
ESTUDIOS PÚBLICOS

Nº 168 PRIMAVERA 2022

ESTUDIOS PÚBLICOS

www.estudiospublicos.cl

Estudios Públicos es una revista trimestral, arbitrada, de carácter multidisciplinar y con foco en los problemas más relevantes que enfrenta el espacio público en una sociedad libre y democrática. Provee de un foro de alto nivel a intelectuales y académicos interesados en publicar investigaciones de calidad que aborden las transformaciones, debilidades y oportunidades del ámbito público contemporáneo, bajo una perspectiva técnica, histórica o conceptual. La revista promueve el intercambio de ideas, experiencias y evaluaciones críticas que tengan interés público.

La revista aparece trimestralmente en forma impresa y digital. Los trabajos publicados en *Estudios Públicos* han sido previamente evaluados por especialistas en un proceso de arbitraje ciego. Los textos publicados son responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de los editores ni del Centro de Estudios Públicos.

Las colaboraciones deben ceñirse a las normas para presentación de trabajos a *Estudios Públicos*. Los trabajos sometidos a consideración, así como los comentarios y correspondencia, deben ser enviados a través de www.estudiospublicos.cl.

Print and online editions of *Estudios Públicos*

The online edition of *Estudios Públicos* is published at www.estudiospublicos.cl, and includes papers in Spanish and their abstracts both in Spanish and English.

Indexación

Estudios Públicos está incorporada en los siguientes índices académicos: REDIB, Latinex Catálogo, Erihplus, Dialnet, Google Scholar, Miar, Clase, Hapi, Ebsco, OCLC y Biblat.

Suscripciones

Nicole Gardella, editora ejecutiva. Email: ngardella@cepchile.cl. También, a través de www.estudiospublicos.cl.

Teléfono: +56 2 2328 2400

ISSN 0716-1115 (edición impresa)

ISSN 0718-3089 (edición en línea)

Edición gráfica y digital: Pedro Sepúlveda V.

Impreso en Andros Productora Gráfica

Hecho en Chile / Printed in Chile, 2022

Aldo Mascareño

Editor en Jefe, Centro de Estudios Públicos, Chile

Nicole Gardella

Editora Ejecutiva, Centro de Estudios Públicos, Chile

Adelaida Neira

Editora de Estilo, Centro de Estudios Públicos, Chile

COMITÉ EDITORIAL

Enrique Barros

Universidad de Chile, Chile

Sonia Montecino

Universidad de Chile, Chile

Antonio Bascañán

Universidad Adolfo Ibáñez, Chile

Leonidas Montes

Centro de Estudios Públicos, Chile

José Joaquín Brunner

Universidad Diego Portales, Chile

Eric Nelson

Harvard University, Estados Unidos

Sofía Correa Sutil

Universidad de Chile, Chile

Eric Schliesser

University of Amsterdam, Países Bajos

Sebastián Edwards

UCLA, Los Ángeles, Estados Unidos

John Thompson

Cambridge University, Reino Unido

Francisco Gallego

Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

Florencia Torche

Stanford University, Estados Unidos

James Heckman

Chicago University, Estados Unidos

Sergio Urzúa

University of Maryland, Estados Unidos

Deirdre McCloskey

University of Illinois at Chicago,
Estados Unidos

PRESENTACIÓN DE TRABAJOS A *ESTUDIOS PÚBLICOS*

- *Estudios Públicos* publica trabajos que han sido previamente admitidos para revisión y luego favorablemente informados por al menos dos especialistas en un proceso de arbitraje ciego.
- Se entiende que los trabajos recibidos no han sido publicados en forma íntegra o parcial en otro medio impreso o electrónico, ni han sido sometidos simultáneamente a otros editores en su forma actual o como parte de un trabajo más extenso.
- *Estudios Públicos* concede el permiso para hacer copias físicas o digitales para uso personal, siempre y cuando estas copias no se distribuyan con provecho comercial y exhiban en su primera página la fuente original, el nombre del autor y esta misma advertencia.
- Para republicar trabajos aparecidos en *Estudios Públicos* se debe solicitar permiso escrito al editor en jefe.
- Normas de estilo de *Estudios Públicos* en <https://estudiospublicos.cl/index.php/cep/informacion-revista>.
- *Estudios Públicos* adhiere supletoriamente a la siguiente licencia de Creative Commons: Atribucion-NoComercial-CompartirIgual (BY-NC-SA).

Nº 168
primavera
2022

ESTUDIOS PÚBLICOS

CONTENIDOS

ARTÍCULOS

- 7 Una revisión del impacto económico del cambio climático en Chile versus otros países: pérdida del PIB, productividad laboral, agricultura, costos en salud y políticas fiscales
Carlos Madeira
- 37 Sesgo en las Notas de Enseñanza Media (NEM): propuestas para perfeccionar los instrumentos de selección a la educación superior
Sylvia Eyzaguirre, Javiera Gazmuri y Giorgiوليو Parra
- 73 Clasificación de universidades en Chile: crítica al modelo histórico y una propuesta a través de *clusters*
Francisco Alessandri, Tania Villarroel y Magdalena Vergara
-

ENSAYO

- 109 El fondo cósmico de microondas y la contribución de Chile a la revolución cosmológica contemporánea
Rolando Dünner
-

RESEÑAS

- 145 *La industria académica: la universidad bajo el imperio de la tecnocracia global*, de Carlos Hoevel
José Joaquín Brunner
- 153 *Artificial Communication. How Algorithms Produce Social Intelligence*, de Elena Esposito
Gastón Becerra
- 161 *The Ethics, Epistemology, and Politics of Richard Rorty*, de Giancarlo Marchetti (ed.)
Valeria Campos Salvaterra
- 169 *Presidencialismo a la chilena. Coaliciones y cooperación política, 1990-2018*, de Mireya Dávila
Andrés Estefane
- 177 *8 de agosto de 1828. Un día histórico como cualquiera*, de Rafael Sagredo
Lucas Sierra
-

Artículo

Una revisión del impacto económico del cambio climático en Chile versus otros países: pérdida del PIB, productividad laboral, agricultura, costos en salud y políticas fiscales

Carlos Madeira

Banco Central de Chile, Chile

RESUMEN: Este artículo resume los pronósticos existentes de los costos económicos del cambio climático, como la pérdida del PIB, enfocándose en la comparación entre Chile y sus vecinos latinoamericanos, países miembros de la OCDE y otros. Una revisión de varios estudios acerca del impacto del cambio climático sugiere que es probable que Chile sufra efectos leves en términos de crecimiento del PIB, productividad laboral y costos en mortalidad a partir del cambio climático. Sin embargo, existe una incertidumbre sustantiva. Los pronósticos del efecto del cambio climático en el PIB de Chile varían entre una pérdida de un 11% y una ganancia de un 32% en 2100. En particular, el trabajo reciente de Khan et al. (2021) predice que Chile será uno de los países más impactados por el cambio climático. Varios estudios también muestran que Chile puede enfrentar problemas no asociados al PIB a partir del cambio climático, como lo son la contaminación del aire, el peligro de incendios, las sequías, el estrés hídrico, la pérdida de biodi-

CARLOS MADEIRA es economista de la Nova SBE, Portugal. Es PhD por la Northwestern University, Evanston, IL, Estados Unidos. Es economista de la División de Política Financiera del Banco Central de Chile. Dirección: Agustinas 1180, Santiago Centro, Santiago, Chile, CP 8340454. Email: cmadeira@bcentral.cl.

Agradezco los comentarios de Elías Albagli, Gonzalo García, Carola Moreno, Solange Berstein, Rodrigo Alfaro. También, a los participantes del Centro de Cambio Global UC, Universidad Diego Portales, Universidad Alberto Hurtado, Universidad de Chile, Banco Central de Chile y, particularmente, a Jenny por su amistad. Las visiones aquí expresadas no representan al Banco Central de Chile. Todo error es de mi responsabilidad.

versidad, los daños ecosistémicos y la migración humana. Por último, Chile puede mejorar sustantivamente en términos de políticas verdes, atingentes a gastos gubernamentales, precios del carbón, subsidios a los combustibles fósiles y preparación climática.

PALABRAS CLAVE: crecimiento económico, calentamiento global, América Latina, pérdidas en el PIB producto del cambio climático

RECIBIDO: febrero 2022 / ACEPTADO: septiembre 2022

A Review of the Climate Change's Economic Impact in Chile versus other Countries: GDP Loss, Labor Productivity, Agriculture, Health Costs, and Fiscal Policies

ABSTRACT: This article summarizes the existing forecasts for the economic costs of climate change, such as the GDP loss, focusing on a comparison between Chile versus its Latin American neighbors, the OECD, and other countries. A review of several studies for the impact of climate change suggests that Chile is likely to suffer mild effects in terms of GDP growth, labor productivity and mortality costs from climate change. However, there is substantial uncertainty. Reduced form forecasts of the GDP impact from climate change for Chile range between a loss of 11% and a gain of 32% in 2100. In particular, the recent work of Khan et al. (2021) predicts that Chile may be among the countries most impacted by climate change. Several studies also find that Chile may face non-GDP related problems from climate change, such as air pollution, fire hazards, drought, water stress, biodiversity loss, ecosystem damages and human migration. Finally, Chile can improve substantially in terms of green policies, such as government expenditures, carbon prices, taxes, fossil fuel subsidies and climate readiness.

KEYWORDS: economic growth, global warming, Latin America, GDP losses from climate change

RECEIVED: February 2022 / ACCEPTED: September 2022

Se ha predicho que el cambio climático afectará negativamente el crecimiento económico de casi todos los países alrededor del mundo (OECD 2015; Kahn et al. 2021), con algunas estimaciones que muestran que la pérdida en el PIB mundial per cápita por el cambio climático podría ser mayor al 20% para el año 2100 (Harris, Roach y Codur 2017). Los países de América Latina y el Caribe se verán fuertemente afectados por el cambio climático debido a su ubicación oceánica, su proximidad al Ecuador y su dependencia de los sectores agrícolas y pesqueros (Vergara et al. 2013; Bárcena et al. 2019). Debido a que su impacto más dañino afectará a los países y hogares más pobres, el cambio climático será una

amenaza significativa para el crecimiento económico y para los esfuerzos por reducir la pobreza y la desigualdad de ingresos en los países latinoamericanos (Bárcena et al. 2019). Los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático son componentes cada vez más centrales en los programas de desarrollo para los países más pobres (Mertz et al. 2009).

Este artículo proporciona una revisión amplia del impacto económico del cambio climático en Chile, poniendo especial foco en las pérdidas del PIB (Burke, Hsiang y Miguel 2015; Kahn et al. 2021) y los riesgos físicos (OECD 2015; McKinsey 2020). Este es un tema relevante en la medida en que los países de ingresos medios, como Chile, necesitan ponerse al día respecto de las políticas medioambientales de los países avanzados. No obstante, la literatura carece de una revisión comprehensiva de los impactos del cambio climático para Chile y otros países latinoamericanos.

En este artículo nuestro que, desde 1900, Chile, comparado con otros países de América Latina y el Caribe¹ y miembros de la OCDE,² tuvo un alza pequeña en la temperatura. Una revisión de las predicciones para el siglo XXI de otros estudios muestra que se espera que Chile experimente un menor grado de incremento de la temperatura y del alza del nivel del mar que otros países, mostrando una baja sensibilidad del clima local a las fluctuaciones en la temperatura global (Collins et al. 2013; Krusell y Smith 2020; Kahn et al. 2021). Aunque, debido a su geografía costera, Chile se encuentra expuesto al aumento del nivel del mar, a incendios e inundaciones, su medio ambiente puede experimentar cambios climáticos menores a los del resto del globo (World Bank 2013, 2021).

A continuación, comparo los efectos del cambio climático sobre el PIB chileno en relación con otros países a partir de cuatro estudios principales: Burke, Hsiang y Miguel (2015), Kalkuhl y Wenz (2020), Kahn et al. (2021), Roson y Sartori (2016). Los primeros tres estudios estiman

¹ La región de América Latina y el Caribe (LAC) incluye 19 países: Argentina, Bahamas, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Curazao, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Haití, Honduras, Jamaica, México, Paraguay, Perú, San Cristóbal y Nieves, Trinidad y Tobago, Uruguay.

² La OCDE incluye 37 países miembros, de los cuales 3 son parte de LAC: Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, Colombia, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Corea, Letonia, Lituania, Luxemburgo, México, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Portugal, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido, Estados Unidos.

la sensibilidad del crecimiento del PIB en relación con el clima a partir de un modelo econométrico de forma reducida para una gran cantidad de países. El clásico trabajo de Burke, Hsiang y Miguel (2015) considera efectos-fijos específicos para el crecimiento del PIB de los países y tendencias temporales cuadráticas, mientras estima una función cuadrática para los efectos climáticos (temperatura nacional y precipitación) y *shocks* de tiempo que son comunes a través de los países. Kalkuhl y Wenz (2020) mejoran este trabajo por medio de una sustantiva expansión del tamaño de la muestra (ya que el estudio considera observaciones para las regiones de cada país en lugar de agregados por país) y al dar cuenta de los cambios en las temperaturas de los países.

Kahn et al. (2021) adoptan un enfoque distinto al considerar los retrasos de las tasas de crecimiento de los países y los cambios en los climas además de los efectos fijos, en lugar de considerar tendencias temporales cuadráticas que pueden resultar implausibles en aproximaciones para períodos más largos. En este aspecto, el estudio de Kahn et al. (2021) es más consistente con la teoría económica del crecimiento, la que no asume que el crecimiento tiene tendencias de tiempo lineales o cuadráticas. Finalmente, considero también el estudio de Roson y Sartori (2016), el cual mide la pérdida en el PIB a partir del cambio climático, sumando el efecto sobre el PIB de cinco componentes (los que son calibrados desde estudios previos): el alza en el nivel del mar, la productividad agrícola, los efectos del calor en la productividad laboral, la salud humana y los flujos del turismo.

Un análisis gráfico muestra que los estudios de Burke, Hsiang y Miguel (2015), Kalkuhl y Wenz (2020) y Roson y Sartori (2016) predicen un bajo impacto del cambio climático en el PIB de Chile durante el siglo XXI, con estimaciones de la pérdida de PIB para el 2100 en el escenario RCP 8,5³ de -32% (Burke, Hsiang y Miguel 2015), +0,3% (Roson y Sartori 2016) y +6,1% (Kalkuhl y Wenz 2020). Sin embargo, el estudio de Kahn et al. (2021) predice que Chile será uno de los países más afectados por el cambio climático, con pérdidas del PIB para el 2100 de 5,2% y 11,1%

³ Los estudios climáticos consideran varios escenarios provistos por la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP, por su sigla en inglés), publicada por el IPCC (2014). La RCP 2,6 da cuenta del mejor escenario posible, en donde el cambio climático se encuentra totalmente controlado. La RCP 4,5 asume que es probable que el alza de la temperatura global caiga por debajo de 2,0°C. La RCP 8,5 es considerada el peor escenario, en donde ningún país implementa políticas para controlar el cambio climático.

para los escenarios RCP 2,6 y RCP 8,5, respectivamente. Este resultado se debe a diferencias paramétricas fundamentales en el modelo de Kahn et al. (2021), el cual muestra una correlación negativa con las predicciones de pérdida del PIB de los otros tres estudios. El análisis compara a Chile con otros países estratificados por PIB per cápita (en registro, datos del World Bank), con grupos de países de América Latina y el Caribe, la OECD y otras naciones.⁴

Además del estudio internacional de Kahn et al. (2021), otro estudio de forma reducida de Hernández y Madeira (2022), para las regiones y sectores económicos de Chile entre 1985 y 2017, encuentra que el cambio climático puede implicar una pérdida del PIB de 29,6% en 2100 en un escenario RCP 8,5. Sin embargo, este resultado es muy incierto y es sensible en relación con la posibilidad de añadir o no posibles efectos positivos del cambio climático, lo que implica una baja robustez de su interpretación.

Estos estudios caen en la clase de modelos de forma reducida del crecimiento y el cambio climático, con poca explicación de los canales a través de los que ocurre el impacto y sin vínculos ni mecanismos de retroalimentación entre los distintos países e industrias. Por ello, reviso las estimaciones del impacto del cambio climático para Chile y otros países, obtenidas a partir de modelos estructurales (OECD 2015; Krusell y Smith 2020; Cruz y Rossi-Hansberg 2021; Swiss Re 2021). Estos estudios pueden ser sustancialmente más complejos que los modelos de forma reducida, pero sus estimaciones coinciden en mostrar un impacto relativamente moderado para Chile, el cual es inferior a una pérdida del 3% del PIB (OECD 2015; Cruz y Rossi-Hansberg 2021; Swiss Re 2021) o incluso una ganancia en el PIB (Krusell y Smith 2020).

Un aspecto en el cual las estimaciones de la pérdida pueden fallar es que los modelos de crecimiento del PIB (tanto los de forma reducida como los estructurales) son dependientes de varios parámetros, los que podrían no ser estables en periodos largos (McKinsey 2020). Una alternativa, que no depende de tantos parámetros y que es fácil de interpretar, es la pérdida en productividad laboral a causa del calor extremo. Una revisión de varios estudios muestra una pérdida menor de la productividad

⁴ Nótese que el LA6 (es decir, las seis economías más grandes de América Latina: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú), el G7 (Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón, Reino Unido, Estados Unidos), además de los países ibéricos (Portugal y España) son identificados por sus nombres ISO-3 en cada figura a fin de permitir una comparación de países específicos.

laboral en Chile debido al cambio climático (Roson y Sartori 2016; ILO 2019; McKinsey 2020; Dasgupta et al. 2021; CIE 2021).

Luego, llevo a cabo una revisión del impacto del cambio climático sobre otros resultados provenientes de un abanico de estudios académicos y de política pública. Varios estudios predicen un incremento pequeño, o incluso negativo, en la mortalidad y en los costos en salud para Chile producto del cambio climático (OCDE 2015; Carleton et al. 2020). Chile también puede enfrentar costos crecientes en términos de la preservación de su ecosistema (Vergara et al. 2013; OECD 2015; McKinsey 2020), mayores niveles de estrés hídrico (Gerten et al. 2011; McKinsey 2020) y la migración humana desde países vecinos (OECD 2015; Cruz y Rossi-Hansberg 2021; Gaska 2021). Finalmente, utilizando indicadores del Tablero de Cambio Climático del FMI, muestro que Chile cuenta con un espacio sustantivo para mejorar en términos de política pública, particularmente en lo referente a impuestos y gastos ambientales.

Este artículo también compara los costos del cambio climático en Chile con sus vecinos latinoamericanos, los miembros de la OCDE y un conjunto de otros países. Además de Chile, realzo a un conjunto de países seleccionados en cada figura de este artículo, utilizando su acrónimo ISO-3. La lista de países seleccionados incluye los LA6, esto es, los seis países más grandes de América Latina (Chile, además de Argentina-ARG, Brasil-BRA, Colombia-COL, México-MEX y Perú-PER), los países ibéricos (Portugal-PRT, España-ESP) y los países del G7 (Canadá-CAN, Francia-FRA, Alemania-DEU, Italia-ITA, Japón-JPN, Reino Unido-GBR y Estados Unidos-USA).

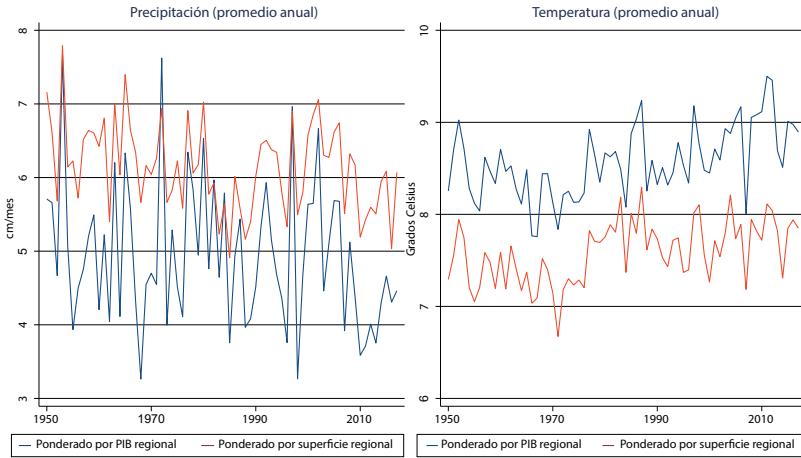
El artículo se estructura del siguiente modo. La sección 1 resume los estudios incluidos en esta revisión y discute los pronósticos para los cambios en el clima en Chile durante el siglo XXI. La sección 2 compara los pronósticos de la pérdida del PIB a causa del cambio climático en Chile y otros países, con un foco particular en los países de la OCDE y de América Latina y el Caribe. La sección 3 revisa las estimaciones del impacto del cambio climático sobre el PIB a partir de los modelos económicos estructurales y desde los estudios de productividad laboral. La sección 4 resume el efecto del cambio climático en otros resultados en Chile como la agricultura, la productividad laboral, la mortalidad y los cambios en el ecosistema. La sección 5 compara a Chile con otros países en términos de sus políticas verdes. Finalmente, la sección 6 resume las conclusiones del artículo.

I. Cambios climáticos en Chile y en las tendencias globales en temperatura

Chile ha experimentado pequeños cambios en la temperatura y en los costos a partir del cambio climático.⁵ La Figura 1 presenta datos desde 1950 hasta 2017 para la media anual de temperatura (grados Celsius) y las precipitaciones (cm por mes). Estas series se obtienen a partir de los datos climáticos diarios sin procesar para cada grilla cuadrada de 0,5 grados de latitud-longitud desde el set de datos de la temperatura del aire y precipitaciones de la University of Delaware, los cuales son después agregados a nivel regional y a nivel nacional con ponderadores para la superficie o el PIB de cada región. Aquí solo se resume la evolución a nivel nacional, pero Hernández y Madeira (2022) presentan la evolución de las zonas norte, centro, metropolitana y sur de Chile. La figura muestra que Chile ya ha experimentado un cambio sustancial en el clima, especialmente desde 1990. La precipitación nacional promedio a lo largo de los últimos 25 años se ha deteriorado 1 cm por mes en términos de la medida ponderada de la superficie regional y 2 cm por mes si se pondera por el PIB regional, lo que muestra que las regiones más ricas de Chile se ubican en las áreas más expuestas a la sequía. En términos de temperatura, ya sea con ponderaciones según la superficie regional o del PIB, la temperatura promedio de Chile se ha incrementado en casi un grado Celsius desde 1970. En términos de temperatura, el país se beneficia por tener sus regiones con mayor cantidad de población y actividad del PIB ubicadas en las áreas más frías (aunque estas áreas se encuentran fuertemente expuestas a la sequía, especialmente en la región central, ver World Bank 2021 y Vicuña et al. 2021).

⁵ Germanwatch (2019) observa que, durante el período 1999-2018, Chile sufrió menos por el cambio climático (ranking 93 de 169 países), con menos decesos (ranking 121 de 169 países) y menores costos del PIB (ranking 83 de 169 países). Un análisis de 67 países realizado por HSBC (2018) también encontró que Chile es una de las economías menos vulnerables a los costos impuestos por el cambio climático, en términos de su habilidad para manejar los riesgos físicos, los riesgos por la transición energética y los recursos disponibles para responder al cambio climático. Sin embargo, HSBC (2018) también muestra que Chile es una de las 14 economías más sensibles al riesgo físico inducido por eventos climáticos extremos durante el período 2007-2016.

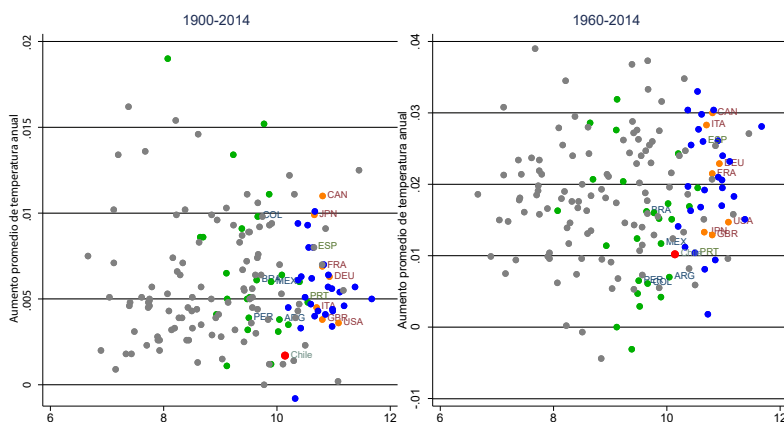
Figura 1. EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA ANUAL



Fuente: Hernández y Madeira (2022).

Krusell y Smith (2020) estiman que Chile cuenta con uno de los índices más bajos de sensibilidad a la temperatura global, con un coeficiente de solo un 0,5 sobre una escala de 0,4 a 5,2. Collins et al. (2013) también predicen que, en comparación con otros países, la temperatura de Chile cambiará lentamente a lo largo del próximo siglo. Como se muestra en la Figura 2, Chile experimentó un incremento de la temperatura de solo $0,0017^{\circ}\text{C}$ y $0,0102^{\circ}\text{C}$ por año para los períodos de 1900-2014 y 1960-2014, respectivamente (Kahn et al. 2021). Estos valores están entre las alzas de temperatura más bajas en el mundo, con Chile ubicándose en los percentiles 10° y 25° de la tasa más baja de incremento de temperatura para los períodos 1900-2014 y 1960-2014, respectivamente. Nótese que la tasa de incremento de la temperatura en 1960-2014 es seis veces mayor que para 1900-2014, por lo que el cambio climático se aceleró en todo el mundo y ello es también válido para Chile. Tomando la relación de las tasas de aumento para ambos períodos, los datos muestran que Chile está entre el 10% superior de los países que aceleraron su tasa de aumento de la temperatura en los últimos cincuenta años. En el siglo anterior, Chile también experimentó un pequeño impacto en términos de la disponibilidad de aguas azules y verdes (Gerten et al. 2011) o en la disponibilidad de agua en las unidades de producción de alimentos (World Bank 2013).

Figura 2. TENDENCIAS EN EL ALZA ANUAL DE TEMPERATURAS POR PAÍS EN DISTINTOS PERÍODOS



Fuente: Khan et al. (2021).

Nota: Eje horizontal: PIB en USD-PPP per cápita en 2019 (en logaritmo). Chile (rojo), LAC (verde), G7 (naranja), OCDE (azul), otros países (gris).

Tabla 1. REVISIÓN DE LAS ESTIMACIONES PARA CHILE DESDE ESTUDIOS MULTINACIONALES SOBRE EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN TÉRMINOS DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR

Autores	Horizonte de tiempo	Resultado	Impacto estimado para Chile
Collins et al. (2013)	2081-2100	Temperatura	Incremento de 0,5 a 0,75° C por 1° C en la temperatura global
Collins et al. (2013)	2081-2100	Precipitación	-3% a -6% de lluvia caída por 1° C en la temperatura global
World Bank (2013)	2100	Meses de temperatura alta (en %)	0% a 10% (RCP 2,6) 10% a 20% (RCP 8,5)
World Bank (2013)	2100	Alza en el nivel del mar	0,7 m (RCP 2,6), 1,0 m (RCP 8,5)
World Bank (2013)	2071-2099	Precipitación	-10% a 15% (RCP 2,6), -30% a -35% (RCP 8,5)
Roson y Sartori (2016)	2062	Alza en el nivel del mar	-0,0002% en PIB (RCP 8,5)
Bárcena et al. (2019)	2010-2040	Alza en el nivel del mar	+2,4 mm por año
Bárcena et al. (2019)	2040-2070	Alza en el nivel del mar	+3,4 mm por año
Diffenbaugh y Giorgi (2012)	2016-2035	Cambio climático*	0,85 (RCP 4,5), 0,95 (RCP 8,5)
Diffenbaugh y Giorgi (2012)	2045-2065	Cambio climático*	1,35 (RCP 4,5), 1,50 (RCP 8,5)
Diffenbaugh y Giorgi (2012)	2080-2099	Cambio climático*	1,45 (RCP 4,5), 2,60 (RCP 8,5)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: * Esta es una medición multivariada del cambio climático con una distancia euclidiana de los cambios relativos a lo largo de siete indicadores climáticos (incluyendo temperatura extrema y precipitación) para cuatro estaciones. La escala euclidiana va desde 0,5 (bajo cambio climático) a 3,0 (alto cambio climático).

En relación con las predicciones de futuros cambios en el clima, la Tabla 1 muestra que Chile puede experimentar un alza baja o moderada en el nivel del mar (World Bank 2013; Bárcena et al. 2019). Además, una medición multivariada de la exposición al cambio climático estimada por Diffenbaugh y Giorgi 2012⁶ muestra que Chile puede esperar un nivel moderado de cambio climático en el escenario de RCP 4,5, pero que puede verse negativamente afectado en un escenario más serio (RCP 8,5).

2. El impacto potencial del cambio climático en el PIB de Chile

En este artículo comparo los efectos del cambio climático sobre el PIB de Chile en relación con otros países a partir de cuatro estudios centrales: Kahn et al. (2021); Burke, Hsiang y Miguel (2015); Kalkuhl y Wenz (2020); Roson y Sartori (2016). Todas estas investigaciones consideran predicciones de pérdida del PIB para cada país bajo un escenario de RCP 8,5, con la excepción de Kahn et al. (2021), que incluye los escenarios de RCP 2,6 y 8,5. Estos estudios presentan distintos modelos para estimar el impacto del cambio climático en el PIB a lo largo de los países.

Burke, Hsiang y Miguel (2015) consideran un modelo del crecimiento en el PIB per cápita como una función cuadrática de la temperatura y la precipitación anual más una tendencia de tiempo cuadrático específica para cada país y efectos fijos por país y año. Un supuesto implícito en el modelo de Burke, Hsiang y Miguel (2015) es que existe un clima ideal para el desarrollo de la actividad humana y que ese clima ideal estimado por una función cuadrática es igual para todos los países del mundo. Eso es un supuesto que se flexibiliza en los estudios siguientes como los de Kalkuhl y Wenz (2020) o Kahn et al. (2021).

Kalkuhl y Wenz (2020) proporcionan estimaciones de panel desde un modelo similar, pero con controles añadidos para los cambios temporales en el clima para cada país (para dar cuenta de que a algunos

⁶ Los indicadores climáticos son: el cambio absoluto en la temperatura media del aire en la superficie, el cambio fraccional en la precipitación media, el cambio fraccional en la desviación estándar interanual de la temperatura del aire sin tendencia de la superficie, el cambio fraccional en el coeficiente de variación interanual de la precipitación sin tendencia, la frecuencia en la aparición de temporadas por encima de la temperatura del aire superficial estacional de referencia máximo, la frecuencia de aparición de temporadas por debajo de la precipitación estacional mínima de referencia y la frecuencia de aparición de temporadas por encima de la precipitación estacional máxima de referencia.

países les es más difícil adaptarse al nuevo clima). Kalkuhl y Wenz (2020) también estiman un modelo solo con datos transversales, que puede dar cuenta de pérdidas del PIB que ya han ocurrido. Por su parte, Kahn et al. (2021) adoptan un enfoque distinto al considerar los retrasos en las tasas de crecimiento de los países y los cambios climáticos, además de los efectos fijos del país, en lugar de considerar tendencias de tiempo cuadráticas, las que pueden resultar implausibles como aproximaciones para períodos más largos. Una desventaja de su modelo es que no da cuenta de los efectos fijos de tiempo, por lo que *shocks* globales no relacionados con el clima podrían afectar sus estimaciones. Nótese que Burke, Hsiang y Miguel (2015) y Kahn et al. (2021) usan datos del PIB para cada país en el mundo, pero que Kalkuhl y Wenz (2020) usan datos para cada región o provincia dentro de los países y, por lo tanto, ofrecen una identificación más granular.

Finalmente, considero también el estudio de Roson y Sartori (2016), el cual mide la pérdida en el PIB debida al cambio climático sumando cinco componentes: el alza en el nivel del mar (calibrada sobre la base de una metodología del IPCC 2014), la productividad agrícola (calibrada con una metodología del IPCC 2014), los efectos del calor en la productividad laboral (calibrada a partir de Kjellström et al. 2009), la salud humana (calibrada a partir de Bosello et al. 2006) y los flujos turísticos (calibrados a partir de Hamilton, Maddison y Tol 2005). El estudio de Roson y Sartori (2016) se basa en las olas del set de datos de 2004, 2007 y 2011 del Global Trade Analysis Project 9.

Tabla 2. ESTIMACIONES DE PÉRDIDA DEL PIB (EN %) PARA EL AÑO 2100 DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO (PROMEDIOS PARA CHILE, LA OCDE Y LOS PAÍSES LATINOAMERICANOS)

	Chile	OCDE	LAC	LA6
Burke, Hsiang y Miguel (2015)	-32,0	-30,3	75,5	50,9
Kalkuhl y Wenz (2020): panel	4,8	7,1	12,1	12,3
Kalkuhl y Wenz (2020): corte transversal	6,1	5,9	6,2	7,3
Kahn et al. (2021): RCP 2,6	5,2	1,0	0,8	1,4
Kahn et al. (2021): RCP 8,5	11,1	6,1	5,8	7,6
Roson y Sartori (2016)	0,3	-0,3	4,6	1,5
Roson y Sartori (2016): productividad laboral	0,0	0,1	1,4	0,4

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los valores negativos corresponden a las ganancias estimadas del PIB desde el cambio climático.

La Tabla 2 muestra los valores promedio de las estimaciones de pérdida del PIB para el año 2100, obtenidos a partir de estos cuatro estudios acerca del cambio climático. En estos, se espera que Chile experimente una gran ganancia en el PIB, de acuerdo al estudio de Burke, Hsiang y Miguel (2015). El cambio climático tendría prácticamente un efecto nulo en el PIB (0,3%) en Roson y Sartori (2016). En Kalkuhl y Wenz (2020), Chile experimentaría una pérdida moderada en el PIB, de entre un 4,8% y un 6,1%. Finalmente, en el estudio de Kahn et al. (2021) se estimaría una gran pérdida en el PIB, de entre un 5% y un 11%. En los estudios de Burke, Hsiang y Miguel (2015), Roson y Sartori (2016) y Kalkuhl y Wenz (2020) (modelo de panel), Chile se ubica bastante cerca al promedio de la OCDE, presentando daños producto del cambio climático mucho menores que en el resto de los países de América Latina y el Caribe, o al menos que sus seis vecinos más grandes, los LA6. Solo el estudio de Kahn et al. (2021) presenta para Chile un daño más elevado respecto de aquellos. También es posible observar que, con excepción del escenario RCP 2,6 de Kahn et al. (2021), el promedio de la OCDE siempre presenta un desempeño mejor que la región de América Latina (ya sea en términos de los promedios de LAC o de LA6).

Tabla 3. MATRIZ DE COEFICIENTES DE CORRELACIÓN (EN %) DE LAS ESTIMACIONES DE PÉRDIDA DEL PIB EN 2100

Medición de pérdida del PIB por país	BHM	KW panel	KW corte transversal	Kahn 2,6	Kahn 8,5	RS
Burke, Hsiang y Miguel (2015)	100					
Kalkuhl y Wenz (2020): panel	65,1	100				
Kalkuhl y Wenz (2020): corte transversal	-1,9	44,9	100			
Kahn et al. (2021): RCP 2,6	-9,0	-16,8	11,6	100		
Kahn et al. (2021): RCP 8,5	-26,4	-17,9	39,5	62,7	100	
Roson y Sartori (2016)	67,5	47,9	-20,5	-21,4	-38,6	100

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 3 resume los coeficientes de correlación entre las seis mediciones de las pérdidas del PIB. Burke, Hsiang y Miguel (2015), el panel de Kalkuhl y Wenz (2020) y las mediciones de Roson y Sartori (2016) se correlacionan fuertemente entre sí, con coeficientes de correlación de entre un 47,9% y un 67,5%. El corte transversal de Kalkuhl y Wenz (2020) y

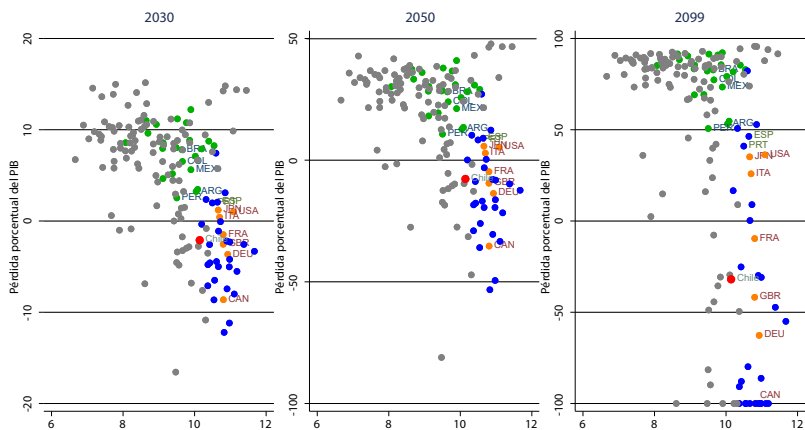
las mediciones de Kahn et al. (2021) se correlacionan positivamente entre sí, con coeficientes entre un 11,6% y un 62,7%. Sin embargo, estas tres mediciones de pérdidas del PIB se correlacionan negativamente tanto con las mediciones de Burke, Hsiang y Miguel (2015) como con las de Roson y Sartori (2016). Hay diferencias sustantivas entre las mediciones de pérdida del PIB, lo que implica que es necesario examinar un amplio rango de estudios para evaluar los efectos probables derivados del cambio climático.

