma producto de que hay una gran cantidad de datos disponibles y dado que existe la necesidad de generar instancias interdisciplinarias para afrontar esta nueva forma de generar conocimiento. En segundo lugar, se aprecia que este nuevo escenario es beneficioso a escala local, en tanto los científicos adquieren ciertas competencias que les permite tener habilidades transferibles al mundo privado y público. Finalmente y en línea con la tesis de la triple hélice, se observa que los actores que pueden generar un desarrollo integral e interconectado se encuentran mediados principalmente por el ámbito académico, y que el sector privado y público pueden facilitar, apoyar e incentivar en tanto exista voluntad, apertura y colaboración coordinada entre las distintas instancias.

A modo de conclusión del artículo, se proponen líneas de mejoramiento, en torno a la situación del campo de la astronomía y la subdisciplina de la astroinformática, considerando los factores que influyen en el desarrollo social y económico de un país. Esto, de tal modo de reflexionar sobre el desarrollo integral e interconectado del país, junto con reflexionar en qué medida, nivel y escala se puede destacar el rol de los diversos actores en el desarrollo de este subcampo. Para ello, se sintetizan los resultados en tres dimensiones.

En primer lugar y tal como señalaron los científicos que participaron de este estudio, las necesidades de inversión más urgentes respecto a los desafíos que presentará la astroinformática en el futuro, es que Chile requiere un importante desarrollo de capital humano avanzado. En otras palabras, es necesaria la formación de una generación de profesionales altamente calificados para una inserción competitiva en el contexto internacional.

En segundo lugar, también como fue sugerido por los entrevistados es fundamental potenciar el desarrollo de las relaciones de colaboración permanente entre la ciencia y la industria. Asimismo, estas fuentes han concluido que el desafío está en ampliar la demanda de este tipo de profesionales, debido a que el sector privado en Chile no ha demostrado requerir de manera significativa de investigadores especializados, por lo que los recursos e incentivos, en general, provienen del Estado y las universidades. No obstante, es importante considerar que es posible que este poco interés demostrado por el sector privado se deba mayoritariamente a un desconocimiento y a una desconexión con el mundo académico y científico (observado como riesgoso), que a una falta de necesidades y de espacios de inserción.

En tercer lugar, se propone la incorporación de mayores esfuerzos por parte del Estado, en cuanto a las necesidades del campo de la astroinformática. Los participantes de este estudio manifestaron que las necesidades tecnológicas más urgentes tienen que ver con el desarrollo de la industria del Big Data, la cual implica el levantamiento, procesamiento, análisis, transferencia y almacenamiento de grandes volúmenes de datos, trabajo que ya no puede ser realizado a partir de la informática y las tecnologías de datos tradicionales, ni por investigadores con pocos conocimientos en el área. En este sentido, es importante avanzar en el desarrollo de herramientas que permitan integrar, acceder y compartir de manera eficiente los datos astronómicos disponibles a nivel mundial, las cuales también podrían ser útiles para otros campos disciplinares y/o productivos del país. En ello destaca la generación de tecnologías acordes y complementarias a los estándares internacionales y a la consolidación de las capacidades de cómputo necesarias para el procesamiento de información. Finalmente, el foco está en diversificar las herramientas tecnológicas y sus expertos, pensando en potenciar tanto la investigación académica como el desarrollo de la industria.

Es importante destacar que para llevar a cabo estas recomendaciones y superar los altos grados de incertidumbre, resulta fundamental trabajar en la difusión y socialización de los avances y desarrollos científicos y tecnológicos del país, con el propósito de vincular el campo del conocimiento científico con la sociedad, de manera que ésta lo valore como un pilar fundamental del desarrollo humano del país. De esta manera, se vuelve imprescindible invertir en todos los niveles del sistema educativo, contemplando la participación de expertos y la transmisión del conocimiento científico, de manera que se logre una apropiación de este conocimiento y el desarrollo de un pensamiento crítico que genere una cercanía y motivación por las áreas de investigación, ciencia y tecnología desde temprana edad. Sólo así se puede pensar en un país que, a largo plazo, cuente con una gran masa de profesionales en estas áreas que trabajen para posicionar a Chile como una potencia en los mercados internacionales.