En un análisis gráfico, Burke, Hsiang y Miguel (2015), Kalkuhl y Wenz (2020), y Roson y Sartori (2016) predicen un bajo impacto del cambio climático en el PIB de Chile durante el siglo XXI, con estimaciones de la pérdida del PIB para el año 2100, en el escenario de RCP 8,5 de un -32% en Burke, Hsiang y Miguel (2015) (Figura 3); de +0,3% en Roson y Sartori (2016) (Figura 6); de +4,8% para las estimaciones del panel de Kalkuhl y Wenz (2020) (Figura 4), y de un +6,1% para la estimación transversal de Kalkuhl y Wenz (2020) (Figura 4). Mirando horizontes distintos, Burke, Hsiang y Miguel (2015) predicen un incremento del PIB per cápita para Chile de 2,1%, 7,7% y 32% para el 2030, 2050 y 2099, respectivamente.

Nótese que todas estas mediciones predicen para la mayoría de los países un declive significativo en el PIB producto del cambio climático, lo que refuerza aún más los resultados positivos obtenidos por Chile en estos estudios. De los 26 países de América Latina y el Caribe (LAC), en el estudio empírico de Burke, Hsiang y Miguel (2015), Chile es el único país que tendría un impacto positivo en el PIB producto del cambio climático, con la mediana de los países de LAC sufriendo una pérdida de un 7,9%, un 28,1% y un 82,2% en el PIB per cápita para el 2030, 2050 y 2100, respectivamente. A este respecto, Chile tiene factores comunes con los países del norte con temperaturas bajas y que están geográficamente distantes del Ecuador (Burke, Hsiang y Miguel 2015).

Sin embargo, el estudio de Kahn et al. (2021) (Figura 5) predice que Chile será uno de los países más afectados por el cambio climático, con pérdidas en el PIB de un 0,5%, un 1,7% y un 5,2% para los años 2030, 2050 y 2100, respectivamente, para el escenario RCP 2,6, y de un 1,2%, un 4% y un 11,1% para el escenario RCP 8,5 en los mismos años. La predicción de Kahn et al. (2021) de una pérdida del PIB para Chile en el 2100 para el escenario RCP de 8,5 es casi el doble del valor de un 6,1% de Kalkuhl y Wenz (2020) (Figura 4).

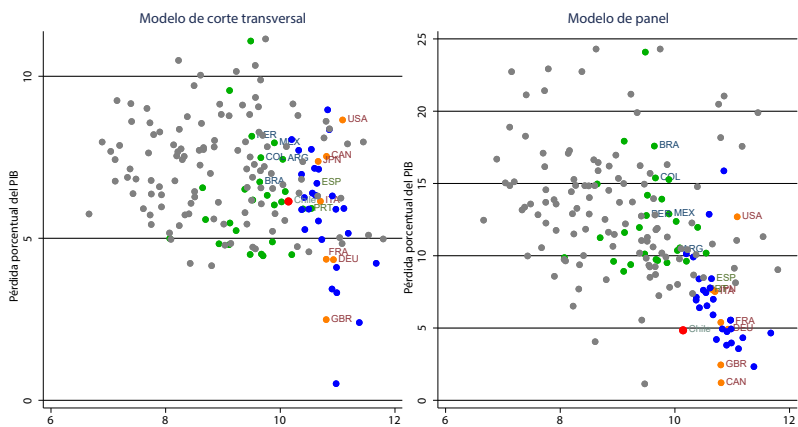
Figura 3. PÉRDIDAS DEL PIB A PARTIR DEL CAMBIO CLIMÁTICO SEGÚN INGRESO PER CÁPITA



Fuente: Burke, Hsiang y Miguel (2015).

Nota: Eje horizontal: PIB en USD-PPP per cápita en 2019 (en logaritmo). Chile (rojo), LAC (verde), G7 (naranja), OCDE (azul), otros países (gris).

Figura 4. PÉRDIDAS DEL PIB A PARTIR DEL CAMBIO CLIMÁTICO SEGÚN INGRESO PER CÁPITA



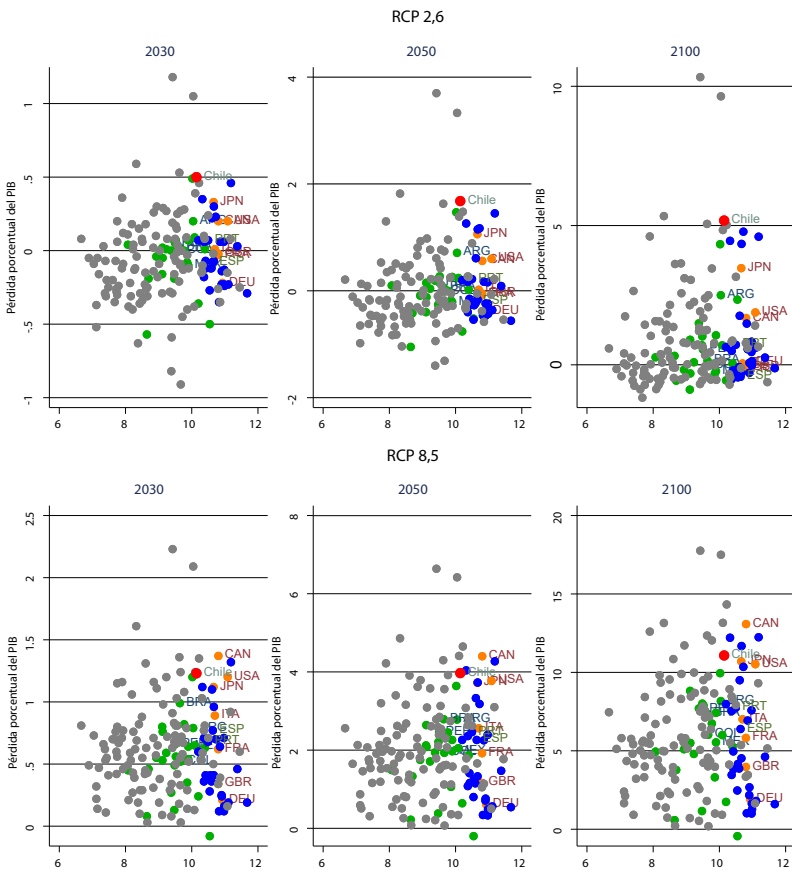
Fuente: Kalkuhl y Wenz (2020).

Nota: Eje horizontal: PIB en USD-PPP per cápita en 2019 (en logaritmo). Chile (rojo), LAC (verde), G7 (naranja), OCDE (azul), otros países (gris).

En términos de las pérdidas relativas del PIB para el 2100, Chile se ubica en los percentiles 25°, 18°, 40° y 8° según, respectivamente, Roson y Sartori (2016), Burke, Hsiang y Miguel (2015), el corte transversal de Kalkuhl y Wenz (2020) y el panel de Kalkuhl y Wenz (2020) para las

predicciones de los países menos afectados por el cambio climático. Sin embargo, Chile se ubica en el top de los países dañados por el cambio climático en el estudio de Kahn et al. (2021), el que muestra a Chile en el top de los percentiles 98° y 92° de los países afectados por el cambio climático en el 2100 para los escenarios RCP 2,6 y RCP 8,5, respectivamente.

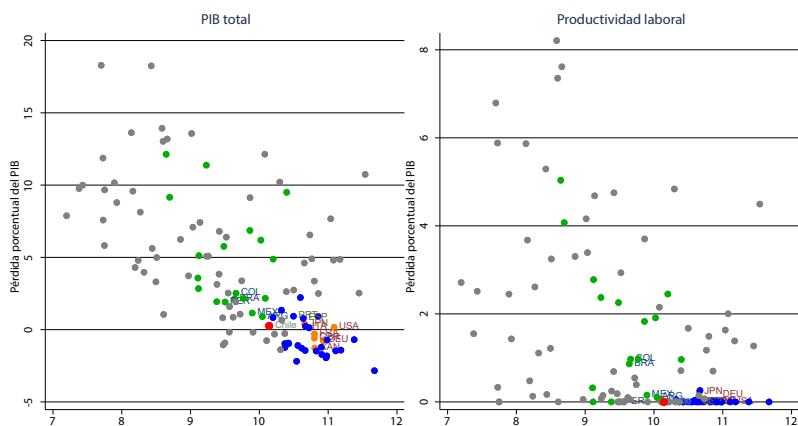
Figura 5. PÉRDIDAS DEL PIB DEBIDAS AL CAMBIO CLIMÁTICO SEGÚN INGRESO PER CÁPITA



Fuente: Kahn et al. (2021).

Nota: Eje horizontal: PIB en USD-PPP per cápita en 2019 (en logaritmo). Chile (rojo), LAC (verde), G7 (naranja), OCDE (azul), otros países (gris).

Figura 6. PÉRDIDAS EN EL PIB Y EN LA PRODUCTIVIDAD LABORAL DEBIDAS AL CAMBIO CLIMÁTICO SEGÚN INGRESO NACIONAL PER CÁPITA



Fuente: Roson y Sartori (2016).

Nota: Eje horizontal: PIB en USD-PPP per cápita en 2019 (en logaritmo). Chile (rojo), LAC (verde), G7 (naranja), OCDE (azul), otros países (gris).

3. Estimaciones estructurales de las pérdidas en el PIB y en la productividad laboral

La sección previa se basó en el impacto del cambio climático sobre el PIB, estimado a partir de modelos econométricos de forma reducida, es decir, modelos que estiman un efecto del clima en el PIB como una relación estadística y con poca explicación de los canales a través de los que aparece este efecto. Esta sección revisa algunos estudios que estiman modelos de equilibrio general para el efecto del cambio climático en distintos países. Es relevante notar que los estudios estructurales, como los Modelos de Evaluación Integrada (MEI o IAM por la sigla en inglés para Integrated Assessment Models), se basan en grandes supuestos sobre las funciones de producción de cada sector económico y en la sensibilidad de los daños relativos al clima.

En lo que sigue reviso los efectos del cambio climático sobre el PIB de Chile y otros países a partir de estudios como: i) OECD 2015 (el que se basa principalmente en un modelo de ENV-Linkages que especifica un marco de equilibrio general computable de dinámica global con varios sectores económicos, regiones, flujos de transacción y efectos de *feedback* entre la actividad y la emisión de gases de efecto invernadero,

GEL); ii) Cruz y Rossi-Hansberg (2021) (que se basa en un modelo de crecimiento espacio de equilibrio general con trabajo, capital, tierra, clima global, clima específico al país,⁷ además de innovaciones tecnológicas endógenas, comercio internacional, migración y políticas de impuesto al carbono); iii) Krusell y Smith (2020) (que utiliza un MEI dinámico y estocástico con consumidores y empresas con orientación al futuro en cada país-región, tecnología verde, impuestos al carbono, además de un elaborado sistema climático, ciclo de carbono y daños); iv) Swiss Re (2021) (este estudio se basa en un modelo estructural de Moody's, el cual toma los cinco componentes de los daños del cambio climático desde Roson y Sartori (2016), además de elasticidades específicas a cada país basadas en la composición industrial, en la demanda a través de fronteras, y en variables de precio y del mercado financiero).

Además, también reviso estudios con estimaciones del impacto del cambio climático sobre la productividad laboral durante los días de claro extremo, incluyendo: i) Roson y Sartori (2016), ii) ILO (2019), iii) McKinsey (2020), iv) Dasgupta et al. (2021) y v) CIE (2021). Este enfoque proporciona una estimación robusta del límite inferior de los costos del cambio climático, la que no depende de un enfoque de modelamiento complejo. Sin embargo, es probable que la pérdida de productividad laboral sea un límite inferior para los daños económicos del cambio climático, ya que esta no da cuenta de los daños al capital, las disrupciones al comercio y los efectos negativos no-lineales.

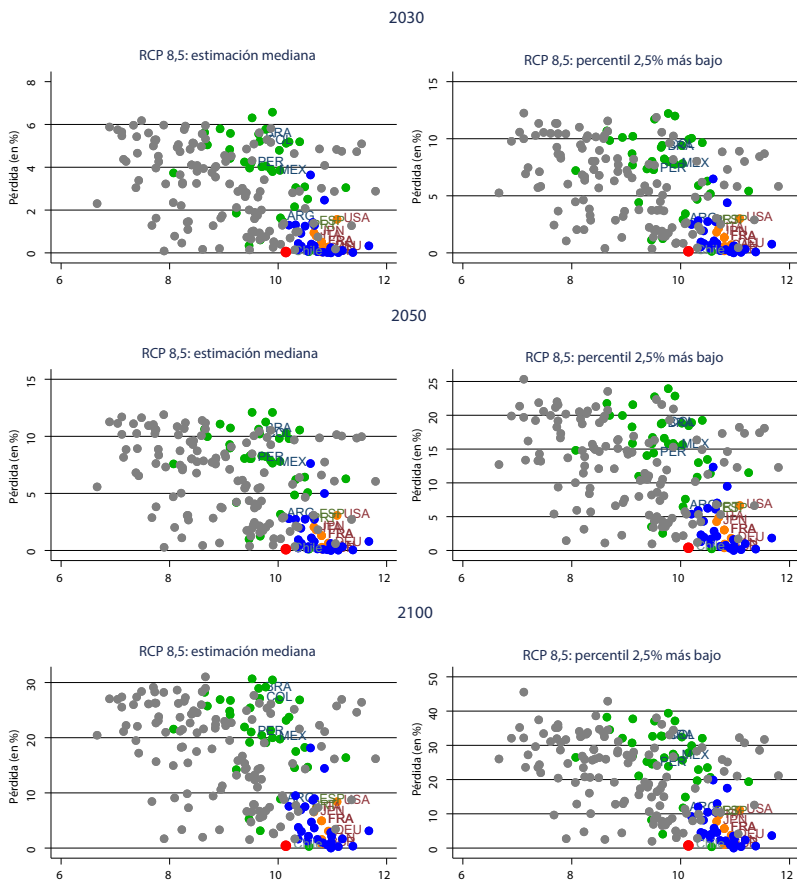
La Tabla 4 resume el impacto del cambio climático en Chile y otros países a partir de modelos estructurales de actividad económica y de estudios de productividad laboral. Este resumen confirma que la mayor parte de las estimaciones del impacto del cambio climático sobre los costos del PIB en Chile reportan daños bajos.⁸ La OECD (2015) reporta un impacto negativo del 0,6% sobre el PIB y de un 0,275% del PIB si se implementan las políticas de mitigación. Por su parte, Cruz y Rossi-Hansberg (2021) estiman una pérdida de un 1,9% del PIB; Krusell y Smith

⁷ Cruz y Rossi-Hansberg (2021) consideran que el efecto del clima en cada país es una función de la latitud, la longitud, la elevación, la distancia respecto de la costa, la distancia respecto del océano, la distancia respecto del agua, la densidad de la vegetación y el albedo.

⁸ Estas estimaciones de bajo impacto son consistentes con el análisis de la industria en la región realizado por Hernández y Madeira (2022), el cual muestra que la mayoría de las industrias chilenas no se vieron afectadas por el cambio climático durante el período entre 1985 y 2017.

(2020) reportan un incremento del PIB de un 14%, y McKinsey (2020) reporta una pérdida de solo un 0,1% del PIB. Chile se encuentra también entre los países en la región RoA1 que Eboli, Parrado y Roson (2010) predijeron que se beneficiarían del cambio climático en los años 2050 y 2100 en términos del PIB general, especialmente en términos de agricultura, demanda energética, actividades de salud y cuidado, y turismo.⁹

Figura 7. PÉRDIDAS EN LA PRODUCTIVIDAD LABORAL DEBIDO AL CALOR EXTREMO



Fuente: CIE (2021).

Nota: Eje horizontal: PIB en USD-PPP per cápita en 2019 (en logaritmo). Chile (rojo), LAC (verde), G7 (naranja), OCDE (azul), otros países (gris).

⁹ De acuerdo con la OECD (2015), la agricultura y el gasto en turismo en Chile también se beneficiarían del cambio climático, pero la energía, el transporte, otras industrias y otros servicios lo podrían sufrir.

Tabla 4. COMPARACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PIB A PARTIR DE ESTIMACIONES DE MODELOS ESTRUCTURALES Y DESDE ESTUDIOS DE PRODUCTIVIDAD LABORAL EN UN ESCENARIO SIN POLÍTICAS DE MITIGACIÓN

Autores	Horizonte de tiempo	Resultado	Impacto estimado en el mundo	
			Chile	min. / media / máx.
OCDE (2015)	2060	PIB	-0,6%	-4,4% / -1,8% / 1,2%
OCDE (2015)	2060	PIB mundial	-1,8%	(rango entre -4,4% a -0,6%)
Krusell y Smith (2020)	2050	PIB	+14%	-21,5% / -2,2% / 33%
Roson y Sartori (2016)	2100	PIB RCP 8,5	-0,26%	-18,3% / -3,7% / 2,8%
Roson y Sartori (2016)	2100	Prod. laboral	-0,0%	-8,2% / -1,3% / 0%
ILO (2019)	2030	Horas de trabajo perdidas	-0,0% (RCP 2,6)	-2,2% (RCP 2,6)
Dasgupta et al. (2021)	2100	Trabajo total (oferta x productividad)	-1% (+1,5° C)	-7% (+1,5° C)
	2100		-2% (+2,0° C)	-11% (+2,0° C)
	2100		-3% (+3,0° C)	-21% (+3,0° C)
CIE (2021) (mediana)	2030	Prod. laboral RCP 8,5	-0,04%	-6,6% / -2,6% / 0%
CIE (2021) (mediana)	2050	Prod. laboral RCP 8,5	-0,11%	-11,9% / -5,4% / 0%
CIE (2021) (mediana)	2070	Prod. laboral RCP 8,5	-0,25%	-19% / -9,1% / 0%
CIE (2021) (mediana)	2100	Prod. laboral RCP 8,5	-0,42%	-30,5% / -15% / 0%
Swiss Re (2021)	2050	PIB RCP 2,6	-0,9%	-2,6% / -0,5% / 0%
Swiss Re (2021)	2050	PIB RCP 4,5	-2,1%	-4,8% / -1,3% / 0%
Swiss Re (2021)	2050	PIB RCP 6,0	-2,3%	-11,6% / -1,7% / 0%
Swiss Re (2021)	2050	PIB RCP 8,5	-3,0%	-12,2% / -2,2% / 0%
McKinsey (2020)	2019	Prod. laboral	-0,1% en PIB	-7,5% / -0,8% / -0,1%
McKinsey (2020)	2030	Prod. laboral	-0,1% en PIB	-15,1% / -1,2% / -0,1%
McKinsey (2020)	2050	Prod. laboral	-0,1% en PIB	-15,1% / -1,6% / -0,1%
Cruz y Rossi-H. (2021)	2200	Prod. laboral	-5%	-40,7% / -8,6% / 73,4%
Cruz y Rossi-H. (2021)	2200	PIBpc (línea de base)	-1,9%	-4,6% / -2,1% / 2,6%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Por propósitos de abreviación, en las tablas utilizo 'Cruz y Rossi-H. (2021)' para hacer referencia al estudio de Cruz y Rossi-Hansberg (2021). 'Prod. laboral' remite a productividad laboral.

El estudio de Swiss Re (2021) predice que Chile puede sufrir una pérdida del PIB para el año 2050 de entre un 0,9% y un 3%, pero estas estimaciones se ubican por debajo de los peores valores de países en su muestra (la que solo incluye 48 naciones, que es una muestra menor en relación con los más de 100 países cubiertos en la mayoría de los estudios que analizan el cambio climático).

Estos estudios reportan pérdidas sustantivamente mayores del PIB para el mundo que para Chile, con pérdidas mundiales de un 1,82% (casi

tres veces más que las de Chile) según OECD (2015); de un 3,7% (con Chile perdiendo solo un 0,26%) según Roson y Sartori (2016); de un 2,19% (mientras Chile tiene beneficios de un 14%) según Krusell y Smith (2020); de un 2,1% (levemente peor que una pérdida de un 1,9% para Chile) según Cruz y Rossi-Hansberg (2021).

La Tabla 4 también muestra que es probable que Chile enfrente costos muy bajos en términos de productividad laboral (Roson y Sartori 2016; ILO 2019; McKinsey 2020; Dasgupta et al. 2021; CIE 2021). Sin embargo, algunas regiones como India, Brasil, África central y del norte, Arabia y la zona norte de Australia podrían perder un 10% o más de su productividad laboral (McKinsey 2020; CIE 2021; Dasgupta et al. 2021). Por medio de datos, la Figura 7 muestra que incluso en un escenario de RCP 8,5 se espera que Chile enfrente una pérdida muy baja de productividad laboral producto del calor extremo en todos los horizontes, aunque es probable que otros países en América Latina enfrenten pérdidas significativas. De hecho, lo que se predice es que Chile sufra pérdidas en la productividad laboral menores incluso que las economías avanzadas del G7 y la OCDE.

4. Otros costos del cambio climático: agricultura, agua, mortalidad, ecosistema

Esta sección revisa el impacto del cambio climático sobre Chile en términos de otros resultados económicos, distintos del PIB o la productividad, lo que incluye el sector agrícola, la mortalidad humana y los costos en salud, escasez de agua y cambios ecosistémicos. Para ello se resumen los principales hallazgos en la literatura sobre cambio climático para Chile organizados en cuatro tablas. La Tabla 5 proporciona un resumen de las estimaciones del impacto del cambio climático sobre el sector agrícola chileno. La Tabla 6 muestra el impacto en Chile del cambio climático sobre la disponibilidad de agua, las inundaciones fluviales y amenidades. La Tabla 7 revisa el impacto del cambio climático para resultados no-económicos en Chile, como la mortalidad, el ecosistema o la clasificación de tierras, mientras que la Tabla 8 muestra el impacto del cambio climático sobre la población de Chile, el bienestar y el comercio.

La Tabla 5 muestra las estimaciones del impacto del cambio climático sobre el sector agrícola chileno a través de la reducción de la producción de los cultivos y el valor de la tierra. La OECD (2015) estima un impacto positivo de un 0,3% del PIB para la agricultura y de un 0,4% del

PIB para la agregación de la agricultura, la pesca y el sector forestal, con un impacto positivo que proviene de una demanda internacional más fuerte de los productos chilenos y de mayores rendimientos en el arroz, las frutas y los vegetales, la caña de azúcar y la remolacha. Sin embargo, estos resultados del impacto agrícola son altamente dependientes del modelo, con González y Velasco (2008), Vergara et al. (2013) y Bárcena et al. (2019) mostrando estimaciones negativas del cambio climático para el sector agrícola chileno. El estudio de Hernández y Madeira (2022) muestra que pesca y agricultura serían los dos sectores económicos en Chile más negativamente impactados por el cambio climático. No obstante, Roson y Sartori (2016) estiman una pérdida insignificante del PIB proveniente de la productividad agrícola.

Tabla 5. REVISIÓN DE ESTIMACIONES DESDE ESTUDIOS MULTINACIONALES DEL IMPACTO CLIMÁTICO PARA EL SECTOR ECONÓMICO AGRÍCOLA EN CHILE (RELATIVO A UN ESCENARIO SIN CAMBIO CLIMÁTICO)

Autores	Horizonte de tiempo	Resultado	Impacto estimado para Chile
OECD (2015)	2060	PIB agrícola	+0,30% en PIB
OECD (2015)	2060	PIB agrícola	+0,25% en PIB (factores globales)
OECD (2015)	2060	PIB agrícola	+0,05% en PIB (factores domésticos)
OECD (2015)	2060	Agricultura, pesca, silvicultura	+0,40% en PIB +31% (arroz) +9% (frutas y vegetales) +8% (caña de azúcar y remolacha)
OECD (2015)	2050	Cambios en rendimientos de cultivos	-7% (otros granos) -13% (trigo) -15% (fibras vegetales) -28% (semillas de aceite)
IPCC (2014)	2060	Máxima captura de pesca disponible	-6% a -20%
Roson y Sartori (2016)	2062	Agricultura	+0,01% en PIB (RCP 8,5)
Vergara et al. (2013)	2020	Cambios en rendimientos de cultivos	-8% (granos secundarios) 18% (trigo)
Vergara et al. (2013)	2050	Cambios en rendimientos de cultivos	-17% (granos secundarios) 19% (trigo)
González y Velasco (2008)	2100	Valor de terrenos agrícolas	-6,2% (+2,5°C, -10% precipitación)
Bárcena et al. (2019)	2080	PIB agrícola	-27% (método de cultivo)
Bárcena et al. (2019)	2080	PIB agrícola	-22% (método ricardiano)
Bárcena et al. (2019)	2080	PIB agrícola	-13% (con desarrollo en fertilización)
Bárcena et al. (2019)	2080	PIB agrícola	-24% (sin desarrollo en fertilización)

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6 muestra que Chile puede sufrir daños provenientes de precipitaciones extremas, daños alimentarios y un elevado estrés hídrico/baja disponibilidad hídrica (Gerten et al. 2011; World Bank 2013; Burek et al. 2016; McKinsey 2020). La zona central de Chile (las regiones Metropolitana y de Valparaíso) se encuentra entre el 30% y el 18% del área mundial asociada a una mayor exposición a riesgos de mortalidad por sequía durante el período 1981-2000 (Dilley et al. 2005). Molinos-Senante y Donoso (2021) ofrecen una revisión exhaustiva acerca de cómo Chile mejoró sus servicios de agua y saneamiento, mientras que Vicuña et al. (2021) analizan los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos nacionales. Chile también muestra un alto riesgo de incendios e incendios forestales (World Bank 2021). Sin embargo, McKinsey (2020) solo estima un leve incremento en el riesgo de sequía en Chile para el año 2050, aun estimando un alto nivel de estrés hídrico.

Tabla 6. REVISIÓN DE ESTIMACIONES DESDE ESTUDIOS MULTINACIONALES DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA, INUNDACIONES FLUVIALES Y AMENIDADES EN CHILE (RELATIVO A UN ESCENARIO SIN CAMBIO CLIMÁTICO)

Autores	Horizonte de tiempo	Resultado	Impacto estimado para Chile
Gerten et al. (2011)	2080	Disponibilidad hídrica	-10% en aguas azules, verdes y total
Gerten et al. (2011)	2080	Escasez de agua	0 a 10% de la población (efecto menor)
OECD (2015)	2060	Precipitación extrema	-0,10% en PIB
OECD (2015)	2030	Daños por inundaciones	0 a 0,3 billones de USD
OECD (2015)	2080	Daños por inundaciones	2 billones de USD
Burek et al. (2016)	2050	Demanda de agua	+10% a +25%
World Bank (2013)	2069-2099	Agua azul per cápita	-0% a -10% (RCP 2,6) -10% a -20% (RCP 8,5)
McKinsey (2020)	2050	Estrés hídrico (tasa demanda/oferta)	Incremento del riesgo alto: >7%
McKinsey (2020)	2050	Tiempo de sequía	Sin o con leve incremento: 0 a 3%
McKinsey (2020)	2050	Stock de capital en riesgo por inundaciones fluviales	Disminución de riesgo: <0%
Cruz y Rossi-H. (2021)	2200	Amenidades	+5%
Cruz y Rossi-H. (2021)	2200	Tasa de innovación	-2%

Fuente: Elaboración propia.

El índice ND-GAIN de la Universidad de Notre Dame para 181 países al año 2018 estima que Chile es uno de los países menos vulnerables al cambio climático, ubicándose en el lugar 29º de los países mejor preparados de un total de 181 (ND-GAIN 2018). Finalmente, el modelo de equilibrio general de Cruz y Rossi-Hansberg (2021) muestra que en el largo plazo (con un horizonte para el año 2200), Chile mejoraría sus amenidades para tratar con la transición que implica el cambio climático.

La Tabla 7 proporciona un resumen de los resultados para Chile sobre la base de un amplio espectro de estudios con proyecciones de otros costos no-económicos del cambio climático en un nivel multinacional. Los estudios de la OECD (2015), McKinsey (2020) y de Roson y Sartori (2016) consideran que los riesgos de mortalidad producto del calor en Chile podrían incrementarse levemente, con el último estudio prediciendo solo un 0,27% de los costos del PIB a partir de la salud en un escenario de RCP 8,5. Carleton et al. (2020) estiman un costo de un 3,2% del PIB en daños por mortalidad para el mundo, mientras que Chile podría recibir beneficios en salud de entre un 2% y un 4% del PIB. Sin embargo, Chile tiene las tasas más altas de contaminación de aire entre los países de la OCDE, lo que causa en torno a 4.000 muertes prematuras por año (Baum y Hurn 2021; Basso, Montero y Sepúlveda 2021).

Un riesgo que enfrenta Chile son los daños ecosistémicos, evaluados entre un 0,3% y un 0,6% del PIB (OECD 2015). También puede experimentar transformaciones en la clasificación climática cambiante de la superficie de los terrenos, según el Köppen Climate Classification System (McKinsey 2020) y el Holdridge Life Zone Classification (Vergara et al. 2013), lo que indica que Chile sufre un fuerte riesgo de reducción en la biodiversidad de su flora y fauna, especialmente con la reducción de las áreas polares en el sur y la desertificación en el norte (Vergara et al. 2013). Patterson et al. (2020) estiman que Chile se ubica en el grupo de países con un nivel de riesgo medio a partir del cambio climático, la pérdida de biodiversidad¹⁰ y otros cambios en el capital natural,¹¹ de acuerdo con el Climate and Nature Sovereign Index.

¹⁰ Dasgupta (2021) también muestra que Chile puede sufrir una reducción de entre un 4% a un 10% en la abundancia media de especies (MSA, por su sigla en inglés) hasta el año 2100 bajo un escenario de SSP 8,5, lo que añade un declive en la riqueza de las especies locales de entre un 5% al 10% desde la época colonial a la actualidad.

¹¹ Chile también presenta activos naturales similares a la mayoría de las regiones del mundo y un déficit ecológico de un 0% al 50%, mostrando una huella ecológica mayor que la de su biocapacidad (Dasgupta 2021).

Tabla 7. REVISIÓN DE ESTIMACIONES DESDE ESTUDIOS MULTINACIONALES DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA MORTALIDAD Y LOS DAÑOS ECOSISTÉMICOS EN CHILE (RELATIVO A UN ESCENARIO SIN CAMBIO CLIMÁTICO)

Autores	Horizonte de tiempo	Resultado	Costo estimado para Chile
OECD (2015)	2015	Riesgo de mortalidad	0 personas
OECD (2015)	2030-2050	Riesgo de mortalidad	1.000 personas por año
OECD (2015)	2080	Riesgo de mortalidad	3.000 personas por año
OECD (2015)	2060	Costos en salud	0,90% en PIB
OECD (2015)	2015	Daños por mortalidad	0,3 billones de USD
OECD (2015)	2030	Daños por mortalidad	1,5 billones de USD
OECD (2015)	2050	Daños por mortalidad	3,5 billones de USD
OECD (2015)	2080	Daños por mortalidad	7,5 billones de USD
OECD (2015)	2060	Daños ecosistémicos	0,3% del PIB (RCP 6,0)
OECD (2015)	2060	Daños ecosistémicos	0,6% del PIB (RCP 8,5)
Roson y Sartori (2016)	2062	Salud humana	0,27% del PIB (RCP 8,5)
Carleton et al. (2020)	2100	Riesgo de mortalidad	-50 a -100 (muertes por 100.000 personas)
Carleton et al. (2020)	2100	Daños por mortalidad	-2% a -4% (PIB)
McKinsey (2020)	2050	Población con olas de calor	Sin o con leve incremento de riesgo: 0,5% a 5,0%
McKinsey (2020)	2050	Tierra con cambio de clasificación climática	Alto riesgo de incremento: >10%
Vergara et al. (2013)	2050	Tierra con cambio de clasificación climática	Muy alto riesgo

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 8 muestra que Chile puede experimentar una inmigración creciente debido al cambio climático (Cruz y Rossi-Hansberg 2021; Gaska 2021), ya que es el país latinoamericano mejor preparado para enfrentar los costos del cambio climático. Finalmente, el índice ND-GAIN de la Universidad de Notre Dame (ND-GAIN 2018) estima que Chile sufrirá por el cambio climático en términos de hábitat humano, salud y ecosistema, aunque lo hará mejor en términos de seguridad alimentaria y sensibilidad (que es la fracción de personas susceptibles a padecer los riesgos del cambio climático). Las calificaciones de países del Climate Action Tracker¹² también muestran que Chile podría mejorar sus políticas públicas para el cambio climático.

¹² Disponible en: <https://climateactiontracker.org/countries/chile/> [1 de noviembre 2021].

Tabla 8. REVISIÓN DE LAS ESTIMACIONES DESDE ESTUDIOS MULTINACIONALES DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA POBLACIÓN, LA INMIGRACIÓN, EL BIENESTAR Y EL COMERCIO EN CHILE (RELATIVO A UN ESCENARIO SIN CAMBIO CLIMÁTICO)

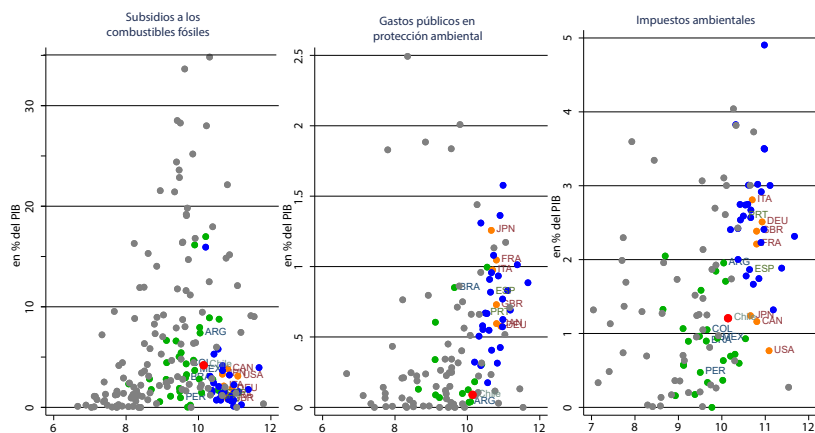
Autores	Horizonte de tiempo	Resultado	Impacto estimado para Chile
Gaska (2021)	2080	Fracción de inmigrantes debido al cambio climático	+5% (en % de la población chilena)
Cruz y Rossi-H. (2021)	2200	Crecimiento de la población debido a la migración	+5%
Cruz y Rossi-H. (2021)	2200	Bienestar (sin cambios impositivos)	-5%
Cruz y Rossi-H. (2021)	2200	Bienestar (con impuestos de carbono)	-6,5%
Cruz y Rossi-H. (2021)	2200	Comercio internacional	+0,4%
Patterson et al. (2020)	2020	Climate and Nature Sovereign Index: Nivel medio de riesgo	

Fuente: Elaboración propia.

5. Política fiscal y objetivos verdes

En términos de política pública, la OECD (2015) estima que Chile podría evitar un 54% de los daños potenciales producto del cambio climático a través de un programa de mitigación derivado de políticas públicas. Krusell y Smith (2020), sin embargo, estiman que un impuesto mundial al carbono impondría una pequeña pérdida de un 0,2% del PIB para Chile y beneficiaría al 40% de su población, lo que implica una pequeña diferencia. Cruz y Rossi-Hansberg (2021) esperan que las pérdidas de Chile se vean más mitigadas por el comercio internacional y la migración, en vez de a causa de la innovación tecnológica y las políticas de impuesto al carbono. El desarrollo financiero y el consumo de energías renovables pueden reducir las emisiones de CO₂ basadas en el consumo en Chile, mientras que el crecimiento económico y el uso de electricidad incrementan las emisiones de carbono (Kirikkaleli, Güngör y Adebayo 2022), con hallazgos similares entre otros países de la OCDE (Paramati, Mo, Huang 2021). Finalmente, Osorio-Aravena et al. (2021) muestran que la transición de Chile a un sistema de energía basado en un 100% de energías renovables para el año 2050 es técnicamente posible.

Figura 8. POLÍTICAS FISCALES VERDES APLICADAS EN DISTINTOS PAÍSES EN 2020



Fuente: FMI, Climate Data.

Nota: Eje horizontal: PIB en USD-PPP per cápita en 2019 (en logaritmo). Chile (rojo), LAC (verde), G7 (naranja), OCDE (azul), otros países (gris).

Utilizando los datos climáticos del FMI¹³ para resumir varias políticas medioambientales como un porcentaje del PIB, la Figura 8 muestra que Chile tiende a estar por debajo de la mayoría de los países en términos de gastos en protección medioambiental, pero se ubica más o menos en la mitad de la lista de países respecto de los impuestos medioambientales y muy por debajo de aquellos que ofrecen los mayores subsidios a los combustibles fósiles. Sin embargo, Chile aún está lejos de los países que proporcionan las mejores políticas climáticas. En 2020, Chile estaba obteniendo en torno a un 1,3% del PIB a través de ingresos fiscales provenientes de impuestos medioambientales, lo que es mucho más bajo que el 3% al 5% del PIB en impuestos cobrados por algunos países desarrollados de la OCDE. Chile, también, dedica solo un 0,1% en PIB en términos de gastos gubernamentales en protección medioambiental, mucho menos que el 1% del PIB que dedican algunas de las economías de altos ingresos. Finalmente, Chile gasta un 3,3% de su PIB en subsidios a combustibles fósiles,¹⁴ mientras que varios de los países desarrollados gastan menos de un 1,5% del PIB en ello.

¹³ Disponible en: <https://climatedata.imf.org/> [26 de mayo 2022].

¹⁴ En 2017, los precios de la gasolina por galón se ubicaban en torno a 4,1 USD en Chile, pero entonces en los países de la Unión Europea los precios variaban entre 6,3 y 9,8 USD (Harris, Roach y Codur 2017). Además, en 2017 Chile impuso un precio de 5 USD por tonelada de dióxido de carbono y con una cobertura del 42% a nivel nacional (Bárcena et al. 2019), lo que es un valor mucho más bajo que los costos de carbono por sobre 50 USD, impuestos en varias naciones desarrolladas.

6. Conclusiones

Este artículo revisa en profundidad el impacto del cambio climático para Chile. A partir del resumen que ofrecen cuatro importantes estudios de forma-reducida (Burke, Hsiang y Miguel 2015; Kalkuhl y Wenz 2020; Roson y Sartori 2016; Kahn et al. 2021), muestro que Chile tiene una predicción baja o moderada de la pérdida del PIB producto del cambio climático para el año 2100, con la excepción de las estimaciones que ofrece el estudio de Kahn et al. (2021). Los estudios mencionados predicen un impacto del PIB para Chile en 2100 que implica una pérdida de un 11,1% y una ganancia del 32% en el escenario de RCP 8,5, lo que muestra que existe una incertidumbre sustantiva en torno a las predicciones de pérdidas del PIB a partir del cambio climático. Además, los estudios de modelos estructurales del cambio climático presentan estimaciones de pérdida del PIB para Chile iguales o inferiores al 3%. Un análisis de varios estudios muestra que se espera que Chile sufra pérdidas menores del PIB relacionadas con la productividad laboral a causa del calor extremo, pero esta variable solo mide un componente de los posibles efectos del cambio climático sobre la economía.

Una revisión del impacto del cambio climático sobre otros resultados muestra que Chile puede experimentar una pérdida significativa en su PIB agrícola y en la pesca, aunque los costos en salud, riesgo de mortalidad e ingresos por turismo pueden experimentar un pequeño cambio e incluso beneficiarse del cambio climático. Sin embargo, de acuerdo con varios estudios, Chile puede experimentar un importante grado de estrés y escasez hídrica debido a las bajas precipitaciones, los incendios, la contaminación del aire y los daños ecosistémicos; también, un alto riesgo de cambio en la clasificación climática del suelo, una reducción moderada en la pérdida de biodiversidad y una reducción significativa en la abundancia de especies. Algunos estudios también predicen un incremento significativo en la migración hacia Chile desde países vecinos más pobres, los que pueden verse fuertemente afectados por el cambio climático.

Por último, de acuerdo con varios índices, Chile aún puede mejorar en términos de las políticas climáticas que atañen a gastos gubernamentales en protección medioambiental, precios del carbono, subsidios a combustibles fósiles, impuestos verdes (como aranceles a la gasolina o

los automóviles) y a la preparación climática en general. Los futuros estudios debieran enfocarse en la eficiencia económica versus las ganancias de la protección medioambiental a partir de distintas políticas. Asimismo, deberían proyectar una agenda óptima para la implementación en Chile de los objetivos de la economía verde.

Bibliografía

- Bárcena, A., Samaniego, J., Peres, W. y Alatorre, J. 2019. *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago: CEPAL.
- Baum, C. y Hurn, S. 2021. *Environmental Econometrics Using Stata*. College Station, Texas: Stata Press.
- Basso, L., Montero, J. y Sepúlveda, F. 2021. A Practical Approach for Curbing Congestion and Air Pollution: Driving Restrictions with Toll and Vintage Exemptions. *Transportation Research Part A* 148(C), 330-352.
- Bosello, F., Roson, R. y Tol, R. 2006. Economy-wide Estimates of the Implications of Climate Change: Human Health. *Ecological Economics* 58, 579-591.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B. y Wiberg, D. 2016. Water Futures and Solution – Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper, WP 16-006.
- Burke, M., Hsiang, S. y Miguel, E. 2015. Global Non-linear Effect of Temperature on Economic Production. *Nature* 527, 235-239.
- Carleton, T., Jina, A., Delgado, M., Greenstone, M., Houser, T., Hsiang, S., Hultgren, A., Kopp, R., McCusker, K., Nath, I., Rising, J., Rode, A., Seo, H., Viaene, A., Yuan, J. y Zhang, A. 2020. Valuing the Global Mortality Consequences of Climate Change Accounting for Adaptation Costs and Benefits. CEPR Discussion Paper DP15139.
- CIE 2021. Climate Impact Explorer. Climate Analytics. Disponible en: <http://climate-impact-explorer.climateanalytics.org/> [23 de mayo 2022].
- Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.-L., Fichet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W.J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A.J. y Wehner, M. 2013. Long-Term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility (1029-1136). En Stocker, T.F. et al. (eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cruz, J.-L. y Rossi-Hansberg, E. 2021. The Geography of Global Warming. Mimeo.
- Dasgupta, P. 2021. *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*. London: HM Treasury.
- Dasgupta, S., Maanen, N. van, Gosling, S., Piontek, F., Otto, C. y Schleussner, C. 2021. Effects of Climate Change on Combined Labour Productivity and Supply: An Empirical, Multi-model Study. *The Lancet Planetary Health* 5(7), e455-e465.
- Diffenbaugh, N. y Giorgi, F. 2012. Climate Change Hotspots in the CMIP5 Global Climate Model Ensemble. *Climatic Change* 114, 813-822.
- Dilley, M., Chen, R., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. y Arnold, M. 2005. *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. Washington, DC: World Bank.
- Eboli, F., Parrado, R. y Roson, R. 2010. Climate-change Feedback on Economic Growth: Explorations with a Dynamic General Equilibrium Model. *Environment and Development Economics* 15(5), 515-533.

- Gaska, J. 2021. The Impact of Climate Change on the Polish Economy. Tesis (PhD). Warsaw School of Economics.
- Germanwatch 2019. Global Climate Risk Index 2020: Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-Related Loss Events in 2018 and 1999 to 2018. Disponible en: <https://sites.tufts.edu/gdae/> o https://www.bu.edu/eci/files/2019/06/The_Economics_of_Global_Climate_Change.pdf [14 de octubre 2022].
- Gerten, D., Heinke, J., Hoff, H., Biemans, H., Fader, M. y Waha, K. 2011. Global Water Availability and Requirements for Future Food Production. *Journal of Hydrometeorology* 12(5), 885-899.
- González, R. y Velasco, J. 2008. Evaluation of the Impact of Climatic Change on the Economic Value of Land in Agricultural Systems in Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 68(1), 56-68.
- Hamilton, J., Maddison, D. y Tol, R. 2005. Climate Change and International Tourism: A Simulation Study. *Global Environmental Change* 15, 253-266.
- Harris, J., Roach, B. y Codur, A. 2017. *The Economics of Global Climate Change. Global Development and Environment Institute*. Somerville, MA: Tufts University.
- Hernández, K. y Madeira, C. 2022. The Impact of Climate Change on Economic Output across Industries in Chile. *PLOS One* 17(4), e0266811.
- HSBC 2018. Fragile Planet: Scoring Climate Risks around the World. HSBC.
- ILO 2019. *Working on a Warmer Planet: The Impact of Heat Stress on Labour Productivity and Decent Work*. International Labour Office. Geneva: ILO.
- IPCC 2014. AR5 Scenario Database. Disponible en: <https://tntcat.iiasa.ac.at/AR5DB/> [1 de octubre 2021].
- Kahn, M., Mohaddes, K., Ng, R., Hashem Pesaran, M., Raissi, M. y Yang, J. 2021. Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis. *Energy Economics* 104, 105624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105624>.
- Kalkuhl, M. y Wenz, L. 2020. The Impact of Climate Conditions on Economic Production. Evidence from a Global Panel of Regions. *Journal of Environmental Economics and Management* 103, 102360. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102360>.
- Kirik kaleli, D., Güngör, H. y Adebayo, T. 2022. Consumption-based Carbon Emissions, Renewable Energy Consumption, Financial Development and Economic Growth in Chile. *Business Strategy and the Environment* 31(3), 1123-1137.
- Kjellström, T., Kovats, R., Lloyd, S., Holt, T. y Tol, R. 2009. The Direct Impact of Climate Change on Regional Labor Productivity. *Archives of Environmental & Occupational Health* 64, 217-227.
- Krusell, P. y Smith, A. 2020. Climate Change Around the World. Mimeo, Yale University.
- McKinsey 2020. Climate Risk and Response: Physical Hazards and Socioeconomic Impacts. McKinsey Global Institute, January 2020.
- Mertz, O., Halsnæs, K., Olesen, J. y Rasmussen, K. 2009. Adaptation to Climate Change in Developing Countries. *Environmental Management* 43, 743-752.
- Molinos-Senante, M. y Donoso, G. 2021. Domestic Uses of Water (259-271). En Fernández, B. y Gironás, J. (eds.), *Water Resources of Chile*. College Station, Texas: Springer.
- ND-GAIN 2018. University of Notre Dame Global Adaptation Index (ND-GAIN): Country Index Technical Report. University of Notre Dame.
- OECD 2015. *The Economic Consequences of Climate Change*. Paris: OECD.

- Osorio-Aravena, J., Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Caldera, U., Ghorbani, N., Mensah, T., Khalili, S., Muñoz-Cerón, E. y Breyer, C. 2021. The Impact of Renewable Energy and Sector Coupling on the Pathway towards a Sustainable Energy System in Chile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 151, 111557.
- Paramati, S., Mo, D., Huang, R. 2021. The Role of Financial Deepening and Green Technology on Carbon Emissions: Evidence from Major OECD Economies. *Finance Research Letters* 41, 101794.
- Patterson, D., Schmitt, S., Singh, S., Eerdmans, P., Hugman, M. y Roux, A. 2020. Climate and Nature Sovereign Index. World Wildlife Fund (WWF) [3 de noviembre 2021].
- Roson, R. y Sartori, M. 2016. Estimation of Climate Change Damage Functions for 140 Regions in the GTAP 9 Database. *Journal of Global Economic Analysis* 1(2), 78-115.
- Swiss Re 2021. *The Economics of Climate Change: No Action not an Option*. Swiss Re Institute.
- Vergara, W., Rios, A., Galindo, L., Gutman, P., Isbell, P., Suding, P. y Samaniego, J. 2013. The Climate and Development Challenge for Latin America and the Caribbean: Options for Climate-Resilient, Low-Carbon Development. Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- Vicuña, S., Vargas, X., Boisier, J., Mendoza, P., Gómez, T., Vásquez, N. y Cepeda, J. 2021. Impacts of Climate Change on Water Resources in Chile (347-363). En Fernández, B. y Gironás, J. (eds.), *Water Resources of Chile*. College Station, Texas: Springer.
- World Bank 2013. *Turn Down the Heat: Climate Extremes, Regional Impacts, and the Case for Resilience*. Washington, DC: World Bank.
- World Bank 2021. *Climate Risk Country Profile: Chile*. Washington, DC: World Bank. *EP*

Artículo

Sesgo en las Notas de Enseñanza Media (NEM): propuestas para perfeccionar los instrumentos de selección a la educación superior

Sylvia Eyzaguirre^a, Javiera Gazmuri^a y Giorgiogiulio Parra^b

^a Centro de Estudios Públicos, Chile

^b Universidad de Chile, Chile

RESUMEN: Los instrumentos de selección para el acceso a la educación superior, los llamados 'puntaje NEM' y 'puntaje *ranking*', presentan sesgos socioeconómicos que benefician a los estudiantes de establecimientos particulares pagados. En este artículo se proponen instrumentos alternativos que corrigen este sesgo. Con estos instrumentos, si las condiciones se mantienen *ceteris paribus*, los estudiantes de establecimientos municipales de mejor rendimiento relativo aumentan sus puntajes NEM, en promedio, más de 100 puntos. Gracias a la colaboración del Departamento de Evaluación, Medición y Registro Educativo se realizaron diversas simulaciones de las asignaciones a programas universitarios en el proceso de admisión 2019. Los resultados exhiben que la incorporación de nuevos instrumentos de selección podría beneficiar a estudiantes provenientes de establecimientos con financiamiento fiscal, en desmedro de estudiantes de colegios parti-

SYLVIA EYZAGUIRRE es PhD en Filosofía por la Universidad de Albert-Ludwig de Freiburg, Alemania. Es investigadora del Centro de Estudios Públicos, Chile. Dirección: Monseñor Sótero Sanz 162, Providencia, Santiago, Chile, CP 7500011. Email: seyzaguirre@cepchile.cl.

JAVIERA GAZMURI es MA en Economía Aplicada por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Es investigadora asociada de ConsiliumBots, Chile. Dirección: Mariano Sánchez Fontecilla 310, Las Condes, Santiago, Chile, CP 7550296. Email: javiera@consiliumbots.com.

GIORGIIOGIULIO PARRA es estudiante de PhD en Sistemas de Ingeniería por la Universidad de Chile. Es investigador en DEMRE-VTI de la Universidad de Chile. Dirección: Beauchef 851, Santiago Centro, Santiago, Chile, CP 8370456. Email: giorgiogiulio@uchile.cl.

Los autores agradecen el trabajo de Enzo Faulbaum y de Horacio San Martín en la elaboración de este artículo.

culares pagados. El beneficio para estos estudiantes se vería traducido en el aumento de la proporción asignada a su primera preferencia, del porcentaje que mejora la preferencia a la cual fue asignada y de la proporción de estudiantes asignados a programas y universidades más selectivas. Además, la disminución en las brechas de matrícula por nivel socioeconómico parecería no tener un alto costo en términos de predictibilidad en el éxito universitario. Los resultados de este trabajo enfatizan la importancia del buen diseño y de la constante evaluación de los instrumentos utilizados para acceder a la educación superior. En este caso, el reemplazo de instrumentos con sesgos socioeconómicos por instrumentos que no contengan o reduzcan los sesgos injustificados puede tener un efecto significativo en la vida de los estudiantes más vulnerables.

PALABRAS CLAVE: educación superior, sesgos socioeconómicos, instrumentos de selección, puntaje NEM, puntaje *ranking*, asignaciones, predictibilidad

RECIBIDO: enero 2022 / ACEPTADO: agosto 2022

Biases in High School Grades: Recommendations to Improve the Higher Education Admissions Tools

ABSTRACT: In Chile, the admission tools for higher education—high school grades and ranking—have socioeconomic biases that benefit private school students. This paper explores alternative selection instruments without socioeconomic status biases. *Ceteris paribus*, these new instruments increase more than 100 points—on average—the high school grade scores of relative top-performing students from public schools. With the new scores given by the alternative selection instruments, we carried out various assignment simulations to university programs in the 2019 admission process. The results shows that the new selection instruments benefit students from state or voucher schools in detriment of students from private schools. The benefits for public and voucher schools students are: i) an increase in the share of these students assigned to their preferred university program, ii) an improvement in their assignment of programs given their preferences, and iii) an increase in the share assigned to the most selective programs and universities. Moreover, the reduction of the socioeconomic gap in university enrollment doesn't seem to have a high cost in predicting academic success in higher education. The results of this paper emphasize the importance of a fair design and constant evaluation of the admissions tools used for higher education. In the Chilean case, the replacement of instruments with socioeconomic biases for instruments with no or less biases can have a significant impact on the lives of low-income students.

KEYWORDS: higher education, socioeconomic bias, selection instruments, high school grades and ranking, assignment, predictability

RECEIVED: January 2022 / ACCEPTED: August 2022

En las últimas décadas, Chile y el resto del mundo han experimentado un aumento en la tasa de participación de la educación superior, probablemente debido a los altos retornos económicos que ella conlleva (Hecckman, Lochner y Todd 2008; Oreopoulos y Petronijevic 2013; Rodríguez, Urzúa y Reyes 2016). Pese a que la masificación de la educación superior ha implicado un aumento en la tasa de participación de los jóvenes de menos recursos, el acceso a la educación superior sigue siendo desigual. No solo los jóvenes de familias con menores ingresos se matriculan proporcionalmente menos que los de mayores ingresos (28,4% es la cobertura del primer decil de ingresos versus 61,2% para el décimo decil según la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional-Casen, realizada en 2017), sino que también los primeros se concentran en carreras e instituciones menos selectivas y con menor retorno económico que los segundos.

Frente a las demandas por mayor equidad en el acceso a la educación terciaria, las universidades chilenas que participan en el Sistema Único de Admisión (SUA) decidieron incorporar en el año 2012 un nuevo instrumento a la batería de selección: el puntaje *ranking*. Este puntaje, junto con el puntaje Notas de Enseñanza Media (NEM), tiene por objeto complementar las mediciones de conocimientos y habilidades cognitivas medidas a través de pruebas estandarizadas con la trayectoria escolar de los postulantes. Sin embargo, ambos puntajes (NEM y *ranking*) presentan sesgos socioeconómicos que perjudican a los estudiantes más vulnerables (gráficos 1A y 1B). En el trabajo de Eyzaguirre, Gazmuri y San Martín (2021a) se evidencia que el puntaje NEM varía en gran medida según la dependencia de los establecimientos escolares, beneficiándose con un mayor puntaje los estudiantes que asistieron a establecimientos particulares pagados. El diseño del puntaje *ranking*¹ replica en cierta medida el sesgo del puntaje NEM, perjudicando a los estudiantes de establecimientos particulares subvencionados y municipales. Los autores concluyen que el sesgo socioeconómico de ambos puntajes no se justifica por diferencias en el rendimiento académico absoluto (controlando por Simce) ni en el rendimiento relativo de los estudiantes.

¹ El puntaje *ranking* toma el valor del puntaje NEM si las NEM del estudiante son menores o iguales a la media histórica de las NEM de su establecimiento (que corresponde al promedio de las NEM de las tres generaciones anteriores), mientras que bonifica con un puntaje por sobre el puntaje NEM a los estudiantes con NEM mayores a la media histórica. Así, el puntaje *ranking* no premia la posición relativa del estudiante dentro de su establecimiento escolar, sino que es otra manera de bonificar las NEM. La fórmula favorece a los estudiantes de establecimientos escolares con promedio NEM alto.

Gráfico 1a. DISTRIBUCIÓN DE PUNTAJE NEM

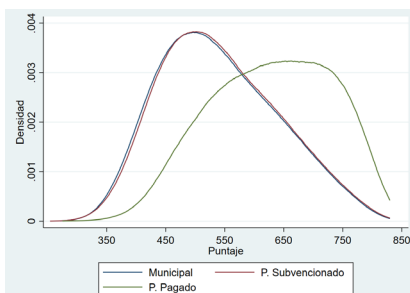
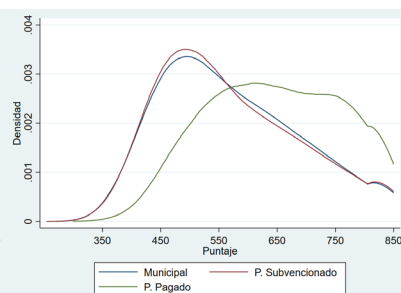


Gráfico 1b. DISTRIBUCIÓN DE PUNTAJE RANKING



Fuente: Elaboración propia en base a datos de rendimiento del Mineduc.

Nota: Se utiliza el puntaje NEM de estudiantes que cursaron cuarto medio en el año 2018, excluyendo a estudiantes que asistieron a establecimientos de educación media para adultos. Municipal corresponde a las categorías corporación municipal y municipal DAEM; particular subvencionado corresponde a las categorías corporación de administración delegada y particular subvencionado.

Los instrumentos de selección varían entre los distintos países, pero existe consenso en su importancia. Por una parte, los sistemas menos selectivos tienen tasas de deserción más altas, lo que conlleva mayores costos económicos y sociales no solo para los estudiantes, sino también para sus familias y el Estado (Halsey 1993 y Deer 2003). Por otra parte, los programas y universidades tienen retornos distintos, de ahí que unos sean más demandados que otros. Cómo asignar los cupos que tienen sobredemanda es, finalmente, una cuestión de justicia. Existe relativo consenso en considerar el rendimiento académico como el principal criterio para la asignación de cupos que son altamente demandados. Por ambas razones es importante la capacidad predictiva de los instrumentos de selección.

La literatura sobre instrumentos de selección para el ingreso a la universidad no es abundante y se concentra principalmente en la capacidad de estos para predecir el desempeño académico futuro. La mayor parte de los estudios revisados comparan la capacidad predictiva de los dos instrumentos más utilizados para el ingreso a la universidad: resultados en pruebas estandarizadas y notas de la educación secundaria. La evidencia internacional no es concluyente. El estudio de Cliffordson (2008) encuentra que las pruebas estandarizadas en Suecia predicen mejor el rendimiento académico futuro de los estudiantes que las notas de la enseñanza media, mientras que los estudios de Baron y Norman (1992) y Niu y Tienda (2012) en Estados Unidos de América muestran que el *ranking* del estudiante en la enseñanza secundaria es un mejor predictor de

rendimiento universitario en comparación con los resultados en pruebas estandarizadas. Geiser y Santelices (2007) estudian la relación entre el rendimiento académico de los estudiantes matriculados en la Universidad de California y sus notas de enseñanza media y los puntajes en la prueba de selección. Ellos encuentran que las notas de enseñanza media son un mejor predictor de rendimiento académico que los resultados en pruebas estandarizadas.² Por otra parte, existe evidencia de los sesgos socioeconómicos y de género que tienen, en general, las pruebas estandarizadas (Arias, Mizala y Meneses 2016; Díaz, Ravest y Queupil 2019). El estudio de Geiser y Santelices (2007) también muestra que las notas de enseñanza media tienen un efecto inclusivo respecto de las pruebas estandarizadas, beneficiando a minorías que se encuentran subrepresentadas en la universidad.

A nivel nacional, Gil y Del Canto (2012) encuentran que aquellos estudiantes en el 10% superior del *ranking* de notas en sus colegios tienen mejor rendimiento académico y una graduación más temprana en la Universidad de Santiago y en la Pontificia Universidad Católica de Chile que sus pares de similar nivel socioeconómico pero ubicados en un percentil menor del *ranking* de notas. El Centro de Estudios del Ministerio de Educación (Mineduc), a través de su serie Evidencias, publicó dos documentos (Centro de Estudios Mineduc 2012, 2013), que muestran el sesgo socioeconómico de las NEM y del *ranking*, así como el mínimo efecto de este último en aumentar el número de estudiantes pertenecientes a familias de bajos recursos en la educación superior.

En este artículo se proponen diferentes instrumentos de selección para evaluar el reemplazo de los puntajes NEM y/o *ranking*. El primer instrumento estandariza el puntaje NEM. Este corresponde a las NEM del estudiante, descontando la media de las NEM de su generación de egreso del colegio, dividido por la desviación estándar. El segundo instrumento alternativo es el puntaje *ranking* según el percentil de egreso. El tercero lo llamamos puntaje Turanking. Esta fórmula asigna 600 puntos a todos los estudiantes que egresaron con un promedio de NEM igual al promedio de las NEM de las tres generaciones anteriores de su establecimiento. Sobre o bajo ese promedio de notas, el puntaje crece o decrece lineal-

² Este estudio evalúa la capacidad predictiva de los instrumentos en poblaciones que fueron seleccionadas con pruebas estandarizadas, presentando serias limitaciones a la hora de extender la validez de estos resultados a otras poblaciones.

mente hasta alcanzar el promedio de las máximas o mínimas NEM de las tres generaciones anteriores, a los cuales se les asigna 850 o 350 puntos, respectivamente. El último instrumento es el puntaje *ranking* según el percentil de egreso histórico, considerando las tres generaciones anteriores. Con el fin de estudiar el impacto de estos nuevos instrumentos en la matrícula universitaria, gracias a la colaboración del Departamento de Evaluación, Medición y Registro Educativo (DEMRE), se realizaron diversas simulaciones de las asignaciones a programas universitarios en el proceso de admisión 2019 con el algoritmo que utiliza el DEMRE. Según nuestro conocimiento, este es el primer artículo que se aproxima a estimar el impacto que tendría el reemplazo de las NEM y el actual *ranking* por nuevos instrumentos en las asignaciones a programas universitarios.

Los resultados muestran que todos los instrumentos propuestos —que buscan medir el rendimiento relativo de los estudiantes de una manera diferente al actual puntaje *ranking*— presentan una distribución más equitativa que el puntaje NEM y *ranking* al comparar las diferentes dependencias. Los estudiantes de establecimientos municipales de mejor rendimiento relativo aumentan sus puntajes en más de 100 puntos en promedio respecto del puntaje NEM. En cuanto a las asignaciones, se observa que la incorporación de los nuevos instrumentos de selección podría beneficiar a estudiantes provenientes de establecimientos con financiamiento fiscal en desmedro de estudiantes de colegios particulares pagados. En el mejor escenario simulado, aumentaría en 5% la proporción de estudiantes de establecimientos municipales y particulares subvencionados asignados a su primera preferencia en comparación con el escenario base y en 10% los estudiantes asignados que quedarían en una preferencia más alta. Asimismo, aumentaría en 17% los estudiantes de establecimientos municipales y de colegios particulares subvencionados asignados a programas altamente selectivos en comparación con el escenario base. La predictibilidad de los instrumentos propuestos es menor que la del puntaje PSU de Matemática y, dependiendo del caso, es igual o mayor que la del puntaje PSU de Lenguaje. En comparación con el puntaje NEM y *ranking*, en general, los instrumentos propuestos tienen menor predictibilidad que el NEM pero igual que el *ranking* actual, con excepción de uno.

Los resultados de este trabajo muestran la importancia del buen diseño y constante evaluación de los instrumentos utilizados para acceder

a la educación superior. En este caso, el reemplazo de instrumentos con sesgos socioeconómicos por instrumentos que carecen de estos sesgos o que los reducen, puede tener un impacto significativo en la vida de los estudiantes más vulnerables de alto rendimiento académico que, gracias a nuevos instrumentos con menor sesgo socioeconómico, podrían acceder a programas o universidades más selectivas.

El presente artículo tiene la siguiente estructura. La sección 1 describe el sistema de admisión universitario chileno. La sección 2 describe los datos y la metodología utilizada. La sección 3 detalla los instrumentos de selección propuestos que reemplazan al puntaje NEM y *ranking*. La sección 4 evalúa el efecto de la introducción de los puntajes propuestos en el acceso a la educación superior, tanto en la distribución de los puntajes, las asignaciones, la capacidad predictiva de estos y las limitaciones de los ejercicios realizados. Finalmente, la sección 5 concluye.

I. Sistema de admisión universitario chileno

El sistema de acceso a la educación superior en Chile comprende dos subsistemas: el universitario y el técnico-profesional. El sistema único de admisión universitaria (SUA) no es obligatorio, sin embargo, la gran mayoría de las universidades del país participa de él, en parte, por las implicancias económicas que conlleva. Este es un sistema integrado y centralizado de asignación de cupos de todas las universidades adscritas. El sistema opera a través de una plataforma electrónica administrada por la Subsecretaría de Educación Superior. En dicha plataforma, los estudiantes podrán encontrar la oferta académica y vacantes ofrecidas por cada carrera y programa de estudios, plazos de postulación, criterios de selección, entre otros.

A través de esta plataforma, los estudiantes postulan a carreras y programas de pregrado de las instituciones adscritas a este sistema. Las asignaciones se realizan mediante un algoritmo basado en las investigaciones de David Gale y Lloyd Shapley (1962). En este algoritmo, las preferencias de las universidades por los estudiantes se ven materializadas mediante la particular ponderación que cada institución da a los instrumentos exigidos para la selección: las pruebas de selección, el puntaje NEM y el puntaje *ranking*.

El proceso de admisión, implementado por el Departamento de Evaluación, Medición y Registro Educacional (DEMRE), opera de la siguiente manera. Primero, las universidades publican la ponderación de cada instrumento de selección para todos sus programas. Posteriormente, los estudiantes realizan las pruebas de selección y obtienen sus puntajes NEM y *ranking* a partir de su desempeño escolar. Las pruebas de selección obligatorias corresponden a matemática y comprensión lectora, mientras que los estudiantes pueden elegir si rendir la prueba de ciencias y/o historia y ciencias sociales. Una vez que los puntajes de las pruebas de selección son publicados, los estudiantes pueden postular a los diferentes programas en un determinado lapso. Si los estudiantes deciden postular, pueden realizar un máximo de diez postulaciones. Después, el algoritmo asigna los cupos y las listas de espera de manera centralizada en base al puntaje ponderado y las postulaciones, teniendo en cuenta ciertas restricciones impuestas por las universidades. Por ejemplo, algunos programas exigen, como mínimo, cierto puntaje ponderado.³ Si el estudiante asignado al último cupo de un programa tiene el mismo puntaje ponderado que los primeros estudiantes de la lista de espera, el programa debe aceptar a todos a través de sobrecupos.⁴ Los estudiantes seleccionados pueden aceptar la asignación y matricularse en el programa o esperar a que corra la lista de espera de una postulación de preferencia superior a la cual fue asignado.

El algoritmo asigna los cupos regulares de manera integrada con los cupos de la Beca de Excelencia Académica (BEA)⁵ y, a partir del proceso de admisión 2020, también con los cupos del Programa de Acompañamiento y Acceso Efectivo (PACE).⁶

³ Otras restricciones son que la preferencia de la postulación excede el máximo permitido por la universidad o que está fuera del rango; el/la postulante no cumple el sexo exigido por la carrera; no rindió o aprobó prueba especial excluyente; no cumple el puntaje mínimo *ranking* exigido, entre otras.

⁴ Existen otros detalles propios del algoritmo implementado por el DEMRE que no serán mencionados puesto que afectan a un número reducido de asignaciones.

⁵ Vacantes llenadas según el puntaje ponderado de las personas con derecho a la beca que figuren en la correspondiente lista de espera.

⁶ Vacantes para estudiantes que fueron parte del programa durante la educación media. Los estudiantes habilitados tienen un puntaje ponderado diferente para los cupos PACE, por lo que las vacantes son llenadas según el puntaje ponderado PACE.

2. Datos y metodología

Los datos utilizados corresponden principalmente al proceso de admisión 2019 del SUA, es decir, datos relacionados con la Prueba de Selección Universitaria (PSU) rendida a fines del año 2018, provistos por el DEMRE. Utilizamos este proceso ya que fue el último que se desarrolló de manera regular previo a la pandemia.⁷

El análisis se centra, primero, en los puntajes creados a partir de los instrumentos propuestos; segundo, en las asignaciones que generan dichos instrumentos; y, tercero, en la predictibilidad de estos. Los tres aspectos del análisis utilizan los puntajes que generamos a partir de los datos del Ministerio de Educación acerca del rendimiento estudiantil.

Para analizar los puntajes se utilizan datos de todos los estudiantes egresados el año 2018 en educación para jóvenes. Como la inscripción a la PSU es voluntaria, históricamente las personas con menores NEM tienden a inscribirse en menor proporción, sobre todo aquellas que provienen de contextos más vulnerables. Por lo anterior, el análisis contempla a toda la generación y no solo a los inscritos para rendir la PSU, de forma que no se limite la interpretación de los resultados a una parte de la población.

Para analizar las asignaciones se requiere realizar simulaciones utilizando los nuevos instrumentos. El DEMRE estuvo encargado de realizar dichas simulaciones. Se obtuvieron las asignaciones bajo diferentes escenarios, con el fin de comparar la asignación original (que utiliza los instrumentos NEM y *ranking*) con cuatro simulaciones, cada una utilizando un instrumento diferente. En las simulaciones, la ponderación de cada instrumento propuesto es igual a la suma de la ponderación que tenía inicialmente el puntaje NEM y *ranking* en cada programa universitario. En este análisis se recurre a los datos de todos los postulantes del proceso de admisión 2019. Por lo tanto, el análisis incluye las asignaciones de cupos regulares y BEA, pero no las asignaciones de cupos PACE.

Los instrumentos propuestos afectan las asignaciones de diferentes maneras. Primero, a través del puntaje ponderado. Este puntaje afecta el orden de los postulantes, así como también la cantidad de vacantes

⁷ El proceso de admisión 2020 tuvo severas complicaciones al realizarse en el marco del llamado 'estallido social'. Eyzaguirre, Gazmuri y San Martín (2021b) analizan los posibles efectos del estallido en la rendición de los estudiantes.

asignadas como sobrecupo. Segundo, a través de las restricciones que imponen ciertos programas, como el puntaje ponderado mínimo. Ambos puntos generan que cada análisis estadístico a partir de las simulaciones contemple un número distinto de estudiantes asignados. Tercero, a través de las postulaciones. Es probable que los estudiantes cambien sus postulaciones según sus puntajes. Lamentablemente, no existe información disponible que permita conocer las intenciones de postulación con los nuevos puntajes, por lo que el ejercicio realizado en este trabajo asume que el comportamiento de los estudiantes se mantiene constante. Esta limitación es abordada con mayor profundidad en la sección 4, bajo el subtítulo 'Cambios en las asignaciones'.

Dados la integración del sistema y el que los cupos son fijados por las universidades, cambiar los instrumentos de selección es un juego de suma cero en las asignaciones, en el sentido de que es imposible mejorar a algunos sin perjudicar a otros. Por lo tanto, al momento de evaluar cada instrumento y de elegir el óptimo, se está optando por ciertos grupos beneficiados y por otros perjudicados.

Por otro lado, el análisis respecto de la capacidad predictiva de los instrumentos se refiere a la magnitud de la correlación de estos con el rendimiento académico en la educación superior. En este artículo, el análisis sobre predictibilidad es una aproximación a la verdadera capacidad predictiva de los instrumentos propuestos, dado que las asignaciones, la matrícula y el desempeño académico en la educación superior que nace de utilizar estos instrumentos en el proceso de admisión, es desconocida. Luego, es esperable que la predictibilidad de los instrumentos propuestos cambie. Esta limitación es abordada con mayor profundidad en la sección 4, en el apartado 'Predictibilidad de los instrumentos'.

En el análisis sobre capacidad predictiva se utilizan datos de retención al segundo año de estudio y el porcentaje de asignaturas aprobadas, ambos provistos por la Subsecretaría de Educación Superior. Esta información es pareada con los matriculados del proceso de admisión 2019: el 97,8% de los matriculados en aquel proceso cuenta con información respecto de las medidas de éxito universitario.

Por último, al momento de estudiar las asignaciones y la predictibilidad de los instrumentos es importante establecer que aproximadamente al 7% de los postulantes y al 4% de los matriculados no se les pudo crear

un puntaje por falta de información. En el caso de los postulantes, se les mantuvo su puntaje *ranking* original.^{8,9}

Los postulantes y matriculados a los que fue posible crearles nuevos puntajes no son estadísticamente diferentes del total de postulantes y matriculados en cuanto al género y al tipo de dependencia, respectivamente (ver anexos 1 y 2). Se observan diferencias significativas, pero de pequeña magnitud, en el porcentaje de estudiantes sin información respecto de la dependencia, el porcentaje de recién egresados y egresados hace más de cinco años, el promedio de las notas de enseñanza media y la PSU de Lenguaje y Matemática. La población a la cual fue posible crearle nuevos puntajes tiene, en comparación con el total, mejor desempeño académico, comprende a recién egresados en mayor proporción y cuenta en mayor proporción con información respecto de la dependencia de su establecimiento educacional. Esta información es relevante y debe ser considerada al momento de interpretar los resultados.