Por otro lado, de tal forma de responder cómo actores claves del campo destacan el advenimiento de la era digital, se puede apreciar que la forma en que la astroinformática es definida por los entrevistados permite que la astronomía no deje de mantener su concepción paradigmática enfocada en el predominio de la creatividad científica y la “batalla por las prioridades” (Merton, 1973). No obstante, en la disciplina se espera ampliar su campo de acción a otras áreas del saber en la preocupación por el manejo de grandes volúmenes de información, de tal forma de retroalimentarse. En este mismo sentido, no se observa que exista una “invasión” de otros campos del saber al quehacer astronómico, sino una tendencia a la interdisciplinariedad en el trabajo científico, a la diferenciación del trabajo científico (equipo de trabajos, conexión con otros observatorios y flujos de capital humano avanzando), a los consensos científicos (coordinación, construcción de telescopios y estandarización de los datos) y al aumento del tamaño de la disciplina (tecnologías, colaboradores e información). En especial, la estandarización de información es considerada como uno de los aspectos fundamentales en la creación de ciencia, centralizando la información proveniente de varios de los telescopios instalados en el país en donde su éxito dependerá en gran parte de la calidad del trabajo de depuración de datos y/o asumiendo riesgos científicos (por proyecto o tecnologías complementarias). Como se aprecia, la subdisciplina se ha constituido como resolución de un problema concreto dentro del campo disciplinar que consiste en la sobreabundancia de información.

Con respecto al esfuerzo mancomunado de empresa-Estado-universidades. No pareciera existir una preeminencia de una dimensión por sobre las otras, sino la necesidad de producir mejores flujos de interrelaciones entre todas las instancias que permitan que: a) se generen grupos de trabajos altamente especializados en torno a una coordinación efectiva de la división del trabajo científico y la integración de migrantes con capital humano avanzado; b) aplicabilidad científica al ámbito privado y/o la consolidación de espacios híbridos en el quehacer científico (cuyo tránsito del

sector científico al privado es visto como paradójal); c) el desacoplamiento del entorno nacional como una relación internacional, en donde se movilicen no solo recursos financieros, sino que también capital humano avanzado.

Sin embargo, se aprecia que la universidad posee un rol protagónico en la formación de sus estudiantes, esto en varios de éstos pueden ser potencialmente solicitados por el mundo privado debido a sus capacidades técnicas y no pareciera ocurrir lo mismo en la relación inversa (sector privado o público hacia la academia). En este sentido, la transferencia y conformación de esta nueva subdisciplina, como espacio de creación de conocimiento, ha generado una interrelación predominante entre el mundo de la academia y el sector privado, observándose una moral económica (McCray, 2000) que traspa en tanto énfasis en el reconocimiento de los científicos. De la misma forma, existe un desarrollo latente en el ámbito tecnológico que es percibido como un proceso de gestación de largo plazo, no lineal y riesgoso, que de cumplirse los estándares internacionales y con el apoyo del sector público, puede producir una ventaja competitiva en el desarrollo de la astroinformática. Creando por ejemplo, centros de administración de datos chilenos aprovechando el acceso privilegiado a los tiempos de observación

Finalmente, Chile posee una ventaja geográfica que permite albergar probablemente los telescopios más relevantes en la actualidad. Ello implica no solo un incremento de financiamientos, sino también una expansión en el tamaño de la comunidad astronómica local, cierta voluntad política y flexibilidad en su política científica. Sin embargo, se aprecia una potencialidad para generar financiamientos únicos en astronomía al ser un área prioritaria para el país, de tal forma de aprovechar la ventaja de la velocidad en la disposición de información. Para ello, se ha de cuidar el tiempo de observación que actualmente dispone el país (10% de los tiempos de observación en los observatorios instalados en el país y 10% de los clústers del LSST), estandarizar los datos que se generen y/o producir la infraestructura adecuada para hacer frente a este desafío (por ejemplo, el país albergará un 90% de los datos generados en ALMA, AURA, que garantizará la mejor información astronómica del mundo) o ser generadores de nuevas tecnologías. Como actualmente se ha comenzado a realizar con la construcción de una carretera de fibra óptica desde La Serena a Santiago, que se extenderá por gran parte del territorio nacional.