3. Propuestas de instrumentos de selección

Los puntajes NEM y *ranking* se construyen a partir de las NEM de un estudiante. En el trabajo de Eyzaguirre, Gazmuri y San Martín (2021a) se evidencia que las NEM no predicen ni el rendimiento relativo ni objetivo y contienen sesgo socioeconómico, perjudicando en promedio más a los estudiantes vulnerables. Además, en los últimos años se ha evidenciado un aumento sistemático en las NEM que no fue a la par con una mejora en el desempeño académico —fenómeno comúnmente llamado como inflación de notas—, lo cual tiene un impacto directo en el puntaje NEM de los estudiantes (Fajnzylber, Lara y León 2019; González y Johnson 2018).

Por estas razones, a continuación se proponen diferentes instrumentos de selección que no tienen sesgo socioeconómico o lo reducen de forma considerable. Ahora bien, de querer utilizarse las NEM y el *ran-*

⁸ De estos, el 6% aproximadamente no cuenta con puntaje *ranking*. En estos casos, el sistema asigna mayor peso a las pruebas PSU. Para el análisis de capacidad predictiva de los instrumentos se excluye del análisis al 4% sin puntaje.

⁹ También surgieron casos en los que los estudiantes no contaban con tres generaciones anteriores de su mismo colegio. Luego, para los instrumentos que requieren de dicha información, se obtiene el puntaje en base a las generaciones anteriores que los estudiantes posean.

king como predictor de rendimiento objetivo, se debería transitar a un sistema de evaluación diferente que asegure dicha objetividad, como lo son los sistemas de evaluación de enseñanza media en Alemania, Francia o Inglaterra, solo por nombrar algunos. Dado que estos sistemas de evaluación son complejos y costosos de implementar, y que además en Chile contamos con una larga experiencia en pruebas estandarizadas, cuyo objeto es ordenar a los que rinden las pruebas en función de sus aptitudes y conocimientos académicos, parece más útil complementar la batería de pruebas estandarizadas con instrumentos que agreguen valor. Para ello, por ejemplo, podría incorporarse el rendimiento relativo del estudiante, que mide, entre otras cosas, habilidades blandas que predicen éxito en los estudios (Saltiel 2020). Las NEM no logran entregar información adecuada sobre el rendimiento relativo, dadas las diferencias que existen en su distribución entre establecimientos escolares. Asimismo, el puntaje *ranking*, al estar diseñado como una bonificación por sobre el puntaje NEM, tampoco logra representar de manera adecuada el rendimiento relativo de los estudiantes.

Medir el rendimiento relativo y no el objetivo de la trayectoria académica de los estudiantes tiene dos principales ventajas. Primero, el rendimiento relativo compara a estudiantes de contexto similar y en base a esta comparación otorga un puntaje. Esto es beneficioso especialmente en un sistema educacional como el chileno, donde existen grandes diferencias en la educación entregada, sobre todo si se comparan colegios particulares pagados con municipales o particulares subvencionados. El rendimiento relativo por construcción no debiera tener sesgo socioeconómico. Segundo, frente a la inflación de notas presenciada en los últimos años, usar las NEM directamente como instrumento de selección va perjudicando a los postulantes egresados de años anteriores en beneficio de los postulantes recién egresados, lo cual no ocurre con la posición relativa de un estudiante.

Sin embargo, los instrumentos que miden el rendimiento relativo pueden generar un efecto indeseado, a saber, la migración de estudiantes con mal desempeño relativo a un establecimiento con estudiantes de menor rendimiento académico con el fin de mejorar su puntaje. Cullen, Long y Reback (2013) encuentran resultados a favor de este fenómeno en Texas, luego de que se aplicó una política que permitía al 10% superior de cada establecimiento escolar entrar de forma directa a las univer-

sidades estatales. Las propuestas mencionadas a continuación no contemplan todos los detalles del diseño que debe tener un instrumento, pero es importante establecer que, en el caso de que estas propuestas sean consideradas para ser implementadas en el sistema de acceso a la educación superior, el diseño final del instrumento debe buscar minimizar los efectos colaterales indeseados.¹⁰

Por último, es relevante mencionar que todos los instrumentos propuestos a continuación utilizan las NEM del estudiante, pero de una manera diferente a como lo hace el actual puntaje *ranking* y NEM. Los puntajes propuestos utilizan las NEM con el fin de otorgar un ordenamiento dentro del contexto educacional del estudiante, es decir, el valor de las NEM no es relevante para obtener el puntaje, lo cual no ocurre con el actual puntaje *ranking*.

A continuación se analizan cuatro instrumentos de selección alternativos al puntaje NEM y *ranking*:

1) Puntaje NEM estandarizado. Este puntaje se obtiene a partir de las NEM estandarizadas que corresponden a las NEM del estudiante, descontando la media de las NEM de su generación de egreso del colegio, dividido por la desviación estándar. A nivel agregado, se otorgan 850 puntos al estudiante con las mayores NEM estandarizadas; bajo esas notas estandarizadas el puntaje decrece linealmente hasta llegar a 350 puntos.¹¹

2) Puntaje *ranking* según el percentil de egreso.¹² Se entrega un puntaje en base a la posición relativa del estudiante dentro de su misma generación. La fórmula sería la siguiente:

$$PR = 355 + 5 * (\text{Percentil} - 1)$$

Relacionado con este *ranking*, Contreras, Gallegos y Meneses (2009) plantean que los estudiantes que estuvieron entre los mejores de su co-

¹⁰ Por ejemplo, el actual puntaje *ranking* fue modificado para evitar la migración de estudiantes durante cuarto medio, considerando los promedios de los distintos establecimientos escolares donde cursaron la enseñanza media.

¹¹ Estos límites son similares a los puntajes NEM y *ranking* del percentil 1 y 99. Pese a que el puntaje NEM y, en consecuencia también, el puntaje *ranking* comienzan alrededor de los 150 puntos según la tabla de conversión para unas NEM iguales a 4, en la práctica no hay estudiantes con NEM tan bajas, razón por la cual se utilizan los percentiles para fijar los límites.

¹² En adelante, *ranking* generación.

legio tienen un mejor desempeño universitario, aun controlando por los puntajes de las pruebas PSU y las NEM. Esto sugiere que esta medida de habilidad relativa captura información respecto de otras características de los estudiantes que no entregan las variables de selección como el puntaje PSU o NEM. Además, nuestro país cuenta con experiencias exitosas relacionadas con este tipo de *ranking*, como la política aplicada por la Universidad de Santiago de Chile (Usach) entre 1992 y 2004, que bonifica con puntos a los estudiantes del 15% superior de su generación, o el programa Creciendo en Talento e Inclusión de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC), focalizado mayormente en estudiantes pertenecientes al 7,5% de mejor rendimiento de su establecimiento de los cuatro quintiles de menores ingresos.¹³

Las desventajas de este instrumento son principalmente dos. Primero, puede generar competencia entre los estudiantes de un mismo colegio. Segundo, por más que un estudiante se esfuerce en mejorar sus notas, puede no ver un aumento en su puntaje debido a que este depende del rendimiento de sus compañeros.

3) Puntaje Turanking. Esta fórmula fue analizada por el Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH) en el año 2012. Se asignan 600 puntos a todos los estudiantes que egresaron con un promedio de NEM igual al promedio de las NEM de las tres generaciones anteriores de su establecimiento. Sobre o bajo ese promedio de notas, el puntaje crece o decrece linealmente hasta alcanzar el promedio de las máximas o mínimas NEM de las tres generaciones anteriores, a los cuales se les asigna 850 o 350 puntos, respectivamente. Por lo tanto, es muy similar al actual puntaje *ranking*, con la diferencia de que no se construye como una bonificación por sobre el puntaje NEM. La ventaja de esta fórmula es que elimina la competencia entre estudiantes de una misma generación.¹⁴

4) Puntaje *ranking* según el percentil de egreso histórico.¹⁵ Este *ranking* atribuye un puntaje a un estudiante en base no solo a la comparación con su generación, sino también con las tres anteriores, es decir, se junta la generación del estudiante con las tres generaciones anteriores y se establece un orden de todos los estudiantes en base a las NEM. A par-

¹³ Para más información, ver el trabajo de Gil, Paredes y Sánchez (2013).

¹⁴ Este puntaje difiere levemente del original debido a que se ajusta al límite inferior de 350 puntos.

¹⁵ En adelante, *ranking* histórico.

tir de ese orden se obtiene la posición relativa de los estudiantes recién egresados. Por lo tanto, la fórmula es la misma que la del *ranking* según el percentil de egreso, pero difiere en la forma de obtener el percentil. Este *ranking* elimina parcialmente la competencia entre estudiantes de una misma generación, ya que la posición relativa de un estudiante depende no solo del rendimiento de su generación, sino también de las tres generaciones recientemente egresadas.

4. Efecto en el acceso a la educación superior

Puntajes

A continuación se analiza la distribución de los puntajes por dependencia para estos cuatro instrumentos. De los gráficos 2A, 2B, 2C y 2D se desprende que el segundo y cuarto instrumento de selección propuesto cuentan con una distribución equitativa de puntajes entre dependencias, mientras que en el primer y tercer instrumento se observan diferencias entre dependencias que favorecen a los colegios particulares pagados.¹⁶ En efecto, al realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov, que permite distinguir si las distribuciones son estadísticamente diferentes entre sí, se obtiene que con el instrumento *ranking* generación y *ranking* histórico no es posible rechazar con 99% de confianza la hipótesis de que la distribución de los puntajes de estudiantes provenientes de establecimientos municipales y particulares subvencionados sea igual a la distribución de los particulares pagados. Con todo, las diferencias entre dependencias encontradas al utilizar el puntaje NEM estandarizado y el puntaje Turanking son menores a las diferencias existentes en el puntaje NEM y *ranking* actual (ver gráficos 1A y 1B).

¹⁶ Un factor que puede influir en los resultados es la cantidad de estudiantes por establecimiento. La posición relativa de un estudiante, utilizada para la construcción del puntaje de cada instrumento, depende del tamaño del establecimiento. Al clasificar los establecimientos en grandes o pequeños según si tienen más o menos de 30 estudiantes por generación, se obtienen distribuciones muy similares a las mostradas en los gráficos 2A, 2B, 2C y 2D en ambos casos. El detalle de los resultados puede ser solicitado a los autores.

Gráfico 2a. DISTRIBUCIÓN DEL PUNTAJE NEM ESTANDARIZADO

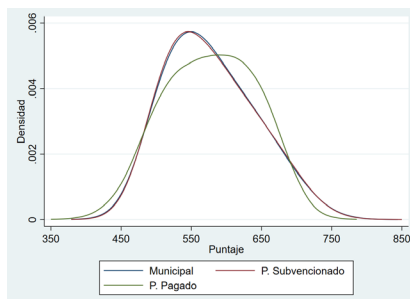


Gráfico 2b. DISTRIBUCIÓN DEL PUNTAJE RANKING GENERACIÓN

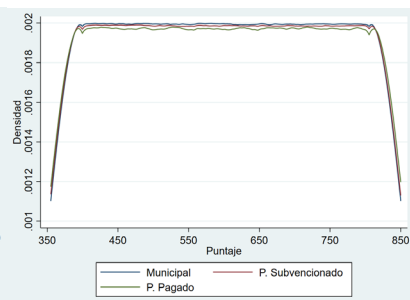


Gráfico 2c. DISTRIBUCIÓN DEL PUNTAJE TURANKING

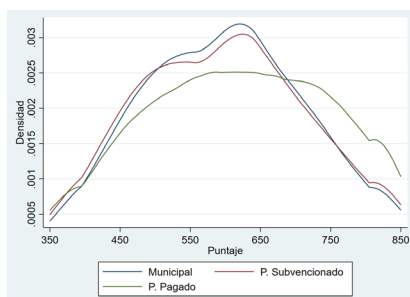
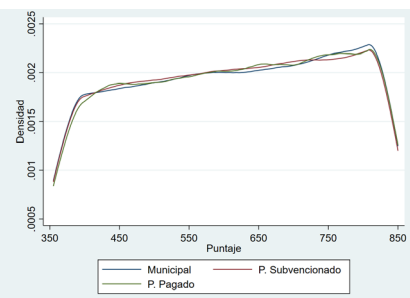


Gráfico 2d. DISTRIBUCIÓN DEL PUNTAJE RANKING HISTÓRICO

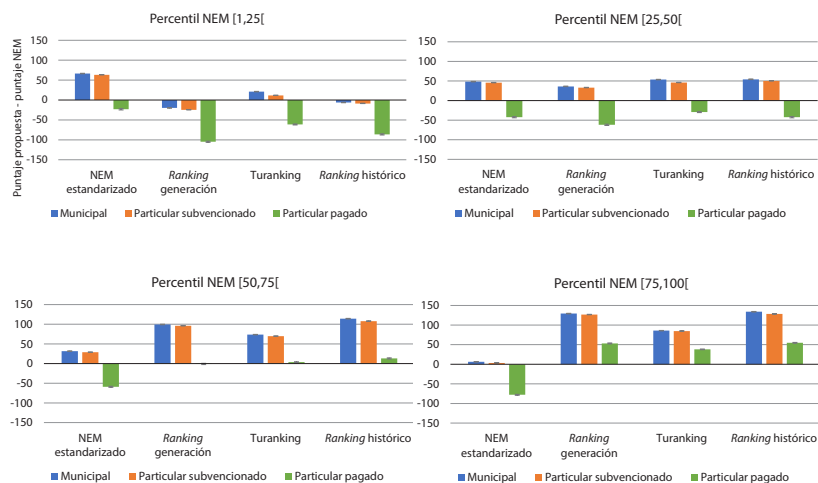


Fuente: Elaboración propia en base a datos de rendimiento del Mineduc.

A continuación, analizamos el cambio promedio en el puntaje que tendrían los estudiantes (respecto del puntaje NEM) según su percentil de egreso y dependencia. En el Gráfico 3 se observa que los estudiantes que más se benefician con las propuestas corresponden a los de mejor desempeño relativo de establecimientos municipales y particulares subvencionados para todos los instrumentos propuestos. En promedio, un estudiante de colegio municipal que se encuentra entre los percentiles 75 y 100 aumenta su puntaje en 129 puntos con el *ranking* generación, 86 puntos con Turanking y 134 puntos si se utiliza el instrumento *ranking* histórico.¹⁷ Con el instrumento que estandariza el puntaje NEM, los estudiantes de establecimientos municipales aumentan en promedio su puntaje en solo 6 puntos, pero el beneficio sigue siendo significativo para ellos, pues los estudiantes de colegios particulares pagados disminuyen

¹⁷ Las diferencias entre instrumentos son significativas con el 99% de confianza.

Gráfico 3. DIFERENCIA PROMEDIO ENTRE LOS DIFERENTES PUNTAJES PROPUESTOS CON EL PUNTAJE NEM



Fuente: Elaboración propia en base a datos de rendimiento del Mineduc.

Nota: Intervalos de confianza al 5%.

su puntaje en 78 puntos. En el margen superior, los estudiantes de establecimientos municipales pueden aumentar sus puntajes en hasta 320 puntos con los nuevos instrumentos en comparación con el puntaje NEM.

Estas propuestas aumentan las diferencias en puntaje entre personas de rendimiento relativo bajo y alto, mientras que disminuyen las diferencias en puntaje por factor socioeconómico.¹⁸

Cambios en las asignaciones

A continuación se compara la asignación original del proceso de admisión 2019 (en adelante, asignación base) con las asignaciones simuladas, utilizando los instrumentos propuestos en reemplazo del puntaje NEM y *ranking*.

En la Tabla 1 se presenta la distribución de algunas características (género, dependencia del establecimiento educacional y años desde egreso) de las personas que quedaron seleccionadas en alguna de sus preferencias para cada asignación. El primer punto a destacar es que, en

¹⁸ Se obtienen conclusiones similares si analizamos la diferencia de puntaje con el puntaje *ranking*.

términos globales, cae el número de asignados en las simulaciones entre 0,4% y 1,2% respecto del escenario base, lo cual es producto principalmente de un aumento de los casos en que el estudiante no cumple con el puntaje ponderado mínimo exigido por ciertos programas.¹⁹

En cuanto a la asignación de cupos por tipo de dependencia, el mayor cambio se observa en la proporción de estudiantes de establecimientos particulares pagados, cuya asignación disminuye entre 2% y 5% en comparación con el escenario base. Por otro lado, el promedio del Índice de Vulnerabilidad Escolar (IVE)²⁰ aumenta en todas las simulaciones, especialmente en aquella que utiliza el *ranking* de la generación (ver Anexo 3).²¹ En términos de género y años desde el egreso, las proporciones se mantienen relativamente estables en todas las asignaciones analizadas.

Tabla 1. DISTRIBUCIÓN DE ESTUDIANTES ASIGNADOS A UN CUPO UNIVERSITARIO

		Base	Sim. 1: NEM estándar	Sim. 2: <i>Ranking</i> generación	Sim. 3: Turanking	Sim. 4: <i>Ranking</i> histórico
Género	Hombres	46,4%	46,6%	46,2%	46,3%	46,2%
	Mujeres	53,6%	53,4%	53,8%	53,7%	53,8%
Dependencia	Servicio local educación	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%
	Municipal	25,7%	25,8%	26,0%*	26,0%	26,0%
	Particular subvencionado	53,2%	53,6%*	53,8%***	53,5%	53,8%***
	Particular pagado	19,6%	19,1%***	18,6%***	19,0%***	18,7%***
	Sin información	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%
Años desde egreso	Recién egresado	57,5%	57,4%	57,3%	57,4%	57,4%
	1-2 años	30,7%	30,5%	30,6%	30,7%	30,6%
	3-5 años	7,6%	7,7%	7,7%	7,6%	7,7%
	> 5 años	4,3%	4,4%	4,4%	4,3%	4,4%
Total (N°)		125.542	125.114	124.099	125.053	124.433

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones realizadas por el DEMRE.

Nota: *p < 0,1, **p < 0,05 y ***p < 0,01 en relación con la asignación base.

¹⁹ Producto de los sobrecupos y de las restricciones de los programas, el número de asignados varía ligeramente según la simulación a analizar.

²⁰ Indicador utilizado en el marco de los Programas de Alimentación Escolar de la Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas, que mide el porcentaje de estudiantes vulnerables a través de una evaluación socioeconómica.

²¹ El promedio del IVE en la asignación base es 0,647 y en la simulación 2 es 0,650.

Si bien en términos agregados no se observaron cambios de gran magnitud y en muchos casos las distribuciones se mantuvieron, esto no necesariamente implica que los estudiantes son indiferentes entre la asignación base y las simulaciones, ya que pueden diferir los programas en que finalmente quedan asignados.

A continuación analizamos los cambios en la distribución de los estudiantes asignados a su primera preferencia. A partir de la Tabla 2 se observa que la proporción de estudiantes asignados a su primera preferencia provenientes de colegios particulares pagados disminuye en 10%, 19%, 14% y 18%, respecto de la asignación base en la simulación 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Dependiendo de la simulación que se analice, la disminución de estudiantes de colegios particulares pagados es reemplazada principalmente por estudiantes que asistieron a establecimientos municipales o particulares subvencionados. En la simulación 2 se advierte que la proporción de estudiantes de establecimientos con financiamiento fiscal aumentaría en 5%, que corresponde a cerca de 4.000 estudiantes. Además, el promedio del IVE aumenta en todas las simulaciones, aunque con mayor intensidad en las simulaciones 2 y 4 (ver Anexo 3).²² Respecto de la distribución por género y años desde el egreso, pese a que en ciertos casos las diferencias con la asignación base son significativas, las magnitudes son pequeñas en términos absolutos.

En el Gráfico 4 se presenta el porcentaje de postulantes que quedó asignado en una mejor o peor preferencia respecto de su asignación base. Del gráfico se desprende que la diferencia entre el porcentaje de estudiantes que empeora su situación respecto del porcentaje que mejora es mayor entre los estudiantes egresados de establecimientos particulares pagados, lo que ocurre con mayor magnitud en las simulaciones 2 y 4, donde esta diferencia alcanza los 14 y 13 puntos porcentuales (p.p.), respectivamente. Para las cuatro simulaciones, los estudiantes egresados de establecimientos particulares subvencionados son los más beneficiados. La simulación 2 entrega el mejor escenario para estudiantes de establecimientos con financiamiento público; en ella, el 10% de los estudiantes de establecimientos municipales y particulares subvencionados originalmente asignados mejoraría la preferencia a la cual fueron asignados.

²² El promedio del IVE toma el valor de 0,657 en las asignaciones 2 y 4, mientras que en la asignación base este promedio fue 0,647.

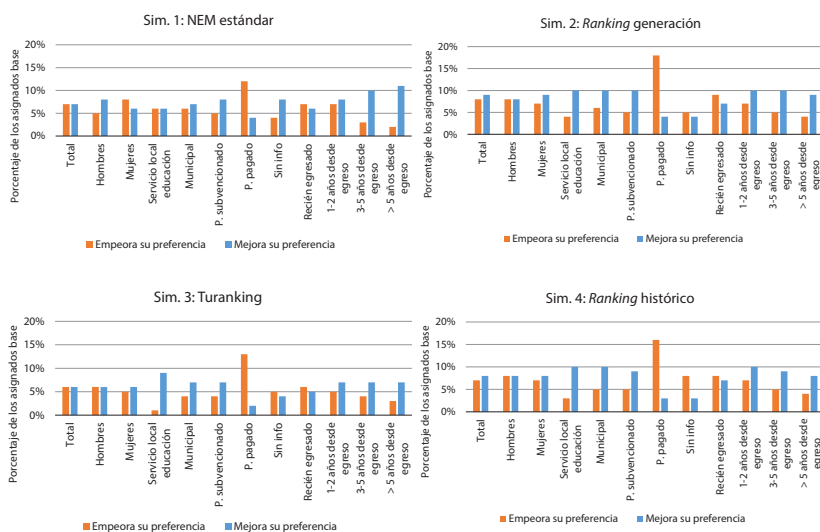
Tabla 2. DISTRIBUCIÓN DE ESTUDIANTES ASIGNADOS A SU PRIMERA PREFERENCIA

		Base	Sim. 1: NEM estándar	Sim. 2: Ranking generación	Sim. 3: Turanking	Sim. 4: Ranking histórico
Género	Hombres	48,2%	49,8%***	48,0%	48,2%	48,1%
	Mujeres	51,8%	50,2%***	52,0%	51,8%	51,9%
Dependencia	Servicio local educación	0,6%	0,6%	0,6%	0,7%	0,6%
	Municipal	25,4%	25,7%	26,6%***	26,3%***	26,6%***
	Particular subvencionado	53,5%	55,0%***	56,0%***	55,2%***	55,8%***
	Particular pagado	19,7%	17,8%***	16,0%***	17,0%***	16,2%***
	Sin información	0,9%	0,9%	0,8%	0,9%	0,8%
Años desde egreso	Recién egresado	57,4%	56,4%***	56,0%***	56,5%***	56,3%***
	1-2 años	29,8%	29,6%	30,6%***	30,2%*	30,5%***
	3-5 años	8,1%	8,7%***	8,5%**	8,4%*	8,4%*
	> 5 años	4,7%	5,2%***	5,0%***	4,9%*	4,9%
Total (N°)		74.693	75.350	75.783	75.229	75.719

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones realizadas por el DEMRE.

Nota: *p < 0,1, **p < 0,05 y ***p < 0,01 en relación con la asignación base.

Gráfico 4. PORCENTAJE DE ESTUDIANTES ASIGNADOS EN LA ASIGNACIÓN BASE QUE MEJORA Y EMPEORA SU PREFERENCIA POR SIMULACIÓN



Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones realizadas por el DEMRE.

En cuanto al género de los postulantes, las simulaciones benefician relativamente más a las mujeres que a los hombres en términos de que la diferencia entre la proporción de los que mejoran y empeoran es mayor para el primer grupo, lo que ocurre en todas las simulaciones con excepción de la Sim. 1. Por último, la diferencia entre el porcentaje de estudiantes que empeora su situación respecto del porcentaje que mejora es mayor entre los estudiantes recién egresados, mientras que se observa una tendencia a beneficiar la posición de los estudiantes egresados 1 o 2 años antes de la rendición de la PSU.

A continuación se analiza la asignación de estudiantes a programas y universidades más selectivos, que definiremos como aquellos programas con puntaje de corte mayor a 700 puntos en la asignación base²³ y aquellas universidades con siete años de acreditación. En la Tabla 3 se presentan los resultados de las diferentes asignaciones a programas selectivos, destacando que, nuevamente, son los estudiantes de establecimientos particulares pagados los que disminuyen en mayor proporción al comparar las simulaciones con la asignación base. Esta caída se ve contrarrestada con el aumento en la proporción de estudiantes de establecimientos municipales y particulares subvencionados en estos programas: en el mejor escenario, aumentaría la proporción de asignados a estos programas en 17%.

En cuanto a la proporción de mujeres y hombres, se observa que en la simulación 1, principalmente, aumenta la brecha de género en estos programas, disminuyendo así la participación de las mujeres en los programas con puntajes de corte más altos. Por otro lado, aumenta la proporción de los estudiantes que terminaron la enseñanza media hace tres o más años antes de la rendición de la PSU, especialmente en las simulaciones 1 y 2.

²³ Con el fin de comparar los mismos programas entre las diferentes simulaciones, utilizamos aquellos con puntaje de corte mayor a 700 puntos en la asignación base. Además, dado que el sistema está integrado entre cupos regulares y BEA, existen dos puntajes de corte por programa, uno para estudiantes en cupo regular y otro para estudiantes en cupo BEA. Luego utilizamos los programas con puntaje de corte de cupo regular mayor a 700 puntos, correspondientes a 51 programas. El porcentaje de personas que obtiene 700 puntos o más en la PSU corresponde aproximadamente al 4% del total que rinde la prueba.

Tabla 3. DISTRIBUCIÓN DE ASIGNADOS A PROGRAMAS CON PUNTAJE DE CORTE MAYOR A 700 PUNTOS

		Base	Sim. 1: NEM estándar	Sim. 2: <i>Ranking</i> generación	Sim. 3: Turanking	Sim. 4: <i>Ranking</i> histórico
Género	Hombres	51,4%	54,2%***	51,7%	51,6%	52,1%
	Mujeres	48,6%	45,8%***	48,3%	48,4%	47,9%
Dependencia	Servicio local educación	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
	Municipal	12,1%	14,3%***	14,0%***	13,0%	14,1%***
	Particular subvencionado	30,6%	34,7%***	36,1%***	35,0%***	35,4%***
	Particular pagado	56,5%	50,3%***	49,5%***	51,4%***	50,0%***
	Sin información	0,6%	0,6%	0,3%**	0,4%	0,3%**
Años desde egreso	Recién egresado	67,6%	67,8%	64,8%***	66,3%	65,5%**
	1-2 años	27,9%	25,9%**	29,6%**	28,4%	29,2%
	3-5 años	3,2%	4,1%**	3,8%*	3,6%	3,8%*
	> 5 años	1,3%	2,2%***	1,8%**	1,7%*	1,5%
Total (N°)		5.649	5.629	5.655	5.655	5.657

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones realizadas por el DEMRE.

Nota: *p < 0,1, **p < 0,05 y ***p < 0,01 en relación con la asignación base.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de las diferentes asignaciones a las universidades con siete años de acreditación, que corresponden a la Universidad de Concepción, Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile. Se observa que son los estudiantes egresados de establecimientos particulares pagados los que disminuyen en mayor proporción. Específicamente, en las simulaciones 1, 2, 3 y 4 disminuye la proporción de estudiantes de establecimientos particulares pagados respecto de la asignación base en 8%, 16%, 10% y 15%, respectivamente. Esta disminución se ve contrarrestada, principalmente, por un aumento en la asignación de estudiantes de establecimientos particulares subvencionados y, en segundo lugar, por estudiantes de establecimientos municipales. Por ejemplo, en la simulación 2 aumentaría la proporción de estudiantes de establecimientos con financiamiento fiscal asignados a estas universidades en 9%, que corresponde a 1.000 estudiantes aproximadamente.

En cuanto a la distribución por género, en la simulación 1 disminuye la brecha de género (a favor de las mujeres) respecto de la asignación base, mientras que en las otras simulaciones no se observan cambios significativos.

Tabla 4. DISTRIBUCIÓN DE ASIGNADOS A UNIVERSIDADES CON SIETE AÑOS DE ACREDITACIÓN

		Base	Sim. 1: NEM estándar	Sim. 2: <i>Ranking</i> generación	Sim. 3: Turanking	Sim. 4: <i>Ranking</i> histórico
Género	Hombres	46,0%	47,7%***	45,9%	45,9%	45,8%
	Mujeres	54,0%	52,3%***	54,1%	54,1%	54,2%
Dependencia	Servicio local educación	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
	Municipal	22,2%	22,5%	23,7%***	23,2%**	23,7%***
	Particular subvencionado	41,0%	43,3%***	45,2%***	43,7%***	44,7%***
	Particular pagado	36,2%	33,5%***	30,4%***	32,4%***	30,9%***
	Sin información	0,5%	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%
Años desde egreso	Recién egresado	65,3%	64,5%	63,7%***	64,3%**	64,1%*
	1-2 años	25,4%	24,9%	26,2%*	25,8%	25,9%
	3-5 años	6,3%	6,8%*	6,6%	6,6%	6,6%
	> 5 años	3,0%	3,7%***	3,5%***	3,4%**	3,4%**
Total (N°)		18.118	17.887	17.961	18.037	18.008

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones realizadas por el DEMRE.

Nota: *p < 0,1, **p < 0,05 y ***p < 0,01 en relación con la asignación base.

Es importante establecer que el análisis de las asignaciones presenta ciertas limitaciones. Primero, tal como se mencionó en la sección 3, aproximadamente al 7% de los postulantes no fue posible crearles nuevos puntajes. En el Anexo 1 se observa que no existen diferencias significativas en el porcentaje de estudiantes según el tipo de dependencia al comparar al total de postulantes con el subgrupo de postulantes con puntajes nuevos. Por ende, no es esperable que la mejora en las asignaciones de los estudiantes provenientes de establecimientos con financiamiento fiscal se vea fuertemente influida por la exclusión del análisis de los estudiantes sin puntajes.

Segundo, los puntajes NEM y *ranking* pueden influir en la probabilidad de inscribirse y rendir la PSU. De hecho, una mayor proporción de estudiantes de establecimientos municipales y particulares subvencionados en comparación con los de colegios particulares pagados no rinde la PSU. Es altamente probable que ello en parte se deba a los bajos puntajes que obtienen por sus NEM y *ranking*. Ahora bien, la menor participación en la educación superior por parte de los estudiantes de alto rendimiento pero de bajos ingresos (Hoxby y Avery 2012) sugiere que existe la posibilidad de que los estudiantes de menores ingresos no cambien su comportamiento frente al aumento de sus puntajes.

Por último, las postulaciones son solo una aproximación de las verdaderas preferencias de los estudiantes, las que pueden verse influenciadas por varios factores. Primero, la postulación puede depender de los diferentes puntajes. Es probable que estudiantes con un puntaje ponderado lejano al último puntaje de corte de un programa no postulen a este, pese a que les gustaría matricularse en aquel programa, debido a que ven muy baja la probabilidad de quedar seleccionados. Las nuevas preferencias en función del aumento o disminución de los puntajes ponderados no son conocidas y, por ende, son imposibles de modelar. Además, muchos programas tienen requisitos para ciertas postulaciones. Por ejemplo, algunos programas no aceptan postulaciones de baja preferencia del estudiante o exigen un puntaje ponderado mínimo. Tampoco conocemos las preferencias de los estudiantes que, a partir de los nuevos puntajes, no se ven limitados por este tipo de impedimentos.

Predictibilidad de los instrumentos

La capacidad predictiva es un factor relevante al momento de evaluar los instrumentos de selección. Eliminar los sesgos de los instrumentos no cumple su objetivo si los estudiantes que logran acceder a una mejor educación universitaria gracias a ello no logran tener éxito en esta educación (Woo et al. 2022; Baldwin y James 2010; Camara 2005; Perffeto 1999; Santelices 2007).

La predictibilidad se mide en base a la magnitud de la correlación del instrumento con el rendimiento de los estudiantes en el programa universitario matriculado. Para que el instrumento sea relevante, la correlación debe ser de gran magnitud y estadísticamente significativa.

Además, dado que en el sistema de admisión se utiliza una batería de instrumentos, también es relevante analizar cuánto de la varianza total del rendimiento universitario se debe a todos los instrumentos en su conjunto (medido a través del R^2). En nuestro caso, analizaremos el rendimiento universitario a través de la continuidad en el programa, junto con el porcentaje de asignaturas aprobadas.

Para comparar la predictibilidad de los diferentes instrumentos, se estiman las siguientes regresiones utilizando mínimos cuadrados ordinarios:

$$(1) Y_{ipus} = \alpha + \beta_1 Leng_i + \beta_2 Mate_i + \beta_3 NEM_i + \beta_4 Ranking_i + \gamma^{pus} + \mu_{ipsu}$$

$$(2) Y_{ipus} = \alpha + \beta_1 Leng_i + \beta_2 Mate_i + \beta_3 Instrumento_i^j + \gamma^{pus} + \mu_{ipsu}$$

Para ambas se utiliza como control el puntaje PSU de Lengua-je (Leng), el puntaje PSU de Matemática (Mate)²⁴ y efectos fijos por programa-universidad-sede.^{25, 26} La variable dependiente corresponde, primero, a una *dummy* que toma el valor de 1 si el estudiante i del programa p de la sede s de la universidad u se mantiene en el mismo programa a inicios de 2021,²⁷ de lo contrario toma el valor 0; y segundo, al porcentaje de asignaturas aprobadas acumuladas a fines del año 2020 para los estudiantes que se mantuvieron en el programa matriculado en 2019.^{28, 29} La ecuación 1 utiliza los actuales instrumentos de selección (puntaje NEM y *ranking*), mientras que la ecuación 2 los reemplaza por cada instrumento propuesto j (puntaje NEM estándar, *ranking* gene-

²⁴ Dado que en el proceso de admisión 2019 los puntajes duraban dos años, el 7% de los matriculados en el proceso de admisión 2019 no rindió la PSU aquel año, sino que ocupó los puntajes del año anterior, mientras que el 20% de los matriculados rindió la PSU ambos años. Para el primer caso se utilizan los puntajes PSU de la prueba anterior. Para el segundo caso, dado que el puntaje a utilizar depende del puntaje ponderado por cada programa postulado, utilizamos el puntaje del proceso de admisión 2019 bajo el supuesto de que es este puntaje el que predomina en la postulación.

²⁵ Correspondiente al programa en el cual se matriculó a través del proceso de admisión 2019.

²⁶ Este efecto fijo es crucial para analizar la predictibilidad de los instrumentos ya que captura, entre otras cosas, la dificultad de cada programa en particular. Dado que el modelo de mínimos cuadrados ordinarios permite la incorporación de efectos fijos, se prefiere utilizar este modelo por sobre un modelo Probit o Logit.

²⁷ Utilizamos el año 2021 para analizar relaciones de mediano plazo.

²⁸ Las personas que cambian de programa pueden haber ingresado al segundo programa gracias a nuevos puntajes que no conocemos.

²⁹ Al ser un porcentaje, el valor mínimo de la variable es 0 y el valor máximo es 100.

ración, *Turanking* y *ranking* histórico). μ_{ipsu} corresponde a errores con media cero, agrupados a nivel de escuela, es decir, se permite que los errores correlacionen entre individuos egresados de un mismo establecimiento educacional.