No obstante, la prospección del trabajo astronómico no solo tendrá desafíos para la forma en que se organiza y estructura el desarrollo científico, sino que podrá poner en suspenso cuáles serán las colaboraciones en sus distintos mundos sociales (universidades y gobierno, gobierno y empresas, empresas y científicos, actores internacionales y gobierno, actores internacionales y universidades, entre varios otros), cómo se consolidará la ciencia a gran escala en el nuevo escenario de la eclosión de información y cómo un país de la periferia tendrá la oportunidad de ser uno de los actores centrales en las nuevas formas de generar conocimiento.

Referencias

- Ackers, Louise. (2005). «Moving People and Knowledge: Scientific Mobility in the European Union». *International Migration*, 43 (5): 99–131. Doi: 10.1111/j.1468-2435.2005.00343.x
- Borne, Kirk D; Accomazzi, Alberto; Bloom, Joshua; Brunner, Robert; Burke, Douglas; Butler, Nathaniel; Chernoff, David F.; Connolly, Brian; Connolly, Andrew; Connors, Alanna; Cutler, Curt; Desai, Shantanu; Djorgovski, George; Feigelson, Eric; Finn, L. Samuel; Freeman, Peter; Graham, Matthew; Gray, Norman; Graziani, Carlo; Guinan, Edward F.; Hakkila, Jon; Jacoby, Suzanne; Jefferys, William ; Kelly, Brandon; Knuth, Kevin; Lamb, Donald Q.; Lee, Hyunsook; Loredó, Thomas; Mahabal, Ashish; Mateo, Mario; McCollum, Bruce; Muench, August; Pesenson, Misha (Meyer); Petrosian, Vahe; Primini, Frank; Protopapas, Pavlos; Ptak, Andy; Quashnock, Jean; Raddick, M. Jordan; Rocha, Graca; Ross, Nicholas; Rottler, Lee; Scargle, Jeffrey; Siemiginowska, Aneta; Szalay, Alex ; Tyson, J. Anthony; Vestrand, Tom; Wallin, John; Wandelt, Ben; Wasserman, Ira M.; Way, Michael; Weinberg, Martin; Zezas, Andreas; Anderes, Ethan; Babu, Jogesh; Becla, Jacek; Berger, James; Bickel, Peter J.; Clyde, Merlise; Davidson, Ian; van Dyk, David; Eastman, Timothy; Efron, Bradley; Genovese, Chris; Gray, Alexander; Jang, Woncheol; Kolaczuk, Eric D. ; Kubica, Jeremy; Loh, Ji Meng; Meng, Xiao-Li; Moore, Andrew; Morris, Robin; Park, Taeyoung; Pike, Rob; Rice, John; Richards, Joseph; Ruppert, David; Saito, Naoki; Schafer, Chad; Stark, Philip B.; Sun, Jiayang; Wang, Xiao; Wolpert, Robert (2009). «Astroinformatics: a 21st century approach to astronomy». *Astro2010: The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey, Position Papers*, (6): 1-14. Recuperado de arXiv:0909.3892.
- Borne, Kirk D. (2010). «Astroinformatics: data-oriented astronomy research and education». *Earth Science Informatics*, 3 (1/2): 5–17.
- Canales, Manuel. (2006). Metodologías de investigación social. Introducción a los oficios. Chile: Lom.
- Canales, Manuel. (2014a). Investigación social. Lenguajes del diseño. Chile: Lom.
- Canales, Manuel. (2014b). Escucha de la escucha. Análisis e interpretación en la investigación cualitativa. Chile: Lom.
- Cárdenas, Juan Pablo; Fabiola Cabrera; Graciela Moguillansky y Gastón Olivares (2015). Cartografía del conocimiento en Chile. Valparaíso: CNI Consejo Nacional de Innovación para el desarrollo.
- Catanzaro, Michele. (2014). «Chile: Upward Trajectory». *Nature*, 510: 204–205.
- Chang, Han-wen y Mu-Hsuan Huang (2013). «Prominent institutions in international collaboration network in astronomy and astrophysics». *Scientometrics*, 97(2), 443–460. Doi: 10.1007/s11192-013-0976-x