En la Tabla 5 se presentan los coeficientes estimados.^{30, 31} Podemos observar que, para las dos medidas de éxito universitario, los coeficientes de la PSU de Lenguaje y Matemática son significativos al 1%. El coeficiente del puntaje NEM, por su lado, también es significativo y de una magnitud similar (no existen diferencias significativas) al coeficiente de la PSU de Matemática al estimar la probabilidad de mantenerse en el mismo programa, mientras que es estadísticamente mayor al estimar el porcentaje de asignaturas aprobadas con el 99% de confianza. Por otro lado, el puntaje *ranking* se relaciona negativamente con las dos variables dependientes. Dada la alta colinealidad entre el puntaje NEM y *ranking* —en muchos casos el puntaje *ranking* toma el valor del puntaje NEM—, es esperable que la negatividad del coeficiente del puntaje *ranking* genere un aumento en la magnitud del coeficiente del puntaje NEM. Para una comparación más sencilla, en el Anexo 4 se presentan las estimaciones con cada puntaje por separado. El coeficiente del puntaje NEM es estadísticamente diferente al del puntaje PSU de Matemática al estimar la probabilidad de mantenerse en el mismo programa con el 99% de confianza, mientras que no son estadísticamente diferentes al estimar el porcentaje de asignaturas aprobadas.

Al reemplazar el puntaje NEM y *ranking* por cada uno de los instrumentos propuestos, se observa que los coeficientes de estos instrumentos son significativos positivos con 99% de confianza. Entre los instrumentos, aquel con el coeficiente de mayor magnitud corresponde al puntaje NEM estándar, el cual es mayor al resto con 99% de confianza, mientras que los coeficientes de los otros instrumentos no son estadísticamente diferentes entre sí. *Ceteris paribus*, un aumento de 100 puntos en los instrumentos propuestos correlaciona con una mayor probabili-

³⁰ Los puntajes de todos los instrumentos fueron reescalados con el fin de facilitar su interpretación. Los coeficientes mostrados corresponden a un aumento de 100 puntos del instrumento correspondiente.

³¹ La comparación estadística entre los coeficientes de una misma estimación se realiza mediante combinaciones lineales de los coeficientes, mientras que la comparación estadística entre los coeficientes de estimaciones diferentes se realiza a través de los intervalos de confianza.

dad de que el estudiante se mantenga en el mismo programa (aumento de 2 a 3 puntos porcentuales). La comparación con los coeficientes del puntaje PSU de Lenguaje y Matemática difieren según el instrumento y la variable dependiente a analizar. Todos los coeficientes de los instrumentos propuestos son estadísticamente menores a los coeficientes del puntaje PSU de Matemática, con excepción del puntaje NEM estándar al analizar el porcentaje de asignaturas aprobadas. Respecto de los coeficientes del puntaje PSU de Lenguaje, estos son estadísticamente menores en comparación con todos los instrumentos al analizar el porcentaje de asignaturas aprobadas. Cuando se utiliza como variable dependiente el indicador de si el estudiante se mantiene en el mismo programa, el coeficiente del puntaje NEM estándar es estadísticamente mayor que el puntaje PSU de Lenguaje, mientras que no existen diferencias significativas al analizar los otros tres instrumentos.

Por otra parte, si comparamos los coeficientes de los instrumentos propuestos con los del Anexo 4 obtenemos que el coeficiente del puntaje NEM estándar no es estadísticamente diferente al coeficiente del puntaje NEM y es estadísticamente mayor con 99% de confianza que el coeficiente del puntaje *ranking*. Los coeficientes de los otros tres instrumentos propuestos son estadísticamente menores que el puntaje NEM al 1% y no son estadísticamente diferentes al puntaje *ranking* al analizar la probabilidad de mantenerse en el mismo programa. Los tres coeficientes son estadísticamente menores al puntaje NEM y *ranking* con 99% de confianza al analizar el porcentaje de asignaturas aprobadas. Por lo tanto, en términos predictivos, el mejor instrumento propuesto corresponde al puntaje NEM estándar.^{32, 33}

Al analizar la bondad de ajuste de los modelos se aprecia que el R^2 ajustado aumenta ligeramente al reemplazar el puntaje NEM y *ranking* por cualquier instrumento propuesto en el caso de la primera variable dependiente. Esto significa que los modelos con aquellos instrumentos predicen de mejor manera la probabilidad de mantenerse en el mismo

³² Las conclusiones se mantienen al analizar la probabilidad de mantenerse en el mismo programa a inicios de 2020 y al analizar la proporción de unidades aprobadas acumuladas a fines de 2019.

³³ Los resultados son robustos al excluir a los matriculados por otras vías de acceso diferente a la regular (2,6% del total de matriculados), con excepción de que el coeficiente del puntaje PSU de Lenguaje deja de ser significativo al 1% al estimar la probabilidad de mantenerse en el mismo programa.

programa. Ocurre lo contrario al analizar el porcentaje de unidades aprobadas: el R^2 ajustado disminuye ligeramente. Ahora bien, estos resultados pueden estar influidos por el hecho de que el número de observaciones difiere en cada estimación, reflejo de la imposibilidad de crearles puntajes nuevos a todos los matriculados, tal como se mencionó en la sección 3. Si estimamos los modelos de las columnas (1) y (6) para las observaciones a las que fue posible crearles nuevos puntajes, de mantenerse en el mismo programa, el R^2 ajustado fluctúa entre 0,1856 y 0,1858, mientras que el del porcentaje de asignaturas aprobadas toma valores entre 0,2200 y 0,2204. Por lo tanto, el ajuste de los nuevos instrumentos es similar al del puntaje NEM y *ranking* al analizar la probabilidad de mantenerse en el mismo programa, mientras que es menor al analizar el porcentaje de asignaturas aprobadas.

Tabla 5. PREDICTIBILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

	Mantenerse en el mismo programa					Porcentaje de asignaturas aprobadas				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
PSU Len- guaje	0,01 (0,002)***	0,01*** (0,002)	0,01*** (0,002)	0,01*** (0,002)	0,01*** (0,002)	0,96*** (0,084)	1,14*** (0,084)	1,12*** (0,084)	1,14*** (0,084)	0,06*** (0,084)
PSU Mate- mática	0,06*** (0,002)	0,06*** (0,002)	0,06*** (0,002)	0,06*** (0,002)	0,06*** (0,002)	3,28*** (0,103)	3,77*** (0,101)	3,71*** (0,101)	3,73*** (0,101)	3,74*** (0,102)
Puntaje NEM	0,06*** (0,008)					6,59*** (0,321)				
Puntaje <i>ranking</i>	-0,02*** (0,006)					-2,34*** (0,247)				
NEM estándar	0,03*** (0,003)					3,58*** (0,109)				
<i>Ranking</i> genera- ción	0,02*** (0,001)					1,66*** (0,053)				
Turanking	0,02*** (0,002)					2,14*** (0,065)				
<i>Ranking</i> histórico	0,02*** (0,001)					1,75*** (0,057)				
Constante	0,15*** (0,022)	0,14*** (0,025)	0,23*** (0,020)	0,22*** (0,021)	0,23*** (0,021)	41,50*** (0,879)	41,53*** (0,996)	52,51*** (0,832)	49,33*** (0,862)	51,47*** (0,854)
Efecto fijo programa	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Observa- ciones	100.735	97.302	97.302	96.567	97.308	81.394	79.140	79.140	78.565	79.144
R^2 ajus- tado	0,1822	0,1853	0,1855	0,1855	0,1854	0,2202	0,2070	0,2070	0,2094	0,2078

Fuente: Elaboración propia en base a datos de matrícula del DEMRE y de avance de la Subsecretaría de Educación Superior.

Nota: * $p < 0,1$, ** $p < 0,05$ y *** $p < 0,01$.

Es importante recordar que el análisis sobre predictibilidad es una aproximación a la verdadera capacidad predictiva de los instrumentos propuestos, dado que las asignaciones, matrícula y desempeño académico en la educación superior que nace de utilizar estos instrumentos en el proceso de admisión es desconocida. Es posible imaginar situaciones en que la predictibilidad de los instrumentos propuestos sea mayor, o bien, menor. Por ejemplo, si un estudiante mejora en la preferencia a la cual fue asignado gracias a un nuevo instrumento, puede suceder que aumente su probabilidad de éxito en aquel programa por estar estudiando en una alternativa de mayor preferencia, así como también puede disminuir su probabilidad de éxito si el programa nuevo es más exigente académicamente. *A priori*, la dirección del sesgo de los coeficientes no es clara.

5. Conclusiones

El estudio de Eyzaguirre, Gazmuri y San Martín (2021a) revela el sesgo socioeconómico que presentan los puntajes NEM y *ranking*, dos instrumentos de selección para el acceso a la educación superior. Estos instrumentos benefician de forma desproporcionada a estudiantes de colegios particulares pagados en desmedro de los estudiantes de establecimientos con financiamiento fiscal. Dada la importancia que tiene la educación superior para las oportunidades futuras de las personas, resulta imperativo mejorar la justicia en el acceso a ella.

Los resultados presentados en este artículo sugieren que la incorporación de nuevos instrumentos de selección que miden el rendimiento relativo de una forma diferente al actual puntaje *ranking* o NEM puede beneficiar a estudiantes provenientes de establecimientos con financiamiento fiscal en desmedro de estudiantes de colegios particulares pagados. Este beneficio se vería traducido en el aumento de la proporción de estudiantes de establecimientos con financiamiento estatal asignada a su primera preferencia, a programas y universidades más selectivos y de mayor calidad, y que mejoren la preferencia a la cual fue asignada, respectivamente.

Además, los instrumentos propuestos favorecen ligeramente a los estudiantes egresados de la educación media años antes de la inscripción y rendición de la PSU, lo cual va en línea con la hipótesis de que el

puntaje NEM favorece a los estudiantes recientemente egresados debido principalmente al fenómeno de la inflación de notas.

La disminución en las brechas socioeconómicas que producen los instrumentos parece tener un bajo costo en términos de predictibilidad en el éxito universitario: la capacidad predictiva de los instrumentos propuestos es similar a la que tienen el actual puntaje NEM y *ranking* (al analizarlos separadamente), así como también al de las pruebas estandarizadas. De todas formas, dado que los instrumentos propuestos no fueron utilizados para la asignación de los estudiantes, los resultados deben ser considerados con cautela.

Al comparar los diferentes instrumentos propuestos, se establece que el puntaje *ranking* según el percentil de egreso (instrumento 2) es el instrumento que menos diferencia presenta entre dependencias y, por ende, más beneficia a los estudiantes de establecimientos municipales y particulares subvencionados. Sin embargo, la implementación de este instrumento puede tener efectos adversos, tales como el aumento de la competencia entre compañeros de curso, lo cual puede empeorar el clima y la convivencia escolar. Teniendo presente la competencia que pueden generar estos instrumentos, consideramos que el *ranking* histórico (instrumento 4) es tal vez el más adecuado entre los instrumentos aquí analizados para un eventual reemplazo de los actuales puntajes NEM o *ranking*. Aquel, entre los tres instrumentos restantes, es el que genera puntajes y asignaciones más similares al instrumento 2; prácticamente no existen diferencias en puntaje entre dependencias, y disminuye la competencia entre compañeros al considerar a las generaciones anteriores. Pese a tener una predictibilidad menor en comparación con el instrumento propuesto con mayor predictibilidad (puntaje NEM estándar), las diferencias son pequeñas en magnitud. Con todo, los instrumentos aquí analizados son únicamente ejemplos de cómo se podría avanzar en disminuir los sesgos de los actuales instrumentos de selección. Sin duda, un cambio en los actuales instrumentos requeriría un estudio exhaustivo que incorpore detalles en el diseño, como la forma de obtener el puntaje para los establecimientos de pocos estudiantes o como los incorporados en el actual puntaje *ranking* para evitar la migración de estudiantes en cuarto medio.

El reemplazo del *ranking* y/o las NEM por nuevos instrumentos no solo podría tener efectos positivos en la equidad en el acceso a la educa-

ción superior, sino que también podría terminar con el incentivo perverso de inflar las notas de la enseñanza media. Junto con ello, recomendamos revisar los años de la enseñanza media que deben ser considerados para el nuevo instrumento. Dados que el plan común termina en segundo medio; que tercero y cuarto medio están diseñados para la transición hacia la educación superior o el mercado laboral, y que los jóvenes tienen mayor madurez en tercer medio para asumir la responsabilidad de su rendimiento académico, consideramos que solo los dos últimos años de la enseñanza media deberían contar para la construcción del instrumento propuesto, como de hecho ocurre en gran parte de los países que utilizan el rendimiento académico escolar para el ingreso a la educación superior. Ello permitiría retrasar la competencia por las notas y eliminar el estrés que genera el ingreso a la educación superior en los primeros dos años de la enseñanza media.

Es importante tener en cuenta que las asignaciones en un sistema centralizado como el chileno, sumado a las vacantes fijas de los diferentes programas, es un juego de suma cero, es decir, para mejorar a un grupo de la población necesariamente se empeorará a otro grupo. Por ejemplo, los instrumentos propuestos en este artículo perjudican a los estudiantes de peor rendimiento escolar. Independientemente del diseño de los instrumentos, no es posible aplicar uno que beneficie a todos los estudiantes, lo que implica que los instrumentos a considerar deben ser cuidadosamente estudiados. Esta fue una de las grandes falencias del actual puntaje *ranking* que, al intentar beneficiar solo a los estudiantes mediante su diseño de bonificación por sobre el puntaje NEM, produjo que este puntaje perjudique en términos relativos a los estudiantes de establecimientos municipales y particulares subvencionados.

Por otro lado, la ponderación que tiene cada instrumento no es algo trivial y puede generar incentivos distintos a los que se persiguen. Aumentar en gran medida la ponderación de los instrumentos que miden trayectoria estudiantil incentiva la migración de estudiantes hacia establecimientos de peor calidad con tal de mejorar su puntaje. Por otro lado, aumentar en gran medida la ponderación de las pruebas estandarizadas aumenta el peso que pueden tener los preuniversitarios. Por lo tanto, los rangos de ponderación que cada universidad puede asignar a sus programas deben ser acordados teniendo en cuenta los incentivos que generan.

Mejorar los instrumentos de selección es posible de implementar en el corto plazo y, como se ha mostrado en este artículo, podría tener un efecto significativo en disminuir las brechas socioeconómicas en el acceso a la educación superior, aunque no lograría eliminarlas. Un cambio en los instrumentos de selección solo tiene un obstáculo: la voluntad política de las universidades que hasta ahora han controlado dicho sistema.

Bibliografía

- Arias, O., Mizala, A.S. y Meneses, F. 2016. Brecha de género en matemáticas: el sesgo de las pruebas competitivas (evidencia para Chile). Santiago: Universidad de Chile.
- Baldwin, G. y James, R. 2010. Access and Equity in Higher Education. *International Encyclopedia of Education* 4, 334-340.
- Baron, J. y Norman, M.F. 1992. SATs, Achievement Tests, and High-School Class Rank as Predictors of College Performance. *Educational and Psychological Measurement* 52(4), 1047-1055.
- Camara, W.J. 2005. Broadening Predictor of College Success. En Camara, W.J. y Kimmel, E.W. (eds.), *Choosing Students: Higher Education Admissions Tools for the 21st Century*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Centro de Estudio Mineduc 2012. Serie Evidencias 7. Inclusión del *ranking* de notas en el proceso de admisión 2013: posibles efectos en la equidad de acceso a la educación superior.
- Centro de Estudio Mineduc 2013. Serie Evidencias 13. Inclusión del *ranking* en el proceso de admisión 2013: un análisis a la luz de los resultados de la PSU.
- Contreras, D., Gallegos, S. y Meneses, F. 2009. Determinantes del desempeño universitario: ¿importa la habilidad relativa? *Calidad en la Educación* 30, 18-48.
- Cliffordson, C. 2008. Differential Prediction of Study Success Across Academic Programs in the Swedish Context: The Validity of Grades and Tests as Selection Instruments for Higher Education. *Educational Assessment* 13(1), 56-75.
- Cullen, J.B., Long, M.C. y Reback, R. 2013. Jockeying for Position: Strategic High School Choice under Texas' Top Ten Percent Plan. *Journal of Public Economics* 97, 32-48.
- Deer, C. 2003. The Politics of Access to Higher Education: A Comparison between France and England. *Perspectives: Policy and Practice in Higher Education* 7(4), 105-109.
- Díaz Yáñez, K.G., Ravest Tropa, J.A. y Queupil Quilamán, J.P. 2019. Gender Gap in University Admission Test in Chile: What is Happening at the Top and Bottom of the Test Score Distribution? *Revista de Investigación Educativa Latinoamericana* 56(1), 1-19.
- Eyzaguirre, S., Gazmuri, J. y San Martín, H. 2021a. Sesgo socioeconómico en las Notas de Enseñanza Media. *Puntos de Referencia* 585. Disponible en: <https://www.cepchile.cl/cep/puntos-de-referencia/puntos-de-referencia-2010-2021/puntos-de-referencia-2020/sesgo-socioeconomico-en-las-notas-de-ensenanza-media> [1 de noviembre 2022].
- Eyzaguirre, S., Gazmuri, J. y San Martín, H. 2021b. El costo del estallido social en el ingreso a la educación superior. *Puntos de Referencia* 558. Disponible en <https://www.cepchile.cl/cep/puntos-de-referencia/puntos-de-referencia-2010-2021/>

- puntos-de-referencia-2020/pdr-el-costo-del-estallido-social-en-el-ingreso-a-la-educacion-superior [1 de noviembre 2022].
- Fajnzylber, E., Lara, B. y León, T. 2019. Increased Learning or GPA Inflation? Evidence from GPA-Based University Admission in Chile. *Economics of Education Review* 72, 147-165.
- Gale, D. y Shapley, L. 1962. College Admissions and the Stability of Marriage. *The American Mathematical Monthly* 69(1), 9-15.
- Geiser, S. y Santelices, M.V. 2007. Validity of High-School Grades in Predicting Student Success beyond the Freshman Year: High-School Record vs. Standardized Tests as Indicators of Four-Year College Outcomes. Research & Occasional Paper Series. Centre for Studies in Higher Education, University of California.
- Gil, F.J. y Del Canto Ramírez, C. 2012. El caso del programa Propedéutico en la Universidad de Santiago de Chile (Usach). *Pensamiento Educativo, Revista de Investigación Latinoamericana (PEL)* 49(2), 65-83.
- Gil, F., Paredes, M. y Sánchez, I. 2013. El ranking de las notas: inclusión con excelencia. *Centro de Políticas Públicas de la UC* 60(8), 4-22.
- González, F. y Johnson, E. 2018. Políticas de inclusión universitaria y comportamiento estratégico en educación secundaria. *Estudios Públicos* 149, 41-73.
- Halsey, A.H. 1993. Trends in Access and Equity in Higher Education: Britain in International Perspective. *Oxford Review of Education* 19(2), 129-140.
- Heckman, J.J., Lochner, L.J. y Todd, P.E. 2008. Earnings Functions and Rates of Return. *Journal of Human Capital* 2(1), 1-31.
- Hoxby, C.M. y Avery, C. 2012. The Missing 'One-offs': The Hidden Supply of High-achieving, Low Income Students. National Bureau of Economic Research. Working Paper 18586.
- Manzi, J., Bosch, A., Bravo, D., Pino, G.d., Donoso, G. y Pizarro, R. 2010. Validez diferencial y sesgo en la predictividad de las pruebas de admisión en las universidades chilenas (PSU). *RIEE. Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa* 3(2). Disponible en: <https://revistas.uam.es/riee/article/view/4489> [1 de noviembre 2022].
- Niu, S. y Tienda, M. 2012. Test Scores, Class Rank and College Performance: Lessons for Broadening Access and Promoting Success. *Rassegna Italiana di Sociologia* 2, 199-226.
- Oreopoulos, P. y Petronijevic, U. 2013. Making College Worth it: A Review of Research on the Returns to Higher Education. *The Future of Children* 23(1), 41-65.
- Perfetto, G. 1999. *Toward a Taxonomy of the Admissions Decision-Making Process: A Public Document Based on the First and Second College Board Conferences on Admissions Models*. New York: College Board.
- Rodríguez, J., Urzúa, S. y Reyes, L. 2016. Heterogeneous Economic Returns to Post-Secondary Degrees: Evidence from Chile. *Journal of Human Resources* 51(2), 416-460.
- Saltiel, F. 2020. Gritting it Out: The Importance of Non-Cognitive Skills in Academic Mismatch. *Economics of Education Review* 78(C), 102033.
- Santelices, M. 2007. Procesos de admisión a instituciones de educación superior en el mundo: antecedentes bibliográficos para la consideración de criterios complementarios en el proceso de admisión a la Pontificia Universidad Católica de Chile. Disponible en: <http://www7.uc.cl/webpuc/piloto/pdf/evidencias1.pdf> [2 de octubre 2022].
- Woo, S.E., LeBreton, J., Keith, M. y Tay, L. 2022. Bias, Fairness, and Validity in Graduate-School Admissions: A Psychometric Perspective. *Perspectives on Psychological Science*. DOI: 10.1177/17456916211055374.

Anexos

Anexo 1. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENTRE EL TOTAL DE POSTULANTES CON AQUELLOS POSTULANTES A LOS QUE FUE POSIBLE CREARLES NUEVOS PUNTAJES

		Total postulantes	Postulantes con puntaje:			
			NEM estándar	Ranking generación	Turanking	Ranking histórico
Género	Hombres	44%	44%	44%	44%	44%
	Mujeres	56%	56%	56%	56%	56%
Dependencia	Servicio local educación	1%	1%	1%	1%	1%
	Municipal	26%	26%	26%	26%	26%
	Particular subvencionado	55%	56%	56%	56%	56%
	Particular pagado	17%	17%	17%	17%	17%
	Sin información	1%	0%***	0%***	0%***	0%***
Años desde egreso	Recién egresado	59%	60%***	60%***	60%***	60%***
	1-2 años	29%	29%	29%	29%	29%
	3-5 años	7%	7%	7%	7%	7%
	> 5 años	5%	4%***	4%***	4%***	4%***
Promedio de NEM		5,85	5,87***	5,87***	5,87***	5,87***
Promedio puntaje PSU Lenguaje		556	559***	559***	559***	559***
Promedio puntaje PSU Matemática		551	555***	555***	555***	555***
Total (N°)		155.182	145.953	145.953	144.843	145.976

Fuente: Elaboración propia en base a datos de rendimiento del Mineduc y DEMRE.

Nota: *p < 0,1, **p < 0,05 y ***p < 0,01, en relación con el total de postulantes. Los promedios de NEM, puntaje PSU Lenguaje y Matemática se obtienen entre aquellos postulantes con dicha información.

Anexo 2. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENTRE EL TOTAL DE MATRICULADOS CON AQUELLOS MATRICULADOS A LOS QUE FUE POSIBLE CREARLES NUEVOS PUNTAJES

		Total matriculados	Matriculados con puntaje:			
			NEM estándar	Ranking generación	Turanking	Ranking histórico
Género	Hombres	47%	47%	47%	47%	47%
	Mujeres	53%	53%	53%	53%	53%
Dependencia	Servicio local educación	1%	1%	1%	1%	1%
	Municipal	24%	24%	24%	24%	24%
	Particular subvencionado	54%	55%	55%	55%	55%
	Particular pagado	20%	21%	21%	21%	21%
	Sin información	1%	0%***	0%***	0%***	0%***
Años desde egreso	Recién egresado	58%	59%***	59%***	59%***	59%***
	1-2 años	31%	31%	31%	31%	31%
	3-5 años	7%	7%	7%	7%	7%
	> 5 años	4%	3%***	3%***	3%***	3%***
Promedio de NEM		5,93	5,94***	5,94***	5,94***	5,94***
Promedio puntaje PSU Lenguaje		580	581*	581*	581**	581**
Promedio puntaje PSU Matemática		580	582***	582***	582***	582***
Total (N°)		101.916	97.666	97.666	96.932	97.674

Fuente: Elaboración propia en base a datos de rendimiento del Mineduc y DEMRE.

Nota: *p < 0,1, **p < 0,05 y ***p < 0,01, en relación con el total de matriculados. Los promedios de NEM, puntaje PSU Lenguaje y Matemática se obtienen entre aquellos postulantes con dicha información.

Anexo 3. PROMEDIO IVE POR ASIGNACIÓN

Subgrupo	Base	Sim. 1: NEM estándar	Sim. 2: <i>Ranking</i> generación	Sim. 3: Turanking	Sim. 4: <i>Ranking</i> histórico
Total asignados	0,647	0,647	0,650***	0,649***	0,650***
Total asignados primera preferencia	0,647	0,648	0,657***	0,656***	0,657***

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones realizadas por el DEMRE.

Nota: *p < 0,1, **p < 0,05 y ***p < 0,01, en relación con la asignación base.

Anexo 4. PREDICTIBILIDAD PUNTAJE NEM Y RANKING POR SEPARADO

	Mantenerse en el mismo programa		Porcentaje de asignaturas aprobadas	
	(1)	(2)	(3)	(4)
PSU Lenguaje	0,01*** (0,002)	0,01*** (0,002)	1,05*** (0,085)	1,15*** (0,084)
PSU Matemática	0,06*** (0,002)	0,06*** (0,002)	3,50*** (0,102)	3,75*** (0,102)
Puntaje NEM	0,03*** (0,002)		3,75*** (0,087)	
Puntaje <i>ranking</i>		0,02*** (0,002)		2,63*** (0,067)
Constante	0,16*** (0,022)	0,19*** (0,021)	42,18*** (0,872)	46,26*** (0,836)
Efecto fijo programa	✓	✓	✓	✓
Observaciones	100.735	100.735	81.394	81.394
R ² ajustado	0,1820	0,1816	0,2187	0,2129

Fuente: Elaboración propia en base a datos de matrícula del DEMRE y de avance de la Subsecretaría de Educación Superior.

Nota: *p < 0,1, **p < 0,05 y ***p < 0,01. EP

Artículo

Clasificación de universidades en Chile: crítica al modelo histórico y una propuesta a través de *clusters*

Francisco Alessandri^a, Tania Villarroel^b y Magdalena Vergara^c

^a London School of Economics and Political Science, Reino Unido

^b Universidad de Chile, Chile

^c IdeaPaís, Chile

RESUMEN: La clasificación de universidades es una herramienta de política pública que permite su focalización cuando los grupos son homogéneos. En Chile, el DFL N° 4 de 1981 diferenció entre universidades creadas antes y después de 1980. Pese a que dicha reforma pretendió facilitar la entrada de nuevas universidades al sistema, perpetuó diferencias en el financiamiento público a universidades a causa de criterios históricos. El propósito de este artículo es evaluar la homogeneidad de los grupos creados por la clasificación señalada y compararla con la de una propuesta alternativa de clasificación. Con este objeto se presenta un nuevo modelo de clasificación empírica de

FRANCISCO ALESSANDRI es ingeniero matemático por la Pontificia Universidad Católica de Chile y estudiante del Master of Public Administration de London School of Economics, UK. Anteriormente fue investigador de Acción Educar, Chile. Dirección: Upper Montagu Street, London, United Kingdom, CP W1H 2PQ. Email: fdalessandri@uc.cl.

TANIA VILLARROEL es abogada por la Universidad de Chile y magíster en Derecho (LL.M.) por la Universidad de Columbia, Nueva York, EEUU. Actualmente es profesora asistente del Departamento de Derecho Privado de la Facultad de Derecho, Universidad de Chile. Anteriormente fue directora de estudios de Acción Educar, Chile. Dirección: 1633 Q St. NW apt. 601, Washington DC, 20009. Email: tvillarroel@derecho.uchile.cl.

MAGDALENA VERGARA es abogada y magíster en Derecho por la Universidad St. Thomas de Mineápolis, EEUU. Es directora de estudios de IdeaPaís, Chile. Anteriormente fue directora ejecutiva de Acción Educar, Chile. Dirección: Apoquindo 4760, of. 31, Las Condes, Santiago, Chile, CP 7560969. Email: magdalena.vergara@ideapais.cl.

Los autores agradecen a Fundación Acción Educar por brindar la oportunidad y el espacio para reflexionar los temas tratados en este artículo. Cualquier opinión expresada es de responsabilidad exclusiva de los autores.

las universidades chilenas, basada esta en resultados de indicadores públicos en docencia e investigación, a través de un algoritmo de *clusters* de dos etapas con análisis de componentes principales. Luego se evalúa su estabilidad en el tiempo, analizando las desventajas de la clasificación legal vigente. La clasificación presentada genera grupos de universidades más homogéneos y mejor diferenciados entre sí. Al mismo tiempo, la clasificación presenta un alto nivel de estabilidad en un plazo de cinco años, pero también permite cambiar de categoría a universidades de acuerdo a su desarrollo. Se concluye que existen sistemas de clasificación que presentan beneficios sobre el vigente, por lo que se recomienda su modificación.

PALABRAS CLAVE: clasificación, universidades, Chile, análisis de *cluster*, educación superior

RECIBIDO: enero 2022 / ACEPTADO: septiembre 2022

Classification of Universities in Chile: A Critique of the Historical Model and a Proposal Using Clusters

ABSTRACT: The classification of universities is a public policy tool that allows their targeting, when the groups are homogeneous. In Chile, DFL No. 4 of 1981 differentiated between universities created before and after 1980. Despite the fact that this reform was intended to facilitate the entry of new universities into the system, it perpetuated differences in public funding for universities based on historical criteria. The purpose of this article is to evaluate the homogeneity of the groups created by the indicated classification and to compare it with an alternative classification proposal. With this purpose, we developed a new empirical classification model of Chilean universities, based on the results of indicators in teaching and research, through a two-stage cluster algorithm with principal component analysis. Then, we compared the homogeneity of the proposed classification with that of the country's classification system and evaluated its stability over time, analyzing the disadvantages of the current legal classification. The classification developed generates more homogeneous and better differentiated groups of universities. At the same time, the classification presents a high level of stability within a period of 5 years, but still allowing universities to change category according to their development. In conclusion, there are classification that present benefits over the current one, therefore its modification is recommended.

KEYWORDS: classifications, universities, Chile, cluster analysis, higher education

RECEIVED: January 2022 / ACCEPTED: September 2022

La clasificación de instituciones de educación superior como herramienta de política pública ha sido extensamente utilizada. Analistas y reguladores la han ocupado para introducir cierto orden en sistemas con amplia heterogeneidad de instituciones, buscando agrupar a las universidades más parecidas de acuerdo a determinados criterios (Bernasconi 2006). Así, clasificar universidades permite focalizar recursos y políticas cuando el universo de instituciones es demasiado amplio. Por lo tanto, para que una clasificación sea realmente útil, esta debe formar grupos lo más homogéneos posible. De este modo, universidades se compararán con otras instituciones similares y no con todo el sistema educativo, rescatando la diversidad propia de las instituciones y evitando una homogeneidad general del sistema.

En Chile, la regulación ha clasificado a las instituciones según diversos criterios. Por ejemplo, la Ley N° 21.091, sobre educación superior ('Ley de Educación Superior'), distingue entre universidades, institutos profesionales y centros de formación técnica. También las distingue dependiendo de si están adscritas al financiamiento por gratuidad o no; o, en el caso de las universidades, dependiendo de si pertenecen al Consejo de Rectores de Universidades Chilenas (CRUCH) o no. Además, se pueden clasificar de acuerdo a los años de acreditación otorgados. Asimismo, la regulación de vacantes y la regulación de aranceles creó nuevos grupos de instituciones en aplicación de la Ley de Educación Superior.

De particular interés es la clasificación establecida en el Decreto con Fuerza de Ley N° 4 de 1981 (DFL N° 4), que estableció que el Estado financiaría a aquellas universidades existentes hasta esa fecha y a las creadas por ley, en los siguientes términos: "Artículo primero. El Estado contribuirá al financiamiento de las universidades existentes al 31 de diciembre de 1980, de las instituciones que de ellas se derivaren y de las creadas por ley".

De este artículo del DFL N° 4 se desprenden las siguientes tres categorías: (1) universidades estatales, es decir, organizaciones autónomas de propiedad del Estado (UE); (2) universidades privadas creadas antes del 31 de diciembre de 1980, conocidas como universidades privadas tradicionales (UPT); y (3) universidades privadas no tradicionales, que son instituciones de propiedad y administración privada creadas después de 1980 y que no derivan de ninguna universidad estatal ni tradicional, a las que comúnmente se les llama universidades privadas

(UPNT). En este artículo, al conjunto de universidades referidas en el artículo 1 del DFL N° 4 de 1981 se les llamará universidades tradicionales, incluyendo tanto a las administradas por el Estado como a las administradas por privados.¹

Esta norma fue parte de la reforma al sistema de educación superior que se realizó en esa época. En efecto, hasta 1981 existían ocho universidades en Chile (Barroilhet 2019). Ese año se dictaron cuatro decretos con fuerza de ley que modificaron el sistema de educación superior profundamente. Sus objetivos eran, por un lado, la reestructuración del sistema, ampliando, diversificando y estratificando las instituciones, y por el otro, privatizar el sistema en términos de oferentes, fuentes de financiamiento y gestión administrativa, fomentando la competencia (Capel 2005). De esta manera, la normativa permitió y promovió la creación de universidades regionales y nuevas universidades privadas (Barroilhet 2019). Además, cambió la forma de financiamiento de las universidades, estableciendo fondos competitivos y disminuyendo el aporte estatal, lo que luego llevó al cobro de aranceles y matrícula a los estudiantes (Barroilhet 2019; Bernasconi y Rojas 2002).

Así, la norma nació como un mecanismo para permitir el financiamiento estatal a nuevas instituciones de educación superior. Sin embargo, al contener un criterio histórico tan fuerte, actualmente su impacto en la distribución de financiamiento es distinto del propuesto originalmente, al punto de generar un círculo vicioso en el que algunas instituciones tienen ventajas desde su creación (Améstica, Gaete y Llinas-Audet 2014).

Financieramente, los aportes que reciben las instituciones por parte del Estado dependen de su clasificación. Así, al considerar aportes basales, financiamiento directo y fondos concursables para las instituciones de educación superior determinados en el presupuesto 2021, observamos que las UPNT pueden postular a un 9,52% de los fondos disponibles, mientras que las universidades fundadas antes de 1981 postulan a más del 60% de los recursos disponibles, sin diferenciar si se trata de instituciones de propiedad estatal (UE) o privada (UPT) (Acción Educar 2020).

¹ Originalmente, las universidades tradicionales pertenecían además al CRUCH. Por lo mismo, a veces se hace referencia a las universidades tradicionales como universidades del CRUCH. Actualmente, UPNT también pertenecen al CRUCH, por lo que ambas clasificaciones dejaron de coincidir.

Además, a pesar de que las universidades privadas no tradicionales concentran la mitad de la matrícula universitaria, debido a su clasificación obtienen una proporción mucho menor de aportes del Estado. Esta diferencia se observa también en aportes basales por desempeño, fondos concursables por investigación y fondos destinados a temas de interés nacional, en los que las UPNT tienen una posibilidad de acceso mucho menor que las tradicionales, tanto UE como UPT. De acuerdo a datos de Contraloría, entre los años 2011 y 2019, las universidades estatales recibieron entre el 53,8% y el 57,5% de los aportes directos a instituciones cada año, y las universidades privadas tradicionales recibieron entre el 35,1% y el 41,2% del financiamiento fiscal, mientras que las universidades privadas no tradicionales recibieron entre un 2,8% y un 4,6% de los aportes. Además, algunos fondos, como el Aporte Fiscal Directo (AFD), se distribuyen por criterios históricos y, dado que el AFD está correlacionado con el acceso a otro tipo de financiamiento, el círculo vicioso se presenta incluso dentro del grupo de las universidades tradicionales (Améstica, Gaete y Llinas-Audet 2014). Se trata de una expresión de las críticas que se han hecho a la distribución de recursos en base a este tipo de criterios, como la reducción del dinamismo del sistema y la falta de incentivos para mejorar (OECD 2020).

Más allá de la relevancia del contexto histórico y político de la norma en cuestión, y dado el impacto que tiene en el financiamiento de las universidades, cabe preguntarse si la clasificación del DFL N° 4 es útil para focalizar políticas públicas o si acaso existen otras formas de clasificar que puedan lograr grupos más homogéneos de universidades. Ello, sobre todo, considerando que ya en el pasado se ha criticado esta clasificación (Brunner 2013; Améstica, Gaete y Llinas-Audet 2014) y se han realizado esfuerzos para analizar nuevas alternativas. A su vez, la clasificación de instituciones es superior a la realización de *rankings* o sistemas de financiamiento basados en resultados que disminuyen la diversidad de proyectos educativos. Esto motiva el trabajo de este artículo, que presenta una nueva clasificación y la compara con la clasificación vigente en términos de homogeneidad de los grupos y estabilidad temporal.