- Charmaz, Kathy. y Richard Mitchell (2001). «Grounded Theory in Ethnography». En Paul Atkinson, Amanda Coffey, Sara Delamont, John Lofland y Lyn Lofland, (eds.) *Handbook of Ethnography*. (pp. 160-174). London: SAGE Publications.
- Charmaz, Kathy. (2013). «La teoría fundamentada en el siglo XXI. Aplicaciones para promover estudios sobre la justicia social». En Denzin, Norman y Yvona Lincoln (Coord.) *Las estrategias de investigación cualitativa*. (pp. 270-325). España: Gedisa.
- Comisión Presidencial Ciencia para el desarrollo en Chile (2015). *Un sueño compartido para el futuro de Chile. Informe a la Presidenta de la República, Michelle Bachelet*. Comisión presidencial. Recuperado de <http://www.economia.gob.cl/cnid-web/wp-content/uploads/sites/35/2015/07/Informe-Ciencia-para-el-Desarrollo.pdf>
- CONICYT. (2013). *Roadmap for the Fostering of Technology Development and Innovation in the Field of Astronomy in Chile*. Chile: CONICYT.
- Ernst & Young (2018). *Astroinformatics Business Opportunities (actual offer, future demand, and opportunities for Chile)*. Chile: Ernst & Young.
- Espinosa, Alejandro. (2014). «Diferenciación de la astronomía: Autodescripciones y concepción heliocéntrica en el horizonte de la sociedad mundial». *Revista Mad*, (31): 60–72.
- Espinosa-Rada, Alejandro. (2015a). «Asignación de científicos en el observatorio astronómico Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA): lógica virtual, sociomaterialidad y régimen de control en la ciencia». *Persona y Sociedad*, 29 (2): 45–66.
- Espinosa-Rada, Alejandro. (2015b). *La Productividad y la Colaboración en el Reconocimiento Científico de los Astrónomos de Chile*. Tesis para optar al grado de Magíster en Sociología, Instituto de Sociología, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Etzkowitz, Henry, & Loet Leydesdorff (2000). «The dynamics of innovation: from National Systems and 'Mode 2' to a Triple Helix of university–industry–government relations». *Research Policy*, 29 (2): 109–123. Doi: 10.1016/S0048-7333(99)00055-4
- Flores, Rodrigo y Carola Naranjo (2014). «Análisis de datos cualitativos: el caso de la grounded theory (teoría fundamentada)». En Canales, Manuel. (Coord.). *Escucha de la escucha. Análisis e interpretación en la investigación cualitativa*. Chile: LOM.
- Gaínza, Alvaro. (2006). «La entrevista individual en profundidad». En Canales, Manuel. (Coord.). *Metodologías de investigación social. Introducción a los oficios*. (pp. 217-287). Chile: LOM.
- Glänzel, Wolfgang. (2001). «National characteristics in international scientific co-authorship relations». *Scientometrics*, 51 (1): 69–115. Doi: 10.1023/A:1010512628145