Para presentar una clasificación es necesario entender el desarrollo académico y político de los sistemas de clasificación de instituciones de educación superior. De acuerdo a Muñoz y Blanco (2013) es posible identificar tres etapas. La primera de ellas es la etapa histórica. Esta no

se asocia a un debate académico y es el origen de la clasificación actual, basada en criterios histórico-políticos. La segunda etapa es la tipológica. En ella comienzan los trabajos académicos para clasificar universidades, seleccionando variables y realizando los primeros análisis de datos, aunque manteniendo el peso de elementos legales e históricos. Destacan los trabajos de Brunner (2009) y Brunner et al. (2005), Parada (2010), Torres y Zenteno (2011), y Reyes y Rosso (2012), en los que se crean diferentes categorías que combinan variables cuantitativas, como matrícula e investigación, con distinciones geográficas e institucionales. Otra interesante recopilación de clasificación de universidades se puede encontrar en Améstica, Gaete y Llinas-Audet (2014).

Finalmente, tras el trabajo de Reyes y Rosso (2012), comienza a surgir la etapa taxonómica, centrada en el análisis estadístico de los datos. En estas propuestas se seleccionan variables y se clasifican de acuerdo a técnicas estadísticas enfocadas en resultados e indicadores. También se realizan modelos mixtos que incluyen variables cualitativas, presentando nuevos inconvenientes y desafíos (Améstica, Gaete y Llinas-Audet 2014). Esta evolución en la clasificación de universidades no se observa solo en Chile, sino que se trata de una tendencia global. Así, en los últimos años se han visto ejemplos de clasificaciones taxonómicas a nivel regional como las de Torres-Samuel et al. (2019) en Latinoamérica y la de Ziegele (2013) en Europa. A niveles nacionales, están las clasificaciones planteadas por Boliver en el Reino Unido (2015), Palomares-Montero (2010) en España y Feranecová y Krigovská (2016) en Eslovaquia. Destaca especialmente el trabajo realizado por la oficina para la investigación y transferencia de conocimiento de Reino Unido (Research England), que, como parte de la creación de un nuevo marco de referencia para la transmisión de conocimiento, creó sus propios *clusters* para destacar instituciones similares y potenciar el rendimiento de las universidades.²

Los últimos trabajos realizados en Chile sobre el tema han permitido avances significativos en el conocimiento de la materia. Muñoz y Blanco (2013) utilizaron el análisis exploratorio de factores para plantear una clasificación en cinco grupos de acuerdo a los atributos más importantes de cada universidad. Améstica, Gaete y Llinas-Audet (2014) realizaron una revisión bibliográfica sobre la clasificación de universidades y un análisis de correlación entre el AFD y otras formas de financiamiento. Rodríguez

² Disponible en: <https://kef.ac.uk/> [5 enero de 2020].

et al. (2015) elaboraron cuatro *clusters* asociados a calidad y rentabilidad sobre el patrimonio con datos financieros y de acreditación de las instituciones. Lavados et al. (2016) plantearon un modelo con dos dimensiones —una académica y otra estructural— y 13 indicadores con los que las universidades fueron ordenadas de mayor a menor, lo que derivó en un *ranking* con cinco *clusters*.

Por su parte, Salas, Gaymer y Morales (2018) realizaron un trabajo básico de *clusters* para catalogar en cuatro grupos de acuerdo a docencia e investigación, mientras que López et al. (2019) generaron una clasificación a través de *clusters* jerárquicos y la compararon con la clasificación utilizada actualmente y su posible efecto en la acreditación de las instituciones. Finalmente, Mondaca et al. (2019) realizaron un análisis a través de ecuaciones estructurales y generaron una clasificación a través de sus resultados.

Esta muestra de trabajos permite concluir que el enfoque taxonómico ha sido ampliamente empleado. Sin embargo, también ha presentado una serie de limitaciones. Los trabajos revisados carecen, en su mayoría, de una comparación en términos de homogeneidad con los sistemas de clasificación vigentes.

En la misma línea, no solo es relevante analizar cómo quedarían clasificadas las universidades al momento de la redacción del trabajo académico, sino también saber cuál habría sido su variación en el tiempo. Una de las falencias más importantes de la clasificación del DFL N° 4 consiste en que las categorías se han mantenido invariables desde 1982.³ Las múltiples modificaciones a las reglas han influido en la distribución de recursos dentro del grupo de universidades tradicionales (Méndez 1996), pero no han cambiado las reglas para determinar cuál universidad es tradicional y cuál no. En consecuencia, existen cuarenta años de evolución del sistema universitario chileno que no son considerados para los efectos financieros que tiene la clasificación actual. Los criterios utilizados no permiten que una universidad quede en una categoría distinta dependiendo de sus acciones. Por lo tanto, uno de los aspectos interesantes de una clasificación taxonómica es el de la variación de las categorías en el tiempo. Si bien la estabilidad del financiamiento es un aspecto importante para la planificación de largo plazo de las instituciones de educación

³ Año en que se introdujo la redacción actual del artículo 1 del DFL N° 4 de 1981, con el DFL N° 50 de 1981.

superior (OECD 2020), la total inmovilidad de la situación chilena excede esa posición ya que implica que aquellas instituciones históricamente afectadas, como las universidades privadas o las universidades estatales regionales, mantendrán su posición en el futuro. Por lo mismo, al comparar un modelo con el existente, es relevante también evaluar la estabilidad temporal de las categorías, buscando un balance adecuado entre estabilidad y dinamismo. Se busca un sistema que no cambie constantemente, de manera que permita tomar decisiones a largo plazo, pero que, a la vez, permita cierto margen de movilidad para que las instituciones puedan ser clasificadas en un grupo distinto pasado cierto tiempo, si así lo amerita.

Por ello, en las próximas secciones presentaremos una clasificación taxonómica de *clusters* de acuerdo a variables respaldadas por evidencia internacional. Luego se comparará la homogeneidad con la clasificación del DFL N° 4 y se evaluará su estabilidad temporal, analizando la posibilidad de que IES queden clasificadas en distintos *clusters* dependiendo del momento de su historia, revisando su movilidad y evolución. Así, el presente artículo no solo busca evidenciar defectos que tiene el sistema actual en comparación con el modelo desarrollado, sino que también plantea un nuevo sistema de clasificación por resultados para las universidades, que puede ser una herramienta útil para la política pública.

Para cumplir este objetivo, en primer lugar (1) se presenta un apartado metodológico en el que se describe la selección de variables a utilizar y las fuentes de información de estas, junto con la estrategia a utilizar tanto para la elaboración de *clusters* como para la comparación y medición de estabilidad temporal (2). En la siguiente sección (3) se exponen los resultados obtenidos en la elaboración de los *clusters* y la clasificación de las universidades subyacente. Posteriormente (4) se compara la homogeneidad de la clasificación propuesta con la actualmente utilizada para segmentar las universidades y la estabilidad temporal de la solución propuesta. Finalmente, en las conclusiones (5) se discute la implicancia de los resultados obtenidos.

I. Selección de variables

De acuerdo a diversos trabajos de investigación realizados en los últimos treinta años (Taylor 2001; Barnett 1992; Marginson 1995), cuando se utilizan indicadores para evaluar o clasificar instituciones las variables seleccionadas pueden afectar el foco de las universidades, implicando que se

generen incentivos para mejorar esos indicadores y dejar otros de lado. Debido a las implicancias financieras y administrativas que tienen las clasificaciones en el sistema chileno, estos incentivos son especialmente fuertes y podría arriesgarse una reducción de la diversidad de instituciones. Por ende, se debe ser extremadamente cuidadoso en la elección de las variables y, sobre todo, en las consecuencias que se le atribuyen a las clasificaciones que resultan. Dado que la clasificación que se pretende desarrollar tiene como fin principal ser comparada con la clasificación actual, se decidió basar las variables en los principios establecidos en la Ley de Educación Superior.

De acuerdo a dicha ley: “La educación superior cumple un rol social que tiene como finalidad la generación y desarrollo del conocimiento, [...] asimismo, la educación superior busca la formación integral y ética de las personas [...]”. Por ende, la estrategia a utilizar en esta investigación considera indicadores que permiten evaluar las dos dimensiones fundamentales para el cumplimiento del rol social de la educación superior enunciados en la ley: la investigación y la docencia. Los indicadores pueden ser tanto resultados producto del desarrollo universitario (*outputs*), o bien, aquellos que detallan la situación inicial con la que trabajan las instituciones (*inputs*). Así, la evidencia internacional recomienda una serie de variables, entre las que se seleccionan aquellas que permiten cumplir con tres requisitos. Por un lado, los indicadores deben ser avalados por la literatura internacional para clasificar a las instituciones de educación superior. Por otro, juntos deben describir ampliamente las posibles aristas que pueden tener ambas dimensiones, considerando tanto *inputs* como *outputs*. D’Este, Castro y Molas-Gallart (2014) presentan un compilado de indicadores, basados en la literatura, para utilizar en un contexto de instituciones de educación superior. A su vez, López et al. (2019) realizan un barrido de indicadores utilizados en la literatura chilena. Considerando estas experiencias se encuentran cientos de indicadores que podrían ser usados, aunque no exista un estándar definitivo de los indicadores para ser utilizados (Ramírez, Barrachina, Ripoll 2020). Por ello, en este artículo se considera necesario el tercer requisito: la disponibilidad.

Es decir, estos indicadores deben ser obtenidos y calculados para la gran mayoría de las universidades chilenas, permitiendo una comparación de casi todo el sistema universitario, excluyendo la menor cantidad de instituciones por falta de datos. Esto deja fuera variables que podrían

ser de interés pero que no cumplen con algunos de los requisitos. Ejemplo de ello son variables que detallen aspectos éticos —como cursos o *workshops*—, vinculación con el medio, actividades de formación humana, educación sustentable o equidad de género. Al no existir disponibilidad pública de datos públicos, no fue posible generar variables comparables en este artículo, ya que las instituciones que medían esta información seguían sus propios criterios.

A continuación se presentan los indicadores a utilizar en este artículo, permitiendo la inclusión de todas las universidades del sistema existentes el año 2020, a excepción de cinco que no contaban con la información, ya sea por ser recién creadas o por encontrarse en proceso de cierre, junto con las fuentes utilizadas para la obtención o cálculo de estos datos.

Generación y desarrollo del conocimiento:

- Publicaciones por JCE⁴ de profesores (Worthington y Lee 2008)
- JIF⁵ promedio de las publicaciones indexadas (Athanasopoulos y Shale 1997)
- Porcentaje de profesores con doctorado (Johnes y Johnes 1995)
- Ratio de alumnos en programas de doctorado (Athanasopoulos y Shale 1997)
- Cantidad de concursos Fondecyt⁶ regulares ganados por JCE (Athanasopoulos y Shale 1997)
- Cantidad de concursos de investigación con impacto directo en la comunidad por JCE (D'Este, Castro y Molas-Gallart 2014)

Docencia y formación:

- Cantidad de alumnos por JCE de profesores (Flegg et al. 2004)
- Tasa de graduación: cantidad de alumnos graduados en un año por matrícula del establecimiento (Flegg et al. 2004)

⁴ JCE: Jornada Completa Equivalente. Medida que se utiliza para ponderar la cantidad de docentes a tiempo parcial con la cantidad de horas que dura su jornada.

⁵ JIF: Journal Impact Factor. Indicador que mide el éxito de la revista, considerando las citas que tienen las publicaciones indexadas de la misma en los últimos dos años previos a la publicación de un artículo.

⁶ El concurso más importante para la entrega de fondos de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) para la producción científica y académica de Chile.

- Porcentaje de graduación oportuna: porcentaje de estudiantes que se gradúa en la duración formal de la carrera (Athanassopoulos y Shale 1997)
- Retención al primer año (Jongbloed y Vossensteyn 2001)
- Número de alumnos de pregrado (Flegg et al. 2004)
- Metros cuadrados construidos por alumno (Abbott y Doucouliagos 2003)⁷
- Volúmenes de biblioteca por alumno (Athanassopoulos y Shale 1997)
- Porcentaje de sobreduración de las carreras: diferencia porcentual entre la duración real y la duración formal de la carrera (Jongbloed y Vossensteyn 2001)
- Porcentaje de alumnos vulnerables, considerando a aquellos pertenecientes a los primeros tres quintiles de ingresos (Jongbloed y Vossensteyn 2001)

La primera base de datos utilizada es el 'Buscador de instituciones'⁸ disponible en el portal 'Mi futuro' del Ministerio de Educación (Mineduc). Esta base entrega información útil para ambas dimensiones, como la JCE de profesores y la matrícula de pregrado. Además se obtienen datos como la proporción de las JCE de profesores con doctorado, la cantidad de metros cuadrados construidos, el número de volúmenes de biblioteca, la duración formal y real promedio de las carreras, y la cantidad de titulados.

Por su parte, para extraer los datos de publicaciones indexadas de las instituciones chilenas, se utilizó la información del portal Dataciencia⁹ de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID). Luego, mediante *web scraping*,¹⁰ se obtuvo la revista donde fue publicada cada publicación. Finalmente se determinó el JIF promedio al comparar con los datos del portal *Journal Citation Reports de Clarivate*,¹¹ que sistematiza información de *Web of Science (WOS)*.

⁷ Totalidad de metros cuadrados construidos, para distintos usos, reportados por el Mineduc.

⁸ Disponible en: <https://www.mifuturo.cl/mi-futuro-buscadores/> [5 enero de 2020].

⁹ Disponible en: <https://dataciencia.anid.cl/> [5 de enero 2020].

¹⁰ Proceso de recopilación de datos de internet automatizado a través de programas de software.

¹¹ Disponible en: www.incites.clarivate.com [5 de enero 2020].

Para obtener los datos de los concursos de investigación se utilizaron dos bases de datos. La primera son los resultados de Fondecyt regulares que se obtienen directamente en la página de la ANID.¹² Para obtener los concursos de investigación con impacto directo a la comunidad se solicitaron, de acuerdo a la ley de transparencia, los resultados de los concursos Concurso IDeA I+D, Concurso Investigación Tecnológica, Concurso Nacional de Proyectos de Investigación y Desarrollo en Salud, Valorización de la Investigación en la Universidad: VIU, llevados a cabo en los últimos diez años.

Por último, se utilizó el portal Datos Abiertos del Mineduc. En esta fuente de información se encuentra la base de matriculados en educación superior,¹³ la cual permitió calcular la cantidad de estudiantes de doctorado de cada institución. Luego, para caracterizar el perfil socioeconómico de los estudiantes de cada universidad, se combinó la matrícula con las bases de Postulaciones¹⁴ y Asignaciones¹⁵ a becas y beneficios ofrecidos por el Mineduc —también disponibles en este portal— y con la base de datos histórica de Asignaciones del Crédito Con Garantía Estatal (CAE) —entregada por la comisión Ingresas.

2. Metodología

El trabajo realizado en esta investigación cuenta con cuatro pasos detallados en la Figura 1. Así, primero se construyen los *clusters*, los que luego son analizados en dos aristas importantes. La primera es la comparación de la homogeneidad de los *clusters* con la clasificación actual. La segunda es calcular la estabilidad de los *clusters* con el paso del tiempo. Finalmente se realiza un análisis de robustez considerando diferentes algoritmos de clusterización. En las siguientes subsecciones se explican detalladamente cada uno de los pasos.

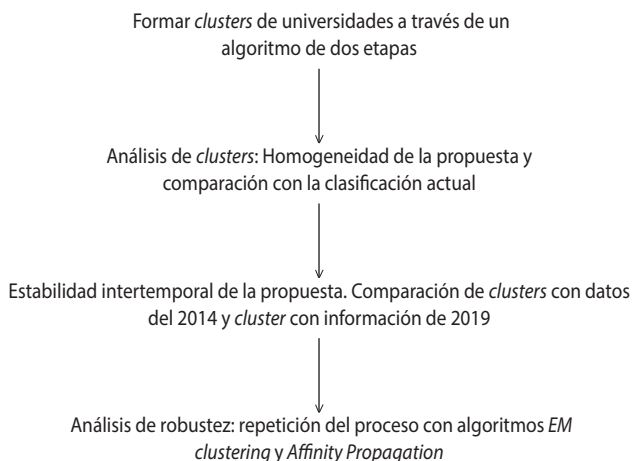
¹² Disponible en: <https://www.anid.cl/concursos/> [5 de enero 2020].

¹³ Disponible en: <http://datos.mineduc.cl/dashboards/20195/descarga-bases-de-datos-matricula-en-educacion-superior/> [5 de enero 2020].

¹⁴ Disponible en: <http://datos.mineduc.cl/dashboards/20208/descarga-base-de-datos-postulaciones-a-becas-y-creditos-en-educacion-superior/> [5 de enero 2020].

¹⁵ Disponible en: <http://datos.mineduc.cl/dashboards/20209/descarga-base-de-datos-asignaciones-de-becas-y-creditos-en-educacion-superior/> [5 de enero 2020].

Figura 1. METODOLOGÍA PROPUESTA EN LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de clusters

Utilizando los indicadores descritos para el año 2019 del sistema universitario chileno, se buscó construir los *clusters* que agrupan a las instituciones. Para determinar estos *clusters*, se siguió la metodología de normalización planteada por Milligan y Cooper (1988), lo que disminuye el peso relativo de cada variable y permite comparar las varianzas de los indicadores. Para esto se utilizó la normalización lineal del tipo mínimo-máximo, que transforma los valores en el intervalo [0,1] mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Normalización} = \frac{\text{valor} - \text{mínimo}}{\text{máximo} - \text{mínimo}}$$

Otra ventaja de esta normalización es que al situar las variables entre el 0 y el 1 permite una comparación interanual, pues el valor se asocia a la cercanía a los extremos, sin tomar en cuenta posibles alzas o disminuciones por tendencias del sistema. Este proceso es realizado sobre cada variable para cada año, de forma que los cambios exógenos no afecten el valor de los indicadores, sino que manifiesten el resultado de cada institución en cada año específico, contrastada con sus pares.

Una vez normalizados los indicadores se realizó un análisis de componentes principales (PCA, de acuerdo a su sigla en inglés) para cada

una de las dos dimensiones. Esta técnica estadística es utilizada en esta investigación por dos razones. En primer lugar, permite minimizar los problemas asociados a la correlación que podrían tener las variables seleccionadas, entregando nuevas componentes sin correlación lineal y que entregarían la misma varianza que las originales. La segunda razón es que, dado que cada componente principal adicional entrega menor información que la anterior, se puede aplicar una reducción de dimensionalidad manteniendo la mayor parte de la varianza. En consecuencia, se aplicó el PCA y se seleccionaron las tres componentes principales más importantes tanto de docencia como de investigación, evitando que una dimensión produzca un sesgo en la clasificación producto de considerar una mayor cantidad de indicadores. Estas variables explican la mayor parte de la varianza de nuestros datos, por lo que agregar más componentes no entrega nueva información.

Existe evidencia que avala la utilización de la metodología de componentes principales. Por ejemplo, Ding y He (2004) demuestran la similitud de la estructura matemática entre PCA y el algoritmo *k-means*, concluyendo que se pueden utilizar las dimensiones reducidas para obtener agrupaciones sin distorsiones importantes, eliminando el sesgo de selección de variables e igualando el peso que tiene cada una de las dimensiones para la elaboración de la clasificación. Así, preprocesar con PCA previo a la utilización de *k-means* es una estrategia muy utilizada, incluso en data sets con menos de diez atributos por observación (Zhu, Idemudia y Feng 2019).

Siguiendo la estructura utilizada en universidades de Reino Unido (Ulrichsen 2018) para la elaboración de *clusters*, se realizó una estrategia de dos etapas. En la primera se empleó un algoritmo de agrupación jerárquico aglomerativo (Sharma 1996) para determinar la cantidad de *clusters* a considerar. El algoritmo funciona de la siguiente manera: cada institución es un único grupo y en cada paso del algoritmo se unen los grupos a una menor distancia entre el promedio de indicadores de cada grupo, conocido como centro. Al unirse dos grupos, se genera un grupo nuevo y su centro es recalculado. El algoritmo continúa funcionando hasta que todas las observaciones pertenecen al mismo grupo. Una vez obtenida esta agrupación final, para cada número *clusters* se calcula la suma de errores cuadráticos entre cada observación y el centro de su *cluster*.

Luego se seleccionó la cantidad de *clusters* a través de la heurística conocida como *elbow method*, en la que se selecciona la cantidad de grupos donde hay una mayor diferencia en retorno marginal de homogeneidad —medida a través de la suma cuadrática de errores de cada *cluster*— entre tener un grupo más o uno menos. Es decir, se determina el último grupo que aumenta la similitud de forma importante y con eso se selecciona la cantidad de *clusters*. Esto se complementa con el dendrograma del algoritmo jerárquico, el cual indica la cantidad ideal de *clusters* de acuerdo a la mayor distancia necesitada para unir dos aglomeraciones diferentes. Para la segunda etapa se utilizó el algoritmo de agrupación no jerárquica *k-means* (Sharma 1996), definiendo *k* como la cantidad de *clusters* seleccionados en la etapa anterior y utilizando los centros de los grupos de la primera etapa como puntos iniciales, obteniendo los *clusters* finales. Para ambas etapas se utilizaron distancias euclídeas, debido a su simplicidad interpretativa.

La utilización de esta estrategia se basa en el trabajo de Punj y Stewart (1983) y entrega dos ventajas muy importantes para la utilización del algoritmo *k-means*. La primera de ellas es que permite seleccionar la cantidad de *clusters* sin haber utilizado el algoritmo de antemano, evitando el *over-fitting*, un sobreajuste adaptado a características muy específicas de los datos que quitan poder de generalización al algoritmo. La segunda es que el algoritmo, al ser un problema matemático *NP-Hard*, de alta complejidad, se resuelve mediante heurísticas que no garantizan la convergencia al óptimo global, pero, al utilizar los centroides de la primera etapa, el óptimo alcanzado es probablemente mejor que con un inicio aleatorio, además de ser replicable.

Homogeneidad de la clasificación

Una vez obtenidos los grupos de universidades, se comparó la similitud que tienen los grupos propuestos con la semejanza que se observa en la clasificación utilizada actualmente en el país. Para ello se comparó tanto la coherencia interna de los grupos como la coherencia entre los distintos *clusters*.

La coherencia interna se refiere a la similitud que poseen las diferentes observaciones que pertenecen al mismo *cluster* o que poseen la misma clasificación. Esto es necesario debido a que, tal como

nos muestra Brunner (2013), una de las críticas más importantes a la clasificación es la enorme heterogeneidad de instituciones al interior de una misma categoría. En esta investigación se evaluó la homogeneidad de acuerdo a los resultados de los indicadores, considerando su categoría —Docencia o Investigación—, y el *cluster* en el que fue clasificada cada institución. Para ello se utilizó la medida *Root mean squared standard deviation (RMSSD)* (Sharma 1996), que calcula desviación ponderada de las variables normalizadas a través de las fórmulas presentadas a continuación. Considerando que para toda observación x , perteneciente a un *cluster* (C_i), con centro c_i , y que posee n_i elementos, con P , el total de indicadores tenemos:

$$RMSSD_i = \sqrt{\frac{\sum_{x \in C_i} \|x - c_i\|^2}{P(n_i - 1)}}, \quad RMSSD = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_{x \in C_i} \|x - c_i\|^2}{P \sum_i (n_i - 1)}}$$

Siendo $RMSSD_i$ el indicador de homogeneidad del *cluster* i , mientras que $RMSSD$ es la homogeneidad total del sistema. Estos indicadores fueron calculados en primer lugar para la dimensión de Docencia, luego para la dimensión de Investigación y finalmente para el total de indicadores.

Además de la coherencia interna, es importante evaluar qué tan distintos son los diferentes *clusters*, es decir, la separación de los grupos. Para evaluar ambos aspectos se utilizó el índice de Silhouette (Manocharand et al. 2020). Este indicador nos permite saber qué tan similar es una observación —resultados de una universidad— de un *cluster*, comparada con los otros *clusters*, tomando valores entre -1 y 1. Si el indicador toma el valor -1, la observación es exactamente igual a todas las observaciones de un *cluster* distinto al suyo, y si es 1 es exactamente igual a todas las observaciones de su *cluster*. Por su parte, valores negativos indican que hay mayor cercanía con otro grupo, por lo que nuestra observación podría estar mal clasificada, y valores cercanos a 0 se asocian con puntos pertenecientes a la frontera entre dos *clusters*. Luego, el promedio del índice de Silhouette nos permite identificar qué grupos presentan una mejor separación y coherencia que otros, y estimar la precisión de clasificación de un método.

Para lograr esto, para cada observación se calculó la distancia promedio de esta con todos los elementos de su *cluster* y la distancia promedio con los elementos del *cluster* más cercano. Ponderando ambos

valores obtuvimos el valor del indicador, y de esta forma comparamos aquellos grupos cuyas observaciones se asemejaban y, al mismo tiempo, generaban diferencias más marcadas respecto de otros.

Para ello se utilizó la siguiente fórmula: obteniendo para cada observación i , un índice s_i , en que a_i es la distancia media a los otros puntos del mismo *cluster* C_i , mientras que b_i es la distancia promedio a los puntos del *cluster* más cercano, $d(i, j)$ es la distancia entre dos observaciones y $|C_i|$ es la cardinalidad (cantidad de elementos) del *cluster*.

$$a_i = \frac{1}{|C_i| - 1} \sum_{j \in C_i, i \neq j} d(i, j); \quad b_i = \min_{k \neq i} \frac{1}{|C_k|} \sum_{j \in C_k} d(i, j)$$

$$s_i = \frac{b_i - a_i}{\max(a_i, b_i)}, \text{ si } |C_i| > 1; \quad s_i = 0, \text{ si } |C_i| = 1$$

Estabilidad intertemporal

Luego se realizó una comparación de la variabilidad intertemporal de los *clusters* y su estabilidad en el paso del tiempo. Para ello se mantuvieron estables los centroides generados por la clusterización original, clasificando a las universidades con los datos del año 2014 en el *cluster* correspondiente. Una vez realizada la clasificación, a través del α de Krippendorff (Hayes y Krippendorff 2007) se evaluó la estabilidad de la misma, analizando si la agrupación a través de *clusters* propuesta permite una clasificación estable en un período de cinco años. Este indicador evalúa estadísticamente la concordancia entre dos sets de variables, en este caso observaciones en un *cluster*, mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = 1 - \frac{D_o}{D_e}$$

Con D_o , siendo la diferencia observada entre ambos sets y D_e , la diferencia esperada por azar. Esta medida es utilizada en el análisis de contenidos para comparar dos clasificaciones realizadas por distintas personas. Si el valor es 1, ambas clasificaciones son exactamente iguales. A medida que el valor disminuye, indica una mayor diferencia entre las clasificaciones y disminuye la confianza en las clasificaciones realizadas. En este caso, siguiendo lo realizado por Müller y Hamm (2014), los cla-

sificadores son dos: los datos de 2014 y los datos de 2019. Con ello, si el valor de α es levemente menor a 1, implicaría que ambas clasificaciones son similares, pero que las instituciones pueden variar de *cluster* de acuerdo a su desarrollo en los años. Si es demasiado bajo, señalarían que la clasificación no es confiable y hay demasiada inestabilidad.

Robustez del método

Finalmente, se repite el proceso de elaboración de *clusters* con otros dos métodos no jerárquicos, *Affinity Propagation* y *Expectation Maximization (EM)*. Las técnicas a utilizar deben ser no jerárquicas para permitir la predicción de la clasificación de las universidades tras el paso del tiempo. *Affinity Propagation* es un algoritmo que selecciona puntos del input que considera representativos de cada *cluster* y clasifica al resto de las instituciones de acuerdo a su cercanía con los puntos representativos. A diferencia de *k-means* o *EM*, no requiere determinar previamente la cantidad de categorías, sino que es determinado por el algoritmo. Todas estas características lo han convertido en uno de los algoritmos de clusterización más utilizados en los últimos años (Keller et al. 2021). Por su parte, *EM* es un algoritmo con funcionamiento similar a *k-means*, pero que entrega el beneficio de que la clasificación no está limitada a estructuras esféricas para los *clusters*. Así, permite entender de mejor forma datos con estructuras de orden más complejas, como el sistema universitario chileno, lo que lo mantiene como un algoritmo de gran uso (Yamasari et al. 2020).

Una vez clasificados los nuevos *clusters* se compara la homogeneidad y estabilidad intertemporal de estos nuevos modelos con el sistema propuesto con *k-means* y la situación actual, para determinar las diferencias que implica la selección de un algoritmo u otro.

3. Resultados

Estadística descriptiva

Se analizaron 51 instituciones que contaban con datos al año 2019. Se excluyeron universidades muy nuevas para contar con toda la información requerida, como la Universidad de Aysén y la Universidad de O'Higgins, y que se encuentran en procesos de cierre o de fiscalización especial por parte del Ministerio de Educación, como la Universidad de

La República, entre otras. En esta sección mostraremos los resultados promedio de cada uno de los grupos clasificados por el DFL N° 4 en los indicadores de Docencia e Investigación, tal como se pueden ver en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. PROMEDIO (DESVIACIÓN ESTÁNDAR) DE INDICADORES DE INVESTIGACIÓN, POR TIPO DE UNIVERSIDAD

Investigación	Cantidad de universidades	Publicaciones por JCE	JIF Promedio	Porcentaje profesores con doctorado	Ratio alumnos en doctorado por alumnos de pregrado	Proporción concursos Fondecyt dividido por JCE	Concursos vinculación por JCE
UE	16	0,6 (0,36)	3,17 (0,69)	0,37 (0,11)	0,007 (0,009)	0,003 (0,003)	0,03 (0,03)
UPNT	26	0,18 (0,19)	2,21 (1,45)	0,17 (0,14)	0,002 (0,003)	0,001 (0,002)	0,008(0,008)
UPT	9	0,75 (0,28)	3,15 (0,64)	0,43 (0,11)	0,012 (0,011)	0,004 (0,003)	0,04 (0,02)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. PROMEDIO (DESVIACIÓN ESTÁNDAR) DE LOS INDICADORES DE DOCENCIA, POR TIPO DE UNIVERSIDAD

Docencia	Ratio alumnos por profesor	Tasa de graduación	Titulación oportuna	Retención primer año	Matrícula	Metros construidos por alumno	Volumenes por alumno	Tasa de sobreducción	Vulnerabilidad
UE	17,3 (2,9)	0,15 (0,04)	0,29 (0,11)	0,82 (0,03)	9606 (6149)	11,6 (4,2)	23,1 (24,3)	0,37 (0,08)	0,7 (0,12)
UPNT	19,1 (6,2)	0,2 (0,12)	0,37 (0,12)	0,75 (0,11)	10605 (9361)	7,9 (3,8)	18 (13,4)	0,31 (0,1)	0,37 (0,21)
UP	16,7 (3,6)	0,13 (0,02)	0,34 (0,1)	0,84 (0,02)	13833 (5167)	11,3 (3,8)	23,3 (16,4)	0,33 (0,09)	0,63 (0,18)

Fuente: Elaboración propia.

Observando ambas tablas, notamos que las instituciones de cada grupo presentan una alta heterogeneidad, aunque esto se observa más pronunciadamente en las universidades privadas. A su vez, notamos que algunos indicadores presentan desviación estándar mayor a la media. Esto muestra posibles sesgos del estudio, pero principalmente refleja la heterogeneidad interna de cada grupo. La mayor varianza se observa en la cantidad de volúmenes por estudiante de las universidades estatales y en la mayoría de los indicadores de Investigación para todos los grupos, pero sobre todo para las universidades privadas. Estos resultados reflejan las diferencias internas de este grupo en este sistema de clasificación.

Determinación de *clusters*

Para construir los *clusters* para la clasificación propuesta, se realizó en primer lugar el PCA para ambas dimensiones, tomando en cada una tres componentes principales, que explican el 69% de la varianza para la dimensión de Docencia y un 92% para la dimensión de Investigación. A su vez, al realizar un análisis de correlación entre las componentes y los indicadores determinamos qué variables son más explicadas por cada una de las componentes, tal como notamos en las tablas 3 y 4. En ellas observamos que en la dimensión Docencia la primera componente relaciona fuertemente con los procesos de retención y titulación, considerando la vulnerabilidad de los estudiantes; la segunda realiza algo similar con la titulación oportuna y la sobreduración, mientras que la tercera componente se puede asociar a insumos físicos para los estudiantes y a la duración de los estudios. Muy distinta es la realidad en la dimensión de Investigación, ya que, debido a la correlación entre las variables seleccionadas, la primera componente tiene una alta correlación con todas las variables, mientras que las otras dos componentes ajustan respecto a las variables cuya variabilidad explica mayores diferencias. Por ello, la segunda componente se refiere a la calidad de las investigaciones —medida en JIF promedio— y la tercera se refiere a las investigaciones con impacto directo a la comunidad, evaluada a través de los concursos de vinculación con el medio.

Tabla 3. VARIABLES CORRELACIONADAS CON COMPONENTES PRINCIPALES EN DIMENSIÓN DOCENCIA

Componente Docencia	Variables correlacionadas
1	Retención en primer año, tasa de graduación y vulnerabilidad
2	Titulación oportuna, porcentaje de sobreduración y vulnerabilidad
3	Metros cuadrados construidos por alumno, volúmenes de biblioteca por alumno y porcentaje de sobreduración

Fuente: Elaboración propia.

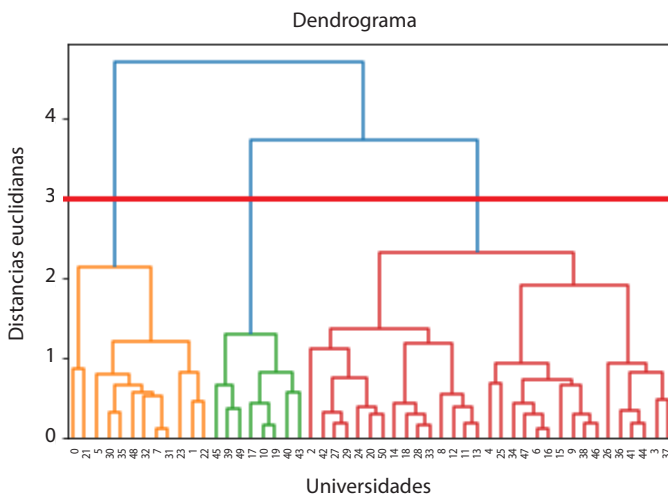
Tabla 4. VARIABLES CORRELACIONADAS CON COMPONENTES PRINCIPALES EN LA DIMENSIÓN INVESTIGACIÓN

Componente Investigación	Variables correlacionadas
1	Todas
2	JIF promedio de las publicaciones
3	Concursos de vinculación con el medio por JCE

Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinadas las componentes principales, se realizó la primera etapa de nuestra metodología para seleccionar la cantidad de *clusters*. A través de un algoritmo aglomerativo con metodología de Ward (1963), se obtuvo el dendrograma que muestra la composición de grupos en el algoritmo (Figura 2). Luego, aplicando el criterio de que la cantidad ideal de grupos se determina por la mayor distancia euclidiana entre la composición de dos *clusters*, se llegó a la conclusión de que la cantidad óptima de *clusters* es tres. Esto se confirmó utilizando el *elbow method* (Figura 3), que también indica que la cantidad ideal de *clusters* es tres, por medio de evaluar la suma cuadrática de errores (SSE) interna de cada grupo y de seleccionar el número de centros donde hay un mayor cambio de pendiente.

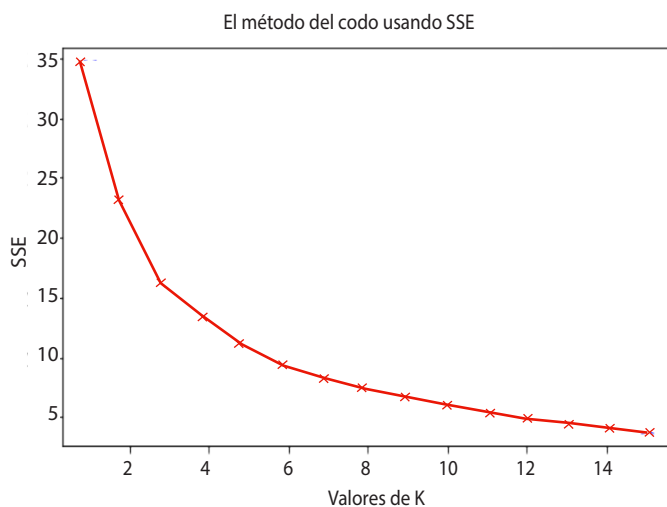
Figura 2. DENDROGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE UNIVERSIDADES



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados de la primera etapa, se utilizó el algoritmo *k-means* con tres *clusters*, utilizando como punto de partida los centroides de los grupos determinados por el algoritmo jerárquico. Los resultados de los tres *clusters* en las distintas dimensiones se resumen en las tablas 5 y 6 que se observan a continuación, donde notamos que el primer *cluster* está compuesto por un total de 26 instituciones, el segundo por 14 universidades y el tercero por 11.