- Hara, Noriko, Paul Solomon, Seung-Lye, Kim & Diane Sonnenwald (2003). «An emerging view of scientific collaboration: Scientists' perspectives on collaboration and factors that impact collaboration». *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 54 (10): 952–965. Doi: 10.1002/asi.10291
- Heidler, Richard. (2011). «Cognitive and Social Structure of the Elite Collaboration Network of Astrophysics: A Case Study on Shifting Network Structures». *Minerva*, 49 (4): 461–488. Doi: 10.1007/s11024-011-9184-0
- Heidler, Richard. (2017). «Epistemic Cultures in Conflict: The Case of Astronomy and High Energy Physics». *Minerva*, 55 (3): 249–277. Doi: 10.1007/s11024-017-9315-3.
- Hoeppe, Götz. (2014). «Working data together: The accountability and reflexivity of digital astronomical practice». *Social Studies of Science*, 44 (2): 243–270. Doi: 10.1177/0306312713509705
- Jansen, Dorothea; Regina Von Goertz & Richard Heidler (2010). «Knowledge production and the structure of collaboration networks in two scientific fields». *Scientometrics*, 83 (1): 219–241. Doi: 10.1007/s11192-009-0022-1.
- Jiménez, Susana & Stefano Bruzzo (2016). «Serie informe económico. Ciencia, Tecnología e innovación para el desarrollo. Libertad y desarrollo». Recuperado de: <http://lyd.org/wp-content/uploads/2016/05/SIE-256-Ciencia-Tecnologia-e-Innovacion-para-el-desarrollo-Abril2016.pdf>
- Katz, J., Sylvan (1994). «Geographical proximity and scientific colaborativo». *Scientometrics*, 31 (1): 31–43. Doi: 10.1007/BF02018100.
- Leydesdorff, Loet, & Ismael Rafols (2009). «A global map of science based on the ISI subject categories». *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60 (2): 348–362. Doi: 10.1002/asi.20967.
- Lundvall, Bengt-Å ke A. (2007). «National innovation systems—analytical concept and development tool». *Industry and Innovation*, 14 (1): 95–119. Doi: 10.1080/13662710601130863.
- Lundvall, Bengt-Å ke A. (1988). «Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation». En Giovanni Dosi, Christopher Freeman, Richard Nelson, Gerald Silverberg y Luc Soete (eds.). *Technical change and economic theory*. (pp. 349-369). Londres: Pinter.
- Luukkonen, Terttu, Olle Persson & Gunnar Sivertsen (1992). «Understanding patterns of international scientific collaboration». *Science, Technology & Human Values*, 17 (1): 101–126.
- Mecanismos Sociales (2017). *Asesoría Profesional para levantar información desde actores clave y hacer un análisis prospectivo de la astroinformática*. Chile: Mecanismos Sociales.
- Merton, Robert K. (1973). *The sociology of science: Theoretical and empirical investigations*. United States: University of Chicago press.

- McCray, Patrick. (2000). «Large telescopes and the moral economy of recent astronomy». *Social Studies of Science*, 30 (5), 685–711. Doi: 10.1177/0306312000030005002
- McCray, Patrick. (2014). «How Astronomers Digitized the Sky». *Technology and Culture*, 55 (4): 908–944. Doi: 10.1353/tech.2014.0102.
- McCray, Patrick. (2017). «The Biggest Data of All: Making and Sharing a Digital Universe». *Osiris*, 32 (1): 243–263. Doi: 10.1086/693912
- Medina, Lorena (2014). «El análisis dialógico del discurso: analizar el discurso sin olvidar el discurso». En Canales, Manuel. (Coord.) Escucha de la escucha. Análisis e interpretación en la investigación cualitativa. (pp. 295-317). Chile: LOM.
- Ministerio de Economía. (2012). Capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile. Chile: Ministerio de Economía.
- Ministerio de Economía (2017). Resultados Preliminares V Encuesta Nacional sobre Gasto y Personal en I+D. Gobierno de Chile. Chile: Ministerio de Economía, Gobierno de Chile.
- Nelson, Richard R. (1993). National innovation systems: a comparative analysis. United Kingdom: Oxford University Press.
- REUNA-CONICYT. (2009). La necesidad en Chile de una infraestructura tecnológica colaborativa de apoyo a la investigación astronómica. Chile: REUNACONICYT.
- Ruiz, Jorge. (2009). «Análisis Sociológico del Discurso: Métodos y Formas». *Forum Qualitative Social Research*, 10 (2): Art. 26.
- Sábato, Jorge (2011). El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia. Argentina: Ediciones Biblioteca Nacional.
- Sierra, Francisco. (1998). «Función y sentido de la entrevista cualitativa en investigación social». En Galindo, Jorge. (Coord.) Técnicas de investigación en sociedad, cultura y comunicación. (pp.187-199). México: Pearson y Addison Wesley Longman.
- Sierra, Restituto. (2001). Técnicas de investigación social: teoría y ejercicios. España: Ed. Paraninfo.
- Stake, Robert. (2013). «Estudios de casos cualitativos». En Denzin, Norman y Yvonna Lincoln (Coords.). Las estrategias de investigación cualitativa. (pp. 154-197). España: Gedisa.
- Strauss, Anselm y Juliet Corbin (2002). Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada. Bogota: Editorial Universidad de Antioquía.
- Szalay, Alexander, George Djorgoski y George Lake (1999). «Digital sky. In Research and Technology Advances in Digital Libraries». En Szalay, Alexander, Djorgoski, George, y Lake, George. Conference Proceedings. IEEE Forum on Research and Technology Advances in Digital Libraries. (pp. 148–148). IEEE.