Figura 3. SSE DEL SISTEMA POR CANTIDAD DE CLUSTERS SELECCIONADOS



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. PROMEDIO (DESVIACIÓN ESTÁNDAR) DE LOS INDICADORES DE INVESTIGACIÓN POR CLUSTER

Investigación	Cantidad de universidades	Publicaciones por JCE	JIF Promedio	Porcentaje profesores con doctorado	Ratio alumnos en doctorado por alumnos de pregrado	Proporción concursos Fondecyt dividido por JCE	Concursos vinculación por JCE
Cluster 1	26	0,35 (0,20)	3,12 (0,86)	0,25 (0,09)	0,003 (0,003)	0,001 (0,001)	0,02 (0,01)
Cluster 2	14	0,84 (0,29)	3,15 (0,65)	0,49 (0,08)	0,015 (0,010)	0,006 (0,002)	0,05 (0,03)
Cluster 3	11	0,03 (0,05)	1,02 (1,13)	0,08 (0,07)	0,001 (0,0003)	0,000 (0,001)	0,00 (0,00)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. PROMEDIO (DESVIACIÓN ESTÁNDAR) DE LOS INDICADORES DE DOCENCIA POR CLUSTER

Docencia	Ratio alumnos por profesor	Tasa de graduación	Titulación oportuna	Retención primer año	Matrícula	Metros construidos por alumno	Volumenes por alumno	Tasa de sobreeducación	Vulnerabilidad
Cluster 1	16,8 (3,2)	0,15 (0,04)	0,34 (0,11)	0,83 (0,03)	11065 (7950)	9,2 (3,0)	15,8 (7,5)	0,33 (0,09)	0,6 (0,19)
Cluster 2	17,1 (4,0)	0,13 (0,03)	0,33 (0,12)	0,84 (0,04)	13483 (6879)	12,8 (4,9)	31,7 (27,4)	0,30 (0,10)	0,55 (0,25)
Cluster 3	22,5 (7,1)	0,27 (0,17)	0,36 (0,14)	0,64 (0,07)	7046 (7912)	6,9 (3,7)	17,5 (15,1)	0,39 (0,10)	0,27 (0,17)

Fuente: Elaboración propia.

En los indicadores de Investigación, mientras mayor es el valor, más alto es el resultado de la institución. Ante esto, notamos que el *cluster* 2 muestra mayor desarrollo en todos los indicadores de Investigación con una diferencia importante sobre el resto, menos en el indicador de calidad de las investigaciones (JIF promedio), en que las instituciones del *cluster* 1 presentan un resultado muy similar. Por su parte, el *cluster* 3 presenta los resultados más bajos en estos indicadores, con varios cercanos a 0.

En la dimensión Docencia, el foco es menos claro ya que los distintos *clusters* tienen mejores resultados en diferentes indicadores. En efecto, observamos que el *cluster* 3 tiene la mayor tasa de graduación y titulación oportuna, con una mayor cantidad de alumnos por profesor, mayor sobreduración, junto con menor infraestructura, matrícula y vulnerabilidad. Si comparamos las otras dos agrupaciones, observamos que el *cluster* 1 presenta menor cantidad de alumnos por profesor, una mayor tasa de graduación y titulación oportuna, pero muestra una menor retención el primer año y una mayor tasa de sobreduración, tratándose de universidades más pequeñas y con una vulnerabilidad más alta. Las diferencias previas son pequeñas, pero a nivel infraestructura el *cluster* 2 presenta una mayor cantidad de metros cuadrados construidos y más volúmenes en biblioteca por alumno. Se advierte que, similar a lo que ocurre con la clasificación del DFL N° 4, existen indicadores donde se observa una gran heterogeneidad dentro de los grupos, presentando una desviación estándar mayor a la media. Sin embargo, esto ocurre en menor medida con la clasificación propuesta, observándose en el indicador de Matrícula, que no es una variable que entrega información de acuerdo al PCA, y en los indicadores de investigación de aquellas instituciones que presentan baja investigación, presentes en el *cluster* 3.

La distribución de las universidades en los *clusters* se observa en la Tabla 7. Podemos observar que los *clusters* 1 y 2 tienen una presencia importante de universidades privadas no tradicionales, lo que permite notar que estas universidades muestran resultados similares a las instituciones tradicionales, aunque en la actualidad tengan menor acceso a financiamiento público.

Tabla 7. COMPOSICIÓN DE LOS DIFERENTES CLUSTERS

	Universidades	Cantidad UE	Cantidad UPT	Cantidad UPNT
Cluster 1	UAdv, UAP, Autónoma, UBO, UCSC, UCT, UCM, UCN, UCSH, UCEN, UAnt, UDA, ULS, ULL, UMAG, UPLA, UV, UDD, UDP, UFT, UM, UMCE, UNAB, USS, UST, UTEM	10	4	12
Cluster 2	PUC, PUCV, UAI, UAH, UACH, UCH, UDEC, UFRO, UANDES, USACH, UTALCA, UTA, UBB, USM	6	5	3
Cluster 3	UAHC, UB, UAC, UNIACC, UDLA, UVM, UGM, USEK, UMC, UPV, UTINACAP	0	0	11

Fuente: Elaboración propia.

Homogeneidad de la clasificación

Luego se calculó el RMSSD de ambas clasificaciones. Para ello se utilizó la fórmula presentada en la segunda sección de este artículo y se calcularon los valores que aproximan la pertinencia de los *clusters* estimados y de la clasificación actual del DFL N° 4 para las dimensiones de Investigación, Docencia y para el total de los indicadores utilizados. Los resultados se observan en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. RESULTADOS RMSSD DE LOS DIFERENTES CLUSTERS

	Cantidad de universidades	RMSSD Docencia	RMSSD Investigación	RMSSD
Cluster 1	26	0,166	0,136	0,155
Cluster 2	14	0,214	0,209	0,212
Cluster 3	11	0,229	0,137	0,197
Total	51	0,194	0,159	0,181

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. RESULTADOS RMSSD DE ACUERDO A CLASIFICACIÓN DE LAS UNIVERSIDADES

	Cantidad de universidades	RMSSD Docencia	RMSSD Investigación	RMSSD
UE	16	0,168	0,242	0,201
UPNT	26	0,239	0,206	0,226
UPT	9	0,164	0,237	0,197
Total	51	0,208	0,223	0,214

Fuente: Elaboración propia.

El bajo valor de RMSSD nos permite inferir que en la dimensión Docencia hay dos agrupaciones de la clasificación que se utiliza actualmente —universidades estatales y universidades privadas tradicionales— que presentan mayor homogeneidad, mientras que el grupo más heterogéneo lo componen las universidades privadas no tradicionales. Por su parte, al analizar la dimensión Investigación vemos que las universidades del *cluster* 1 y las universidades del *cluster* 3 son mucho más homogéneas que todas las categorías de la clasificación actual, mientras que las universidades del *cluster* 2 son levemente más heterogéneas que las UPNT, dejando en los últimos lugares a las UE y UPT. Al considerar ambas dimensiones, las universidades del *cluster* 1 son las más homogéneas, mientras que las UPNT son las con mayor diversidad.

Por su parte, al considerar la mayor similitud entre las universidades que se agrupan en cada *cluster* de acuerdo a la totalidad del sistema, la nueva clasificación es indiscutiblemente una mejor agrupación. En efecto, en la dimensión Docencia hay una disminución de un 7% en el indicador, en la de Investigación hay un valor 29% menor y a nivel total el resultado es un RMSSD 15% más bajo, indicando una clasificación con una mayor coherencia interna.

Para incluir la separación y coherencia de los grupos, calculamos el índice de Silhouette. El sistema, clasificado de acuerdo al DFL N° 4 presenta bajos resultados al calcular este indicador, promediando un total de 0,0480, tal como se ve en la Tabla 10. Estos resultados indican que gran parte de las universidades (17) tiene resultados más similares a un grupo distinto al que pertenecen y más de la mitad en el caso de las UPT. Por su parte, considerando la agrupación propuesta, el valor del índice aumenta. Como vemos en la Tabla 11, en todos los grupos el índice es mayor que en cualquier *cluster* del DFL N° 4, con un promedio de 0,2402. Con esto tenemos que la ganancia para acercarse al valor óptimo de 1 es de 20,18%. Más importante aún, la agrupación de *clusters* implica que solo tres instituciones tienen índice de Silhouette negativo, comparado con 17 universidades de acuerdo a la clasificación tradicional.

Tabla 10. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE SILHOUETTE PARA LA CLASIFICACIÓN DEL DFL N° 4

	Índice de Silhouette	Universidades con índice negativo
UE	0,012885	6
UPNT	0,088144	6
UPT	-0,005608	5
Total	0,0479886	17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE SILHOUETTE PARA LA CLASIFICACIÓN PROPUESTA

	Índice de Silhouette	Universidades con índice negativo
Cluster 1	0,315687	0
Cluster 2	0,139837	2
Cluster 3	0,189299	1
Total	0,240154	3

Fuente: Elaboración propia.

Estabilidad intertemporal

Luego, manteniendo fijos los centroides de los *clusters*, se comparó la clasificación de las universidades obtenida con los datos de 2019 con la clasificación que se obtendría utilizando los datos del año 2014. Debido a la normalización de las variables, el desarrollo que puede haber tenido el sistema completo no afecta la clasificación, por lo que las modificaciones tienen que ver con la variación de la posición relativa con respecto a las otras universidades, y el valor varía de acuerdo a la cercanía con el máximo o mínimo de cada indicador. Con los datos de 2014, la composición de los *clusters* deriva en que 35 instituciones son clasificadas como universidades del *cluster 1*, 12 son caracterizadas como universidades del *cluster 2* y 4 pertenecen al *cluster 3*. En la Tabla 12 observamos la comparación de la clasificación de las instituciones en cada año.

Tabla 12. CANTIDAD DE INSTITUCIONES EN CADA CLUSTER, DE ACUERDO A LOS DATOS DE 2014 Y 2019

	Cluster 1 (2019)	Cluster 2 (2019)	Cluster 3 (2019)	Total Universidades
Cluster 1 2014	22	2	11	35
Cluster 2 2014	1	11	0	12
Cluster 3 2014	3	1	0	4
Total Universidades	26	14	11	51

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados, se puede notar que la mayoría de las instituciones —un 65%— mantiene su clasificación en estos cinco años, observando que el *cluster* más inestable es el *cluster* 3, dado que ninguna institución que es clasificada así el año 2014 tiene esa categoría con datos del año 2019. Por su parte, se observa en las universidades del *cluster* 2 que solo una de las clasificadas en ese grupo con datos del año 2014 cambió de grupo el año 2019. Además, se sumaron tres universidades que en 2014 pertenecían a otra categoría, dos universidades del *cluster* 1 y una universidad del *cluster* 3.

Además, se obtuvo que el α de Krippendorff es igual a 0,3771. Este valor se encuentra en un intervalo medio, de acuerdo al que se asegura que ambas clasificaciones, siguiendo a Krippendorff (2004), no son equivalentes pero son similares. En consecuencia, la clasificación propuesta es estable, pero permite variaciones en la clasificación de algunas universidades de acuerdo a sus acciones y gestión. Por ejemplo, una institución que ha consolidado su planteamiento como una universidad enfocada puramente en la docencia, pasó del *cluster* 1 en 2014 al *cluster* 3 en 2019. Otro ejemplo es una universidad que presentó un aumento del 50% en promedio de los resultados de Investigación, complementado con una importante alza de matrícula (20%), porcentaje de alumnos vulnerables (aumento de 30%) y disminución de la sobreduración en un 30%. En virtud de lo anterior, la universidad pasó del *cluster* 3 al *cluster* 2, transcurridos cinco años.

Robustez del método

Finalmente, realizamos el mismo procedimiento con los algoritmos *Affinity Propagation* y *EM*. Debido a que *EM* requiere de una definición anterior de la cantidad de grupos, se reutilizó la primera etapa del algoritmo, que nos indicaba que la cantidad ideal de *clusters* eran tres y nos entregaba un punto de partida no aleatorio. Por su parte, *Affinity Propagation* entregó una cantidad óptima de ocho *clusters*. Los resultados de homogeneidad y estabilidad intertemporal se encuentran en la Tabla 13.

Observamos que el modelo elaborado con *Affinity Propagation* presenta una clasificación 30% más homogénea que la clasificación actual; sin embargo, esto se explica por la mayor cantidad de categorías. Por su parte, si bien muestra una mejoría a la clasificación del DFL N° 4 en la cantidad de instituciones mal clasificadas, el resultado se encuentra

muy lejos de los otros modelos. Esto se repite al observar la estabilidad intertemporal, mostrando un bajo α de Krippendorff y apenas un 26% de instituciones que mantiene su clasificación. Por otro lado, el modelo *EM* presenta su mayor fortaleza al ser el modelo con la mayor estabilidad, manteniendo la clasificación el 77% de las universidades y un α de 0,46, mientras que en el resto de los indicadores muestra resultados similares, aunque peores, que *k-means*.

TABLA 13. COMPARACIÓN ALGORITMO Y CLASIFICACIÓN DEL DFL N° 4

Sistema de clasificación	Número de <i>clusters</i>	RMSSD	Índice de Silhouette	Cantidad de instituciones mal clasificadas	Porcentaje universidades que mantienen su clasificación (2014-2019)	α de Krippendorff (2014-2019)
Clasificación chilena	3	0,2139	0,047	17	-	-
<i>K-means</i>	3	0,1809	0,2401	3	65%	0,3711
<i>Affinity Propagation</i>	8	0,1504	0,1473	8	26%	0,1267
<i>EM clustering</i>	3	0,1879	0,1959	5	77%	0,4653

Fuente: Elaboración propia.

Así, en este análisis se observa que tanto los modelos *EM* y *k-means* presentan los mejores resultados para la clasificación de las instituciones, cada uno de ellos con un beneficio distinto, ya sea en la estabilidad intertemporal o en la homogeneidad del sistema. En ese mismo sentido se determina que, dado el efecto logrado en homogeneidad, la selección del algoritmo *k-means* fue razonable. Al mismo tiempo, se puede notar que incluso un algoritmo que no presentó grandes resultados, como *Affinity Propagation*, entrega beneficios en comparación con la clasificación actual.

4. Discusión

La clasificación de universidades e instituciones de educación superior es un tema de discusión en gran parte del mundo. En Chile, existen diversas formas de clasificar, pero llama la atención la establecida en el DFL N° 4 de 1981, por su injerencia en la distribución de recursos, y la utilización

de criterios históricos. En esta investigación se buscó analizar el sistema de clasificación imperante por medio de la comparación con un sistema de clasificación alternativo, desarrollado por medio de la utilización de una metodología de *clusters*. En particular, se comparó la propuesta de agrupación desarrollada con la clasificación histórica de las universidades en dos aspectos fundamentales: la similitud de las instituciones pertenecientes a una categoría, y la estabilidad y la movilidad que presenta el sistema.

Con el indicador RMSSD se comparó la homogeneidad de las categorías en ambas clasificaciones. Al usar esta medida, se obtuvo que la clasificación desarrollada presenta resultados 15% mejores que la situación actual, llegando al 29% considerando solo la dimensión de Investigación. Al tener la misma cantidad de *clusters* y al ser de tamaños similares, queda en evidencia que el sistema de clasificación desarrollado ordena las universidades en grupos más parecidos entre sí.

Por su parte, al estimar el índice de Silhouette, se observa que este indicador es un 20% más cercano al valor óptimo con el nuevo sistema de clasificación, disminuyendo en 14 las instituciones con valores bajo 0, es decir, que sus indicadores son más similares a los de instituciones en otro *cluster* que al suyo propio. Los resultados de ambos indicadores nos muestran que la clasificación desarrollada es más homogénea, segmentando de mejor forma a las instituciones y generando grupos claramente distinguibles.

Así, queda en evidencia que la clasificación del DFL N° 4 agrupa a universidades con poco en común dentro de la misma categoría y que existen otras fórmulas que permiten identificar grupos más homogéneos. En consecuencia, la utilización de la clasificación histórica hace sumamente complejo para el Estado focalizar recursos y políticas de manera efectiva. Esto es un problema para aquel sistema de clasificación que busque justicia en su sistema educativo y afecta tanto a instituciones privadas como estatales de creación más reciente.

Tal como se comentó, el criterio histórico es utilizado internacionalmente para distribuir recursos; su objetivo es permitir estabilidad en el tiempo para que las IES puedan planificar a largo plazo y no quedarse sin fondos para subsistir de un año para otro. Sin embargo, la clasificación del DFL N° 4 genera una inamovilidad que excede este objetivo. Frente a esto, la clasificación presentada en este artículo apunta a que si una ins-

titución cambia de forma importante sus resultados, pueda cambiar su clasificación. Los resultados muestran que es posible lograr lo anterior y, al mismo tiempo, mantener un nivel importante de estabilidad, tal como se observa en el elevado valor de α de Krippendorff del modelo. Con todo, sería recomendable que, de utilizarse una clasificación taxonómica por resultados, esta se actualice periódicamente, cada cinco o diez años, de manera de hacerse cargo del cambiante sistema de educación superior chileno.

Estos resultados se ven confirmados al considerar diferentes algoritmos de clusterización, que muestran la mejoría que genera esta metodología, independientemente del algoritmo seleccionado, aunque destacan los algoritmos *k-means* y *EM*. Así, los avances de este estudio incluyen una metodología que busca disminuir el sesgo de selección de variables y agrupar universidades utilizando un método robusto de clusterización. Junto con eso, aporta al comparar la clasificación generada con la situación actual chilena, especialmente considerando la variación de *clusters* en diferentes períodos.

5. Conclusiones

Los resultados presentados permiten sostener que la clasificación que actualmente sirve para distribuir el 80% de los aportes directos del Ministerio de Educación para la educación superior, no es la más adecuada ya que agrupa a instituciones muy diferentes, lo cual impide que la clasificación logre focalizar las políticas públicas. Clasificaciones taxonómicas como la propuesta en este artículo son una herramienta interesante para agrupar universidades con otras más parecidas entre sí, de manera de hacer política pública con mayor precisión. No obstante, las clasificaciones taxonómicas también presentan una serie de desafíos que deben ser tomados en cuenta en futuras investigaciones o por parte de los elaboradores de política pública que lleven a cabo propuestas como esta. Un desafío relevante, por ejemplo, es la selección de variables, ya que estas pueden generar incentivos tanto positivos como negativos en las IES. Otro desafío relevante es lograr un balance adecuado entre estabilidad temporal y dinamismo, de manera que existan certezas financieras en el mediano y largo plazo, pero también de forma que exista la posibilidad de que una IES sea clasificada en un grupo distinto eventualmente.

Dentro de las limitaciones de este artículo se encuentra la selección de variables, elemento complejo y esencial para una clasificación taxonómica. Por ello se utilizó PCA para evitar un sesgo en su selección. Con todo, solo se usaron variables que ya contaban con datos disponibles, por lo que existen otras que hubiese sido valioso incorporar que no fueron consideradas por falta de datos. Algunos de los ejemplos más relevantes son: vinculación con el medio, equidad de género, digitalización y medio ambiente, entre otras, que esta investigación no pudo abarcar debido a la inexistencia de indicadores comparables de las diferentes universidades.¹⁶ Otra limitante es la determinación de indicadores de calidad de investigación. Así, aunque en esta investigación se utilizó como proxy el factor de impacto de las revistas donde fueron publicados los artículos (JIF), existe un sesgo en este indicador hacia ciertas áreas del conocimiento. Próximas investigaciones podrían utilizar el mismo criterio de calidad que utiliza la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), combinando indicadores de acuerdo al área de conocimiento de cada artículo, para evitar este sesgo.

Finalmente, es necesario destacar que este artículo busca presentar un sistema de clasificación taxonómica de universidades, comparando sus resultados con la clasificación actual y tratando de fortalecer la evidencia teórica y empírica existente en la materia. Con todo, en ningún caso se propone que toda la distribución de recursos se base en la clasificación desarrollada, ya que imponer consecuencias sobre la base de un sistema taxonómico por resultados, a pesar de conseguir mayor homogeneidad y adecuada flexibilidad temporal, puede generar otros problemas. En particular, puede llegar a reducir el proyecto institucional a ciertas variables medibles, perdiendo de vista otros aportes que no son fácilmente cuantificables. Por lo mismo, la clasificación de universidades debe ser extremadamente cuidadosa para evitar la homogeneización de las mismas. Otro peligro es que se confunda clasificación con *ranking* (Bernasconi 2006). La clasificación propuesta no pretende ser un *ranking* de instituciones, solo busca crear grupos más homogéneos.

¹⁶ Sobre indicadores que pueden ser considerados, véase D'Este, Castro y Molas-Gallart (2014).

Bibliografía

- Abbott, M. y Doucouliagos, C. 2003. The Efficiency of Australian Universities: A Data Envelopment Analysis. *Economics of Education Review* 22(1), 89-97.
- Acción Educar 2020. *Proyecto de ley de presupuesto 2021: Distribución de gasto en Educación Superior*. Disponible en: <https://accioneducar.cl/proyecto-de-ley-de-presupuesto-2021-distribucion-del-gasto-en-educacion/> [25 de mayo 2021].
- Améstica, L., Gaete, H. y Llinas-Audet, X. 2014. Segmentation and Classification of Universities in Chile: Disadvantages from the Start and Effects of Public Financing Policies. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería* 22(3), 384-397. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000300009>.
- Athanassopoulos, A. y Shale, E. 1997. Assessing the Comparative Efficiency of Higher Education Institutions in the UK by Means of Data Envelopment Analysis. *Education Economics* 5(2), 117-134.
- Barnett, R. 1992. *Improving Higher Education: Total Quality Care*. Buckingham: The Society for Research into Higher Education and Open University Press.
- Barroilhet, A. 2019. Problemas estructurales de la acreditación de la educación superior en Chile: 2006-2012. *Pedagogía Universitaria y Didáctica del Derecho* 6(1), 43-78. DOI: <https://doi.org/10.5354/0719-5885.2019.53745>.
- Bernasconi, A. 2006. La difícil tarea de clasificar universidades. *Calidad en la Educación* 25, 81-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.31619/caledu.n25.254>.
- Bernasconi, A. y Rojas, F. 2002. AFI: un aporte a la calidad. *Calidad en la Educación* 17, 109-143. DOI: <https://doi.org/10.31619/caledu.n17.410>.
- Boliver, V. 2015. Are there Distinctive Clusters of Higher and Lower Status Universities in the UK? *Oxford Review of Education* 41(5), 608-627.
- Brunner, J.J. 2009. Tipología y características de las universidades chilenas. Documento para comentarios. Disponible en: http://200.6.99.248/~bru487cl/files/2009/02/post_116.html [5 de enero 2020].
- Brunner, J.J. 2013. Sobre la clasificación de universidades. *Pensamiento Educativo: Revista de Investigación Educativa Latinoamericana* 50, 115-129. DOI: 10.7764/PEL.50.1.2013.9.
- Brunner, J.J., Elacqua, G., Tillett, A., Bonnefoy, J., González, S., Pacheco, P. y Salazar, F. 2005. *Guiar el mercado. Informe sobre la educación superior en Chile*. Santiago: Universidad Adolfo Ibáñez.
- Capel, A. 2005. Cambios en el sistema de educación superior y sus efectos en la gestión financiera. *Calidad en la Educación* 22, 283-328. DOI: <https://doi.org/10.31619/caledu.n22.316>.
- Congreso Nacional de Chile 1954. Ley N° 11.575 crea el consejo de rectores de universidades chilenas, Ministerio de Hacienda. Agosto 14 de 1954. Disponible en: www.leychile.cl/Navegar?idNorma=26714 [25 de mayo 2021].
- Congreso Nacional de Chile 1954. Decreto con Fuerza de Ley N° 4 fija normas sobre financiamiento de las universidades, Ministerio de Educación Pública. Agosto 14 de 1954. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=3621> [25 de mayo 2021].
- D'Este, P., Castro, E. y Molas-Gallart, J. 2014. Manual de indicadores de vinculación de la universidad con el entorno socioeconómico: un marco para la discusión. Manual de Valencia. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1202.2884>.
- Ding, C. y He, X. 2004. Cluster Structure of K-means Clustering Via Principal Component Analysis (1-29). En Brodley, C. (ed.), *ICML '04: Proceedings of the Twenty-*

- first International Conference on Machine Learning*. New York: Association for Computing Machinery. DOI: <https://doi.org/10.1145/1015330.1015408>.
- Feranecová, A. y Krigovská, A. 2016. Measuring the Performance of Universities through Cluster Analysis and the Use of Financial Ratio Indexes. *Economics and Sociology* 9(4), 259-271.
- Flegg, A.T., Allen, D.O., Field, K. y Thurlow, T.W. 2004. Measuring the Efficiency and Productivity of British Universities: An Application of DEA and the Malmquist Approach. *Education Economics* 12(3), 231-249.
- Hayes, A.F. y Krippendorff, K. 2007. Answering the Call for a Standard Reliability Measure for Coding Data. *Communication Methods and Measures* 1(1), 77-89. DOI: <https://doi.org/10.1080/19312450709336664>.
- Johnes, J. y Johnes, G. 1995. Research Funding and Performance in UK University Departments of Economics: A Frontier Analysis. *Economics of Education Review* 14(3), 301-314.
- Jongbloed, B. y Vossensteyn, H. 2001. Keeping Up Performances: An International Survey of Performance-based Funding in Higher Education. *Journal of Higher Education Policy and Management* 23(2), 127-145.
- Keller, H., Möllering, H., Schneider, T. y Yalame, H. 2021. Balancing Quality and Efficiency in Private Clustering with Affinity Propagation. SECRIPT 2021, International Conference on Security and Cryptography. Lieusant-Paris, France.
- Krippendorff, K. 2004. *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Lavados, H., Durán, A., Espinoza, O. y González, L. 2016. Propuesta de una categorización de universidades para facilitar la generación de políticas de educación superior efectivas en Chile. *Estudios Sociales* 124, 135-160.
- López, D.A., Rojas, M.J., López, B.A. y Espinoza, O. 2019. Quality Assurance and the Classification of Universities: The Case of Chile. *Quality Assurance in Education* 28(1), 33-48. DOI: <https://doi.org/10.1108/QAE-05-2019-0051>.
- Manochandar, S., Punniyamoorthy, M. y Jeyachitra, R.K. 2020. Development of New Seed with Modified Validity Measures for K-means Clustering. *Computers & Industrial Engineering* 141, 106-290.
- Marginson, S. 1995. Universities and the New Perpetual Motion. *Campus Review* 5(47), 8-9.
- Méndez, J.C. 1996. Análisis del sistema de financiamiento de la educación superior. *Estudios Públicos* 61, 309-346. Disponible en: https://www.cepchile.cl/cep/site/artic/20160303/asocfile/20160303184458/rev61_mendez.pdf [5 de octubre 2022].
- Milligan, G.W. y Cooper, M.C. 1988. A Study of Standardization of Variables in Cluster Analysis. *Journal of Classification* 5(2), 181-204. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01897163>.
- Mondaca, C., Lopatinsky, J., Montecinos, A. y Rojas-Mora, J. 2019. Medición del nivel de desarrollo de las universidades chilenas: un análisis con modelos de ecuaciones estructurales. *Calidad en la Educación* 50, 284-318.
- Müller, H. y Hamm, U. 2014. Stability of Market Segmentation with Cluster Analysis - A Methodological Approach. *Food Quality and Preference* 34, 70-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.12.004>.
- Muñoz, M. y Blanco, C. 2013. Una taxonomía de las universidades chilenas. *Calidad en la Educación* 38, 181-213. DOI: <https://doi.org/10.31619/caledu.n38.109>.
- OECD 2020. *Resourcing Higher Education: Challenges, Choices and Consequences, Higher Education*. Paris: OECD Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1787/735e1f44-en>.

- Palomares-Montero, D. 2010. Fuzzy Cluster Analysis on Spanish Public Universities. XIX Jornadas de la Asociación de Economía de la Educación. Zaragoza, España.
- Parada, J. 2010. Universidades públicas y privadas: un enfoque tridimensional. *Estudios Públicos* 120. Disponible en: <https://www.cepchile.cl/universidades-publicas-y-privadas-un-enfoque-tridimensional/cep/2016-03-04/095425.html>.
- Punj, G. y Stewart, D.W. 1983. Cluster Analysis in Marketing Research: Review and Suggestions for Application. *Journal of Marketing Research* 20(2), 134. DOI: <https://doi.org/10.2307/3151680>.
- Ramírez, Z., Barrachina, M. y Ripoll, V. 2020. Eficiencia en la educación superior. Estudio empírico en universidades públicas de Colombia y España. *Revista de Administração Pública* 54(3), 468-500.
- Reyes, C. y Rosso, P. 2012. Una nueva clasificación de las universidades chilenas. *Clasificación de Instituciones de Educación Superior* 2, 135-151.
- Rodríguez-Ponce, E., Gaete, H., Pedraja-Rejas, L. y Araneda-Guirriman, C. 2015. Una aproximación a la clasificación de las universidades chilenas. *Revista Chilena de Ingeniería* 23(5), 328-340.
- Salas, V., Gaymer, M. y Morales, C. 2018. Notas sobre universidades docentes en Chile. Observatorio de políticas públicas en educación superior. Universidad de Santiago de Chile. Disponible en: [bhttps://fae.usach.cl/fae/docs/observatorioPP/Minuta10.pdf](https://fae.usach.cl/fae/docs/observatorioPP/Minuta10.pdf).
- Sharma, S. 1996. *Applied Multivariate Techniques*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Taylor, J. 2001. The Impact of Performance Indicators on the Work of University Academics: Evidence from Australian Universities. *Higher Education Quarterly* 55(1), 42-61. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-2273.00173>.
- Torres, R. y Zenteno, E. 2011. El sistema de educación superior. Una mirada a las instituciones y sus características (13-72). En Jiménez, M. y Lagos, F. (eds.), *Nueva Geografía de la Educación Superior y de los Estudiantes. Una cartografía del sistema chileno, su actual alumnado y sus principales tendencias*. Santiago: Fundación Aequalis, Ediciones Universidad San Sebastián.
- Torres-Samuel, M., Vásquez, C.L., Cardozo, M.L., Bucci, N., Vilorio, A. y Cabrera, D. 2019. Clustering of Top 50 Latin American Universities in SIR, QS, ARWU, and Webometrics Rankings. *Procedia Computer Science* 160, 467-472.
- Ulrichsen, T.C. 2018. Knowledge Exchange Framework Metrics: A Cluster Analysis of Higher Education Institutions. Disponible en <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20200923112554/https://re.ukri.org/news-opinions-events/news/research-england-publishes-first-kef-documents-ahead-of-consultation/> [17 de octubre 2022].
- Ward, J.H., Jr. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association* 58, 236-244.
- Worthington, A. y Lee, B.I. 2008. Efficiency, Technology and Productivity Change in Australian Universities, 1998-2003. *Economics of Education Review* 27, 285-298.
- Yamasari, Y. et al. 2020. Identifying Dominant Characteristics of Students' Cognitive Domain on Clustering-based Methods. *International Journal of Intelligent Engineering & Systems* 13, 167-180.
- Ziegele, F. 2013. Classification of Higher Education Institutions: The European Case. *Pensamiento Educativo* 50, 76-95.
- Zhu, C., Idemudia, C. y Feng, W. 2019. Improved Logistic Regression Model for Diabetes Prediction by Integrating PCA and K-means Techniques. *Informatics in Medicine Unlocked* 17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2019.100179>. EP

Ensayo

Ensayo

El fondo cósmico de microondas y la contribución de Chile a la revolución cosmológica contemporánea

Rolando Dünner

Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

RESUMEN: Si bien la cosmología ha inspirado desde siempre al ser humano en su búsqueda existencial y física, no fue sino hasta comienzos del siglo XX que se contó con una teoría capaz de dar sentido físico al universo como un todo, requiriéndose otro siglo más de desarrollos tecnológicos para alcanzar un modelo extraordinariamente preciso de su origen, composición y evolución. Es así como, a partir de la Teoría de la Relatividad de Einstein y del descubrimiento de la expansión del universo por Hubble, nace la hipótesis de un origen explosivo y caliente cuya radiación fósil seguiría presente hoy, sirviendo de testigo clave de estos primeros instantes. El posterior descubrimiento y fina medición de la radiación del fondo cósmico de microondas ha sido uno de los éxitos más formidables de la ciencia moderna, permitiéndonos contar por fin con un modelo extremadamente preciso de los aspectos fundamentales de nuestro universo. En este ensayo se desarrollan las principales ideas, modelos físicos y descubrimientos que hicieron esto posible, siguiendo una línea cronológica hasta llegar a los últimos experimentos que terminaron por concretar esta revolución en la con-

ROLANDO DÜNNER es PhD en Astrofísica por la Pontificia Universidad Católica de Chile, magíster en Física e ingeniero civil electricista de la misma institución. Director del Centro de Astroingeniería UC y profesor asociado del Instituto de Astrofísica de la Pontificia Universidad Católica de Chile y del Centro de Astrofísica y Tecnologías Afines, Chile. Su investigación doctoral fue realizada en Princeton University, en el desarrollo del experimento Atacama Cosmology Telescope. Dirección: Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, Chile, CP7820436. Email: rdunnerp@uc.cl.

Este ensayo fue financiado por los proyectos BASAL-CATA FB210003 y Fondef ID21110236. El autor agradece los comentarios de los *reviewers* y editores.

cepción cosmológica humana, donde Chile ocupa un rol fundamental gracias a las inigualables condiciones que posee para este tipo de observaciones astronómicas.

PALABRAS CLAVE: cosmología, fondo cósmico de microondas, astronomía, observatorios, Chajnantor

RECIBIDO: diciembre 2021 / ACEPTADO: septiembre 2022

The Cosmic Microwave Background and Chile's Contribution to the Revolution of Contemporary Cosmology

ABSTRACT: Although cosmology has always inspired human beings in their existential and physical search, it was not until the beginning of the 20th century that there was a theory capable of giving physical meaning to the universe as a whole, requiring another century of technological developments to achieve an extraordinarily precise model of its origin, composition and evolution. This is how, from Einstein's Theory of Relativity and the discovery of the expansion of the Universe by Hubble, the hypothesis of an explosive and hot origin whose fossil radiation would still be present today was born, serving as a key witness of these first moments. The subsequent discovery and fine measurement of the cosmic microwave background radiation has been one of the most formidable successes of modern science, allowing us to have at last an extremely accurate model of the fundamental aspects of our universe. In this essay the main ideas, physical models and discoveries that made this possible are developed, following a chronological line until reaching the last experiments that ended up concretizing this revolution in the human cosmological conception, where Chile occupies a fundamental role thanks to the incomparable conditions it possesses for this type of astronomical observations.

KEYWORDS: cosmology, cosmic microwave background (CMB), astronomy, observatories, Chajnantor

RECEIVED: December 2021 / ACCEPTED: September 2022

El interés por la cosmología nació el día en que el ser humano se detuvo por primera vez a pensar sobre su propia existencia. Preguntas fundamentales como el origen del cielo y de la tierra, de los seres vivos y de las estrellas, de la luz y del tiempo, son preguntas cosmológicas que han acompañado a todas las civilizaciones humanas que conocemos, quedando plasmadas en su arte, literatura y religión.

Por siglos la ciencia intentó contestar estas preguntas, sumando pequeños pero progresivos avances en la monumental tarea de descifrar el universo. Fue recién con la invención del telescopio, en el siglo XVII,

que Galileo nos abrió las puertas del cosmos, demostrando que la Tierra no era más que otro planeta del sistema solar, rodeado de millones de otros soles que llamamos estrellas. Desde entonces la cosmología ha tenido un desarrollo explosivo, orquestado sobre los grandes avances en matemáticas, física y astronomía, y solo posible gracias al desarrollo de la tecnología y la industria.

Es así como en el siglo XVII Newton nos iluminó respecto del movimiento de los astros con su Teoría de Gravitación Universal, describiendo el universo como un escenario infinito y eterno, donde los cuerpos se desplazan gobernados por la fuerza de gravedad, siempre atractiva e inversamente proporcional a la distancia entre ellos. Las leyes de Newton fueron extremadamente exitosas en modelar los fenómenos físicos, tanto en la tierra como en el espacio, sentando las bases sobre las cuales se fundan la tecnología e industria modernas. No obstante, la visión cosmológica de Newton sufre un conflicto inquietante, ya que un universo dominado por una fuerza atractiva de largo alcance debiera colapsar sobre sí mismo pasado suficiente tiempo, poniendo en duda su aparente eternidad. Por su parte, si bien Newton se imagina el espacio como un escenario inmutable dentro del cual se materializan los objetos físicos, los principios de relatividad galileana —sobre los que se funda esta teoría— descartan la existencia de un marco de referencia universal, coartando la posibilidad de otorgar coordenadas a dicho espacio vacío. En otras palabras, no es posible determinar el marco de referencia del espacio mismo, perdiendo este su condición de escenario universal.