- Taylor, Steve J. y Robert Bogdan (2000). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paídos.
- Troncoso, Carlos, y Elaine Daniele (2004). *Las entrevistas semiestructuradas como instrumentos de recolección de datos: una aplicación en el campo de las ciencias naturales*. Argentina: Universidad Nacional del Comahue-Consejo Provincial de Educación de Neuquen.
- Valles, Miguel. (2000). *Técnicas cualitativas de investigación social. Reflexión metodológica y práctica profesional*. Madrid: Síntesis.
- Wagner, Caroline S., y Loet Leydesdorff (2004). «Network structure, Self-Organization, and the Growth of International Collaboration in Science». *Research Policy*, 34 (10): 1608–1618.

Agradecimientos

Este estudio contó con el financiamiento de Industrias Inteligentes, la Asociación Chilena de Empresas de Tecnología de Información A.G. (ACTI) y la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) de Chile, por lo que la propiedad de los datos de este estudio pertenece a esta última institución. Agradecemos también a los miembros del equipo de Mecanismos Sociales Ltda. por los análisis previos, en particular a Jorge Gibert, Esteban Muñoz, Macarena Alegría y María Paz Asenjo, a los miembros del programa ASTROData por el levantamiento de información y comentarios a versiones preliminares de la información; en específico a Demián Arancibia, Mauricio Araya, Amelia Bayo, Guillermo Cabrera, Francisco Förster, Roberto González, Juan Carlos Maureira, Nelson Padilla y Mauro San Martin. Agradecemos también a los tres revisores anónimos de este documento por sus valiosos comentarios.

Sobre los autores

ALEJANDRO ESPINOSA-RADA es ©Doctor en Sociología, Universidad de Mánchester, Reino Unido. Magíster en Sociología, P. Universidad Católica de Chile, y licenciado en Sociología por la Universidad Alberto Hurtado. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4177-1912>. Correo electrónico: alejandro.espinosa@postgrad.manchester.ac.uk

FRANCISCA ORTIZ RUIZ es ©Doctora en Sociología, Universidad de Mánchester, Reino Unido. Magíster en Sociología, P. Universidad Católica de Chile, y licenciada en Sociología por la Universidad Alberto Hurtado. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8538-4688> Sus otras publicaciones se encuentran disponibles en: ResearchGate y Academia.edu. Correo electrónico: francisca.ortiz@postgrad.manchester.ac.uk

TRINIDAD CERECEDA LORCA es Socióloga de la Universidad Alberto Hurtado. Actualmente se desempeña como investigadora en la Consultora “Sociedad de Análisis de Redes Sociales Ltda.” (ARSchile). Perfil completo disponible en LinkedIn. Correo electrónico: tcereceda@ars-chile.cl

CUHSO. CULTURA-HOMBRE-SOCIEDAD

Fundada en 1984, la revista CUHSO es una de las publicaciones periódicas más antiguas en ciencias sociales y humanidades del sur de Chile. Con una periodicidad semestral, recibe todo el año trabajos inéditos de las distintas disciplinas de las ciencias sociales y las humanidades especializadas en el estudio y comprensión de la diversidad sociocultural, especialmente de las sociedades latinoamericanas y sus tensiones producto de la herencia colonial, la modernidad y la globalización. En este sentido, la revista valora tanto el rigor como la pluralidad teórica, epistemológica y metodológica de los trabajos.

EDITOR
Matthias Gloël

COORDINADORA EDITORIAL
Claudia Campos Letelier

CORRECTOR DE ESTILO Y DISEÑADOR
Angélica Vera Sagredo

TRADUCTOR, CORRECTOR LENGUA INGLESA
Aurora Sambolin Santiago

DESARROLLADOR DE SISTEMAS
Laura Navarro Oliva

SITIO WEB
cuhso.uct.cl

E-MAIL
cuhso@uct.cl

LICENCIA DE ESTE ARTÍCULO
Creative Commons Atribución Compartir Igual 4.0 Internacional