Tuvieron que pasar trescientos años para que un joven Albert Einstein sentara las bases de la cosmología moderna a comienzos del siglo XX con su Teoría de la Relatividad General. Basándose en los avances del electromagnetismo de Maxwell, quien identificó la luz como una onda electromagnética, y dado el paradójico hecho de que su velocidad en el vacío parece no depender del movimiento del observador, tuvo la audaz y brillante idea de que la velocidad de la luz debía ser constante y la misma para todo observador. En otras palabras, convirtió la velocidad de la luz en una propiedad de la física misma, en una constante universal. Sumado al principio de que las leyes de la física deben ser las mismas para todo observador, construyó su Teoría de la Relatividad. Las implicancias conceptuales de esta teoría son profundas y alucinantes, cambiando para siempre nuestra concepción del espacio y del tiempo. De partida,

rompe para siempre con el relativismo galileano, ya que la velocidad relativa de los cuerpos deja de ser una suma directa, debiendo adaptarse para que distintos observadores puedan ver un rayo de luz desplazarse a la misma velocidad. La única manera de conseguir esto es aceptando que el espacio y el tiempo se vuelvan maleables, pudiendo contraerse o dilatarse en función de la velocidad del observador, haciendo que distintos observadores midan distancias y tiempos diferentes entre pares de sucesos. Con esto, el espacio y el tiempo se funden en un nuevo concepto llamado espacio-tiempo. Estas transformaciones espacio-temporales implican además que ningún observador pueda moverse más rápido que la luz, imponiendo un límite físico a la transmisión de la información por el espacio-tiempo. De pronto, el escenario rígido de Newton da paso a un espacio-tiempo maleable y fluido, donde cada observador experimenta el universo desde su propia perspectiva particular y limitada.

Pero la Teoría de la Relatividad no se limita a describir procesos cinemáticos, sino que se extiende a la dinámica y a la gravitación. Para esto Einstein nota que observadores en caída libre son indistinguibles entre sí, provistos de la evidencia de que ninguno percibe fuerzas gravitatorias actuando sobre ellos. Esto se conoce como 'principio de equivalencia'. Por ejemplo, un observador que cae libremente dentro de un ascensor no tiene forma de saber si está cayendo a la Tierra o flotando por el espacio exterior. Dado que el segundo caso corresponde a un estado inercial galileano (movimiento rectilíneo uniforme), Einstein redefine la caída libre como el nuevo estado inercial. Del mismo modo nota que un cuerpo que acelera uniformemente es indistinguible de otro sometido a una fuerza gravitatoria constante. En otras palabras, un astronauta dentro de una nave que acelera uniformemente no tiene forma de saber si está viajando por el espacio o si está detenido en su base en la Tierra, en vista de que la aceleración corresponda a la aceleración de gravedad $g = 9,8\text{m/s}^2$. En conclusión, un observador 'quieto' en el espacio, pero sometido a fuerzas gravitatorias (por ejemplo parado sobre la Tierra), no se encontraría en un estado inercial, sino que su estado espacio-temporal correspondería al de un observador acelerado. Esta nueva interpretación del movimiento acelerado marca un cambio conceptual profundo, reuniendo definitivamente al espacio y al tiempo en el concepto inseparable de espacio-tiempo, e incorporando a la gravedad (y con ello a la materia) dentro de la amalgama espacio-temporal.

Desde un punto de vista geométrico, y bajo el contexto de que las medidas espaciales y temporales entre pares de eventos dependen de la velocidad del observador, un observador acelerado experimenta un espacio-tiempo curvo, ya que los tamaños y duraciones cambian en la medida en que acelera. Si incorporamos a esto el hecho de que un observador parado en un campo gravitatorio se encuentra acelerado, podemos concluir que dicho observador también experimentará un espacio-tiempo curvo. Einstein interpreta esto afirmando que la gravedad no es más que la curvatura del espacio-tiempo inducida por la masa (o energía) presente.

Los cuerpos libres de fuerzas gravitatorias se moverían entonces por los caminos de menor curvatura posible dentro del espacio-tiempo curvo, llamadas geodésicas espacio-temporales. Estas describirían el movimiento de los astros, como por ejemplo las órbitas de los planetas en torno al sol. Del mismo modo, los rayos de luz trazarían geodésicas especiales, llamadas de intervalo nulo, definiendo con ello la geometría del espacio-tiempo. La fuerza de gravedad es degradada entonces a la aceleración necesaria para permanecer en un punto fijo de un espacio curvo, como ocurre por ejemplo con un observador parado sobre la Tierra.

El modelo cosmológico actual nace de esta nueva concepción del espacio-tiempo. El escenario vacío de Newton es reemplazado por un espacio-tiempo dinámico modelado por la distribución de materia, dibujado por los rayos de luz y limitado por su velocidad en el vacío. El observador adquiere un rol fundamental en establecer las relaciones espacio-temporales entre los eventos físicos, restringiendo su dominio al universo observable, definido como el conjunto de todos los eventos posibles de ser conectados causalmente bajo las restricciones impuestas por la luz. El universo infinito y eterno da paso a uno parcial y relativo.

Basados en la recientemente publicada Teoría de la Relatividad General, en la década de 1920, y en forma casi simultánea, Alexander Friedmann, Georges Lemaître, Howard P. Robertson y Arthur G. Walker propusieron soluciones a las ecuaciones de Einstein aplicables al universo en su conjunto, bajo el supuesto de que este era homogéneo e isotrópico a gran escala,¹ lo cual se conoce como principio cosmológico. A esta se la

¹ La condición de homogeneidad e isotropía a gran escala hace referencia a que, en el primer caso, recorrido suficiente camino en cierta dirección, el universo pareciera conservar sus propiedades físicas, tales como la cantidad, distribución y estado de materia, y en el segundo, que dicha situación se repite en cualquier dirección que se decida avanzar.

conoce como métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW). Una propiedad inquietante de estas soluciones es que predicen que el estado natural del universo no es estático, como dictaba la intuición imperante, sino dinámico, pudiendo estar en expansión o contracción. Pronto esta hipótesis sería corroborada gracias a las observaciones de galaxias de Edwin Hubble, quien en 1929 demostró que estas se alejaban a una velocidad proporcional a su distancia a nosotros. Dado que en un universo relativista no existe un punto de vista preferente, la conclusión fue que el universo se expandía en todas direcciones sin centro específico. Se debe remarcar que no se trata de galaxias moviéndose por un escenario vacío, como habría sido la interpretación newtoniana, sino que es el espacio mismo el que se expande llevando consigo a la materia. Las galaxias flotan en su sitio, libres de fuerzas en un espacio en expansión. El espacio-tiempo es dinámico, y el universo también.

La ley de Hubble relaciona la velocidad de recesión (v) con la distancia (d) según la ecuación

$$v = H d, \quad (1)$$

donde H es la constante de Hubble, la cual es además libre de evolucionar transcurridos tiempos cosmológicos.

Pero un universo que se expande tendría que haber sido más pequeño y denso en el pasado, convergiendo a un instante inicial de densidad infinita. La Teoría del Átomo Primordial, propuesta por Lemaître en 1930 (Lemaître 1931), hoy conocida como la Teoría del Big Bang, supone que todo lo existente, incluyendo el espacio y el tiempo, se originaron a partir de dicho estado inicial extremo, limitando con ello la edad y tamaño del universo observable.

La evolución del universo (espacio-tiempo) depende de su contenido energético. Las ecuaciones de Einstein pueden ser resueltas para el caso de un universo compuesto de una mezcla de distintos componentes, incluyendo materia (oscura y bariónica), radiación y energía oscura. Las ecuaciones de Friedmann describen la evolución de la escala del universo en función de la densidad y presión que ejercen estos componentes sobre el universo. Parametrizando en función de la densidad de energía de estos componentes hoy, la constante de Hubble puede ser escrita en función de la escala como

$$H^2 = H_0^2 [\Omega_r a^{-4} + \Omega_m a^{-3} + \Omega_k a^{-2} + \Omega_\Lambda], \quad (2)$$

donde Ω_r , Ω_m , Ω_k y Ω_Λ son la densidad actual de energía del universo contenida en la radiación, materia, curvatura y energía oscura (constante cosmológica), respectivamente; a es el factor de escala y H_0 es la constante Hubble actual. Si consideramos que estos son todos los componentes relevantes, entonces se debe cumplir que

$$\Omega_r + \Omega_m + \Omega_k + \Omega_\Lambda = 1. \quad (3)$$

Es interesante notar que, a medida que el universo se expande, la ponderación de los distintos componentes cambia según el exponente que acompaña al factor de escala. De este modo, cuando a es chico, el universo está dominado por la radiación, pero a medida que se expande empieza a ser dominado por la materia, luego por la curvatura,² y finalmente por la energía oscura, la cual es independiente de la escala. Por consiguiente, la expansión de un universo suficientemente grande estará dominada exclusivamente por la constante cosmológica, estando condenado a expandirse exponencialmente y sin límite conocido.

La determinación de estos parámetros cosmológicos permite conocer la historia evolutiva del cosmos, la cual está dominada por su expansión y consiguiente dilución de sus componentes energéticos. En cada etapa de esta evolución se desarrollan distintos procesos físicos, partiendo por la formación de los elementos químicos primordiales, la radiación de fondo cósmico, la formación de las primeras estrellas y galaxias, el enriquecimiento químico liderado por supernovas y eventos energéticos, y la formación de planetas, algunos habitables. Combinado entonces con otros modelos astrofísicos, hoy podemos narrar por fin la historia del universo y de las condiciones que dieron origen a la vida.

La Teoría del Universo en Expansión tardó varias décadas en ser aceptada, requiriendo de un conjunto aplastante de evidencia científica, así como la adición de nuevos componentes como la materia y energía oscuras, para producir lo que hoy se conoce como 'modelo estándar de la cosmología'. Este es uno de los modelos más exitosos de la física moderna, entregando una visión consistente de una diversidad de fenómenos

² Bajo el contexto de la Teoría de la Relatividad General, la curvatura puede ser identificada como una forma de energía, toda vez que la energía curva el espacio.

físicos que parte desde los primeros instantes del universo (posteriores al Big Bang) y satisfaciendo múltiples predicciones a través de observaciones independientes entre sí.

En este ensayo nuestro foco estará puesto en el descubrimiento y posterior medición detallada del fondo cósmico de microondas (CMB, por su sigla en inglés) (1). Para ello nos concentraremos en las investigaciones que han permitido construir un modelo cosmológico de alta precisión (2), así como en aquellos aspectos que aún faltan por dilucidar. Por último, nos referiremos al rol fundamental que cumple Chile para estos objetivos (3).

I. Fondo cósmico de microondas (CMB)

A partir de la década de 1930 se debatieron distintas visiones sobre el modelo cosmológico. Si bien se había demostrado que el universo estaba en expansión, los modelos estáticos subsistían basados en ideas no conservativas de energía. De acuerdo a estos modelos, el espacio dejado por la expansión se estaría llenando continuamente con nueva materia para la formación de estrellas y galaxias, manteniendo la densidad promedio constante (Bondi y Gold 1948; Hoyle 1948). La materia nueva aportaría el combustible necesario para mantener una provisión de estrellas brillando eternamente. Otra idea importante era la de un universo oscilante, el cual experimentaría fases sucesivas de expansión y contracción, 'rebotando' entre estados de máxima compresión (Lemaître 1933; Tolman 1934). Los modelos basados en un Big Bang se diferenciaban de los modelos estacionarios en cuanto a que las galaxias lejanas debían ser necesariamente más jóvenes que las cercanas, mientras que el modelo estacionario predecía una proporción constante de galaxias viejas y jóvenes a toda distancia. Pero la principal diferencia era que los modelos no estacionarios predecían un baño de radiación de microondas remanente de sus estados de máxima compresión, lo cual no podía ser predicho por los modelos estacionarios. Esta sería la clave para resolver el dilema.

Descubrimiento

Cuando Lemaître (1931) propuso la idea del átomo primordial, la posibilidad de detectar una señal proveniente de este estado inicial era remota. La principal razón era que la tremenda expansión experimentada por el universo desde entonces habría enfriado enormemente cualquier ra-

diación primordial,³ efecto conocido como corrimiento al rojo o efecto Doppler, haciendo la señal indetectable para la tecnología de la época.

Anecdóticamente, esto no era totalmente cierto. El baño térmico provisto por la radiación de fondo es capaz de calentar el gas interestelar, dejando huellas visibles en las líneas de absorción⁴ de cianuro (CN). Es así como en 1941, A. McKellar observó que las líneas de absorción de CN interestelar delataban una temperatura de *spin* superior a la esperable, producto de simples colisiones entre partículas. McKellar (1941) estimó una temperatura de 2,3 grados Kelvin, pero no pudo dar con una explicación física, atribuyendo el resultado a posibles efectos físicos locales que aumentaban las colisiones, pero no les dio mucha importancia.

En 1948, Ralph Alpher y Robert Herman (1948, 1950) se basaron en los resultados de Gamow (1942) sobre síntesis de Helio a partir de Hidrógeno en el universo temprano para concluir que el Big Bang tendría que haber dejado una radiación remanente, cuya temperatura rondaría hoy entre los 5 y los 28 grados Kelvin producto de la expansión. Dicha teoría durmió en relativo desconocimiento por una década y, si bien hoy reconocemos que hubo indicios experimentales de su existencia durante los años cincuenta, estos no fueron atribuidos a un origen cosmológico (ver Peebles et al. 2010).

La teoría adquirió verdadera relevancia en la década de 1960, cuando fue redescubierta por científicos como Robert H. Dicke, quien se propuso buscar evidencia experimental para demostrar modelos de universo cíclico. Los esfuerzos experimentales de Dicke, en Princeton, se basaban en un instrumento diseñado por él en 1946, el radiómetro de Dicke, el cual fue desarrollado originalmente para estudiar las propiedades de la atmósfera en bandas de microondas para aplicaciones de radares militares. El instrumento tenía la capacidad de discriminar eficientemente el ruido del receptor, alternando constantemente entre el cielo y una fuente de calibración fría, funcionando a temperaturas criogénicas de 4 grados Kelvin usando helio líquido. El experimento fue construido junto a Peter G. Roll, David T. Wilkinson (conocido por el experimento WMAP,⁵ discutido más adelante) y James E. Peebles, premio Nobel de física 2019 por sus contribuciones a la cosmología.

³ Para una descripción del origen físico de esta radiación primordial, ver la sección 'Descripción física'.

⁴ Las líneas de absorción son bandas angostas oscuras del espectro electromagnético (luz).

El descubrimiento, sin embargo, ocurriría de manera completamente inesperada. A pocos kilómetros de Princeton, en Bell Laboratories, los ingenieros y radioastrónomos Arno A. Penzias y Robert W. Wilson trabajaban incansablemente en la adaptación de una antena de telecomunicaciones ultrasensible para su uso en radioastronomía. La antena había sido construida para explorar las comunicaciones interoceánicas satelitales, como parte de los proyectos Echo y Telstar, el segundo de los cuales dio origen a la primera transmisión de televisión en directo desde Europa a Estados Unidos. Dicho desafío tecnológico motivó el desarrollo de sistemas de alta ganancia y bajo ruido, finamente diseñados para la detección de señales diminutas. Su receptor estaba basado en una nueva tecnología conocida como MASERs de onda viajera, la cual permitía realizar mediciones con una precisión sin precedentes para la época. Tanto este como la fuente de calibración debían ser enfriados a 4 grados Kelvin (-269 grados Celsius) usando helio líquido, siendo un sistema bastante sofisticado. Algo fundamental en este tipo de experimentos es la determinación de todas las fuentes de ruido presentes en la medición, permitiendo con ello caracterizar correctamente tanto el equipo receptor como la fuente de radiación que se busca medir. No obstante, luego de mucha experimentación, todavía se observaba un exceso de ruido que no podía ser explicado por propiedades del instrumento o de la atmósfera. Más aún, el exceso de ruido parecía no depender de la dirección a la cual se apuntara la antena en el cielo, lo cual descartaba además la posibilidad de que proviniera de la Vía Láctea u otro objeto astronómico conocido.

La explicación de esta misteriosa señal llegaría a manos de Penzias de manera fortuita, cuando el astrónomo Bernie Burke le comentó sobre un coloquio al cual había asistido, donde Peebles mostró la existencia de una hipotética radiación proveniente del universo temprano, comparable a los 3,5 grados Kelvin que ellos detectaban, y donde se refería a los intentos experimentales que Dicke estaba desarrollando en Princeton para detectarla. Inmediatamente tomó el teléfono y llamó a Dicke, quien le confirmó sus sospechas, reconociendo con ello haber perdido la carrera por detectar el fondo cósmico de microondas (CMB) por primera vez. Los resultados de Penzias y Wilson fueron publicados en 1964, acompañados de otra publicación liderada por Dicke donde se daba contexto cosmológico al hallazgo (Dicke et al. 1965; Penzias y Wilson 1965). Con

ello se dio inicio a una revolución de la cosmología moderna, confirmando a través de este y otros experimentos la existencia del fondo cósmico de microondas y las teorías del universo en expansión y del Big Bang. Además valieron a Penzias y Wilson el premio Nobel de física en 1978.

La historia del descubrimiento del fondo cósmico de microondas es un claro ejemplo de la relación que existe entre los desarrollos tecnológicos y los resultados científicos. Si bien Dicke tenía la intuición y base teórica correcta, no contaba con la tecnología ni con la experiencia técnica de Penzias y Wilson en Bell Labs, la cual había sido desarrollada con fines completamente ajenos a la cosmología, pero que poseían una sinergia clarísima. La búsqueda libre del saber y del hacer coexisten en una simbiosis virtuosa indispensable para alcanzar descubrimientos insospechados, y son la base del éxito de la sociedad contemporánea.

Descripción física

En los instantes posteriores al Big Bang, concluida una hipotética etapa inflacionaria,⁵ el universo concentraba una enorme energía y temperatura, la cual se diluía y enfriaba constantemente producto de su rápida expansión. Dentro de su primer segundo, el universo redujo su energía desde $\approx 10^{19}$ GeV hasta $\approx 0,5$ MeV, experimentando la formación de las partículas elementales y la aniquilación de la materia con la antimateria hasta alcanzar el contenido de materia actual. Los fotones producidos en este proceso se encontraban en equilibrio térmico con la materia, a excepción de los neutrinos que se habían desacoplado del resto de la materia debido a su baja interacción electromagnética. Luego, cuando el universo tenía entre 3 y 6 minutos de edad, la temperatura disminuyó lo suficiente para que se produjeran reacciones nucleares, sintetizándose helio, deuterio y trazas de berilio y litio, junto a otros isótopos del hidrógeno y del helio. La composición química alcanzada, predicha por primera vez por Gamow (Alpher, Bethe y Gamow 1948; Gamow 1942), ha sido confirmada en base a censos de deuterio y helio encontrados en galaxias. Finalizado este proceso, y por los siguientes cientos de miles de años, materia (principalmente un plasma de núcleos atómicos y electrones libres) y radiación (fotones) permanecieron en equilibrio termodinámico, siempre expandiéndose y enfriándose adiabáticamente

⁵ Ver la sección 'Nuevos desafíos' para una descripción breve de esta etapa inflacionaria.

(sin intercambiar calor con su entorno), formando una verdadera sopa de materia y radiación.

Transcurridos unos 3 mil años, la evolución del universo pasó de estar dominada por la radiación a estarlo por la materia, según se desprende de la ecuación 2, estableciéndose así un nuevo régimen evolutivo modelado por la gravedad. Finalmente, cuando el universo tenía unos 378 mil años, se produjo el cambio que dio origen a la radiación de fondo. Hasta entonces los fotones se habían mantenido en equilibrio con la materia gracias a las continuas interacciones con electrones libres contenidos en el plasma. En estos choques los fotones eran esparcidos en todas direcciones sin poder viajar libremente por el medio, haciéndolo opaco. Pero cuando la temperatura alcanzó unos 3 mil grados Kelvin, la capacidad de disociación de los fotones descendió lo suficiente para permitir que los electrones fueran capturados por los protones, formando hidrógeno neutro, proceso conocido como recombinación. Esto ocurrió bastante rápido, librando a los fotones de la presencia de los molestos electrones libres y permitiéndoles viajar por un universo transparente. El resultado se conoce como la superficie de última dispersión, ya que un observador futuro recibe radiación desde un fondo opaco y brillante formado por fotones emitidos tras su último choque con un electrón del plasma. Al momento de la emisión, esta radiación tenía la temperatura del plasma caliente, pero con el paso del tiempo la expansión la fue enfriando (corriendo al rojo cosmológico), constituyendo hoy el fondo cósmico de microondas, cuya temperatura es unas mil veces menor a cuando fue emitida. Esta radiación fósil nos entrega una imagen instantánea del universo cuando este tenía una edad muy precisa, revelando importantes claves sobre el estado del universo primitivo y sus propiedades físicas. Es equivalente a la 'piedra Rosetta' de la cosmología.

Una de las propiedades más importantes de esta radiación es que es casi perfectamente constante en todas direcciones. Esto es una demostración clarísima del grado de homogeneidad e isotropía del universo, al punto de provocar interrogantes importantes sobre causalidad durante su formación y dando pie a teorías como la de la Inflación, descrita brevemente en la sección 'Nuevos desafíos'. Sin embargo, el CMB no es perfectamente homogéneo: posee pequeñas diferencias de temperatura, del orden de los 100 microkelvin, que se distribuyen por todo el cielo formando un campo gaussiano de fluctuaciones de todas las escalas angu-

lares. Estas diferencias de temperatura están directamente relacionadas con la distribución de la materia en el universo temprano, revelando que existían zonas de mayor o menor densidad y temperatura, constituyendo estas nada menos que las condiciones iniciales para la formación de todas las estructuras de materia que vemos hoy. Una vez desacoplados los fotones de la materia, esta pudo evolucionar libremente producto de la gravedad, colapsando sobre aquellas regiones donde existía una sobredensidad formando estrellas, galaxias y cúmulos de galaxias, y vaciando aquellas regiones de menor densidad para formar grandes vacíos o 'voids'. La estructura de galaxias forma hoy una gran tela de arañas tridimensional, con centros de gran densidad conectados por filamentos de galaxias. Esta distribución ha sido simulada computacionalmente demostrándose su relación con la distribución inicial observada en el CMB (ver, por ejemplo, Springel et al. 2005).

Si bien aquellas regiones donde existía una sobredensidad de materia tenían una temperatura física mayor al momento de emitir la radiación, los fotones de dichas regiones debieron superar un campo gravitatorio mayor para llegar hasta nosotros enfriándose por corrimiento al rojo gravitacional. Esto significa que las regiones más densas corresponden a las zonas frías de la radiación de fondo. El corrimiento al rojo gravitacional es un efecto puramente relativista, por lo que para determinar la relación entre temperatura y densidad es necesario resolver las ecuaciones de Einstein para un rayo de luz que viaja desde el fondo hasta nosotros. Esto fue hecho por primera vez por Sach y Wolfe (1967), conociéndose como efecto Sach-Wolfe integrado.

El mapa en el cielo de fluctuaciones de temperatura codifica la naturaleza e historia del plasma primordial. Su origen se remonta al Big Bang mismo, donde se habrían impreso fluctuaciones de densidad con magnitudes casi constantes, independientemente de su tamaño espacial o escala angular. No obstante, la distribución final observada de dichas fluctuaciones está modelada por la acción de la gravedad y del mismísimo principio de causalidad, descrito por la Teoría de la Relatividad General a través del concepto de 'horizonte de eventos'. Dicho principio determina que dos eventos solo pueden estar relacionados causalmente si es posible conectarlos por un 'mensaje' que viaje a una velocidad menor o igual a la de la luz, c . En otras palabras, que el segundo evento (efecto) se encuentre dentro del cono de luz futuro del primero (causa). El horizonte

de eventos determina, entonces, el límite de la región conectada causalmente a un evento dado. Ahora bien, si el universo comenzó en el Big Bang (tiempo cero), puntos inicialmente distantes habrían permanecido causalmente desconectados hasta que transcurriera suficiente tiempo para ser conectados por un rayo de luz. De este modo, con el tiempo, regiones progresivamente más grandes fueron entrando en 'contacto causal' y por ende volviéndose susceptibles a los efectos gravitacionales de la materia contenida en ellas. A medida que el horizonte de eventos iba creciendo, aquellas regiones (recientemente conectadas) ligeramente más densas que el promedio habrían colapsado gravitacionalmente, comprimiendo el plasma, mientras que regiones de escalas mayores al horizonte habrían permanecido inmutadas a la espera de ser conectadas causalmente. La compresión habría aumentado la tasa de colisiones entre partículas y fotones, aumentando con ello la temperatura y la presión. Eventualmente, la presión habría superado a la gravedad, provocando la consiguiente expansión y enfriamiento, oscilando en lo sucesivo entre momentos de máxima compresión y descompresión.

Dado que regiones de distinto tamaño habrían iniciado este proceso en distintos momentos, el estado de compresión o descompresión en un instante dado dependería de su tamaño, coexistiendo juntos en un campo tridimensional de fluctuaciones de densidad. En cada ciclo, parte de la energía se habría disipado producto del escape de fotones hacia otras regiones, amortiguando las oscilaciones en el tiempo. Eventualmente, este proceso habría terminado con la recombinación del hidrógeno, al cesar la interacción de los fotones con la materia, congelando el estado del universo en ese instante. El espectro de fluctuaciones de temperatura observado muestra entonces el estado de compresión o descompresión de fluctuaciones de distintas escalas en el instante de la recombinación, con máximos para escalas en estados extremos de compresión o descompresión, y mínimos en los estados intermedios. Asimismo, las escalas mayores al horizonte de eventos en el momento de la recombinación, muestran el espectro plano (independiente de escala) original. La Figura 1 muestra dicho espectro medido por el experimento WMAP.

La primera detección de las fluctuaciones de temperatura del fondo cósmico ocurrió el año 1992 gracias al experimento DMR (Smoot et al. 1992), liderado por George Smoot, a bordo del satélite espacial COBE de

la NASA. En la misma nave también iba el experimento FIRAS, liderado por John Mather, el cual midió con exquisita precisión el espectro de la radiación, demostrando que se trataba de un cuerpo negro casi perfecto (Mather et al. 1994). Ambos experimentos demostraron en forma categórica que esta radiación correspondía al brillo remanente del universo temprano, al coincidir perfectamente con las propiedades del plasma primordial, al tiempo de la recombinación del hidrógeno. Por sus hallazgos, Mather y Smoot obtuvieron el Premio Nobel de Física en 2006.

Las fluctuaciones angulares de esta radiación son el resultado de la composición, distribución y estado físico de la materia y energía en el universo temprano, proveyéndonos de la información necesaria para validar o descartar distintos modelos físicos posibles. De su descubrimiento y posterior confirmación, el fondo cósmico de microondas se ha convertido en el santo grial de la cosmología moderna, permitiéndonos por primera vez ofrecer respuestas contundentes a preguntas fundamentales, tales como las dimensiones, edad, composición y destino del universo.

2. Cosmología de precisión

El éxito del satélite COBE (1989-1993) desencadenó una revolución en el área de la cosmología, pasando de ser un área exclusivamente teórica para convertirse en una ciencia experimental. Las mediciones del fondo cósmico de microondas han permitido superar en muchos órdenes de magnitud nuestra capacidad para discernir y explicar la historia del cosmos, junto con incentivar el desarrollo de nuevas tecnologías y superando los límites de lo que creíamos posible.

Grandes éxitos espaciales

Después de COBE debió pasar otra década para que la NASA enviara al espacio el experimento WMAP (2001), destinado a medir nuevamente el campo de fluctuaciones de temperatura del fondo cósmico. El nuevo instrumento mejoraba sustancialmente las propiedades técnicas de su predecesor, permitiendo mediciones más precisas y sobre un mayor número de bandas de frecuencia (5 bandas entre 23 y 94 GHz), con el objetivo de distinguir la contaminación de nuestra galaxia y separarla de la radiación del fondo. Ya a partir de los primeros resultados, publicados en

2003 y mejorados en otras cuatro publicaciones sucesivas,⁶ este experimento produjo una revolución espectacular en nuestra comprensión del universo, revelándose con exquisita precisión (mejor al 1%) propiedades fundamentales como su edad, su forma y su composición, incluyendo la presencia abundante de materia oscura, la omnipresencia de un campo de energía oscura o constante cosmológica (recientemente descubierta a partir de mediciones de la velocidad de expansión del universo mediante supernovas) e hitos fundamentales en su evolución como cuándo surgieron las primeras estrellas y galaxias.

La potencia de este éxito radica en la consolidación del hoy denominado ‘modelo estándar de la cosmología’, el cual permite ajustar, usando tan solo seis parámetros libres, no solo el espectro angular de las fluctuaciones con una precisión impresionante, sino también proveer una base teórica consistente con una multitud de otras evidencias científicas independientes, tales como la velocidad de recesión de galaxias lejanas y la distribución espacial de galaxias en el universo cercano. El modelo estándar, también llamado modelo de materia oscura fría y constante cosmológica (λ CDM por su sigla en inglés), ha sido sometido a una larga lista de pruebas científicas, superándolas todas con un alto grado de certeza estadística. En los últimos años han surgido contadas evidencias que tensionan este modelo, de las cuales hablaré más adelante, pero son todavía incipientes y están lejos de derrumbar la base sólida establecida. En general es posible afirmar que hoy contamos con un modelo extremadamente sólido y preciso que nos permite explicar gran parte de lo que vemos y de lo que somos, lo cual es sin duda uno de los mayores éxitos de la ciencia de nuestros tiempos.

La Figura 1 muestra el espectro angular de las fluctuaciones angulares de temperatura del CMB medidas por WMAP. Cada punto cuantifica la intensidad de las fluctuaciones de un determinado tamaño angular.⁷ La línea roja muestra el ajuste del modelo estándar (λ CDM) a los datos, reproduciendo las observaciones de manera casi perfecta. Siguiendo el formalismo de Hinshaw et al. (2013), los parámetros libres del mode-

⁶ Todos los resultados del experimento WMAP, disponibles en: https://lambda.gsfc.nasa.gov/product/wmap/current/map_bibliography.html [7 de octubre 2022].

⁷ En términos matemáticos, el espectro angular resulta de la descomposición en esféricos armónicos del campo de fluctuaciones —impresos en la esfera celeste—, quedando la escala representada por el parámetro multipolar.

lo son la densidad de materia bariónica ($\Omega_b h^2$), la densidad de materia oscura fría ($\Omega_c h^2$), la densidad de energía oscura (Ω_Λ), la amplitud de las fluctuaciones primordiales (Δ^2_R), el índice espectral de las fluctuaciones primordiales (n_s) y la profundidad óptica de la era de reionización⁸ (τ). El parámetro h se define tal que la tasa de expansión actual del universo $H_0 = 100h \text{ km Mpc}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Combinando los datos del CMB con el valor de H_0 medido usando supernovas en galaxias lejanas, y con el tamaño de las estructuras a gran escala de galaxias en el universo presente modelado por oscilaciones bariónico-acústicas primordiales,⁹ es posible ajustar el modelo con gran precisión. Es así como se concluye, con un alto grado de certeza, entre otras cosas, que vivimos en un universo espacialmente plano a escalas cosmológicas ($\Omega_k = -0,0027^{+0,0039}_{-0,0038}$), cuya expansión acelerada está dominada por la energía oscura ($\Omega_\Lambda = 0,7135^{+0,0095}_{-0,0096}$), donde la mayor parte de la materia es oscura¹⁰ ($\Omega_c h^2 = 0,1153 \pm 0,0019$) y cuyo origen habría sido un Big Bang ocurrido hace $13,750 \pm 0,085$ miles de millones de años. Salvo por Ω_k , para obtener estos valores se ha forzado que el universo sea estrictamente plano y despreciado la contribución energética de la radiación, tal que la ecuación 3 queda $\Omega_b + \Omega_c + \Omega_\Lambda = 1$. Resulta imposible evitar destacar el avance espectacular alcanzado por estos resultados, mejorando en varios órdenes de magnitud la precisión con que conocemos estos parámetros cosmológicos.

La Figura 2 muestra la composición energética del universo hoy, contrastándola con la existente cuando el CMB fue emitido. Destaca el cambio significativo desde un universo primitivo dominado por la materia, donde fotones y neutrinos seguían cumpliendo un rol importante, a

⁸ La era de reionización corresponde al tiempo en que se formaron las primeras estrellas y galaxias, las cuales emitieron un baño de radiación ultravioleta que volvió a ionizar el hidrógeno neutro formado en el proceso de recombinación (y que produjo el CMB), devolviendo cierta opacidad al medio.

⁹ Las oscilaciones bariónico-acústicas son ondas de presión que se habrían originado en el Big Bang y que luego se desplazaron por el universo primitivo hasta ‘congelarse’ junto a la recombinación del hidrógeno. La distancia de viaje de estas oscilaciones habría estado determinada por la velocidad del sonido en el plasma primigenio y la edad del universo en el instante de la recombinación, definiendo una escala preferente a la cual se encontrarían zonas de máxima densidad y compresión. Dicha escala puede ser observada hoy en la distribución de la materia a gran escala del universo, produciendo una distancia preferente entre galaxias de unos 100 Mpc. Esta escala aporta información independiente que contribuye al ajuste de los parámetros cosmológicos.

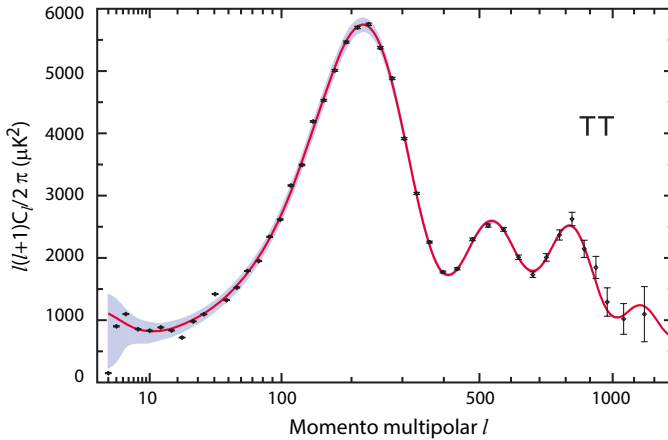
¹⁰ La materia oscura es un tipo hipotético de materia que carece de interacciones electromagnéticas, por lo que no interactuaría con la luz ni con la materia ‘normal’ o bariónica.

un universo dominado por la energía oscura, con un rol decreciente de la materia y el avance ineludible del vacío como ente rector omnipresente. Desde luego, el destino de un universo con estas características es inherentemente vacío. La materia quedará ineludiblemente relegada a universos islas formados por galaxias y grupos de galaxias, físicamente separados y sacados fuera del horizonte cosmológico¹¹ de otros centros masivos. Destaca también el dominio de la materia oscura por sobre la materia normal o bariónica. Si bien la materia oscura fue concebida hipotéticamente para explicar la velocidad de rotación de galaxias espirales (ver De Swart, Bertone y van Dongen 2017; Rubin, Ford y Thonnard 1980; Rubin y Ford 1970), existen muchas otras evidencias de su existencia, tales como la masa en cúmulos de galaxias (primera evidencia en Zwicky 1937), donde el 'Bullet Cluster' es el ejemplo más evidente y espectacular (Markevitch et al. 2004). Las fluctuaciones del CMB son una evidencia independiente de la materia oscura, ya que, al no interactuar esta con la materia bariónica, su presencia modela de manera diferente las oscilaciones del plasma que da origen a la radiación. Al lado derecho de la Figura 2 se muestra la restricción al espacio de parámetros cosmológicos (específicamente la densidad de energía en forma de materia y de energía oscura) impuesta por distintos conjuntos de datos, incluyendo en naranja al CMB; en azul, la expansión del universo medida con supernovas lejanas (SNe); y en verde, la distribución de la materia a gran escala producto de oscilaciones bariónico-acústicas (BAOs). La línea negra indica la condición para un universo plano, tal que $\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$. La coincidencia entre estos tres conjuntos de datos es sin duda elocuente, construyendo contundentemente el espacio de parámetros y forzando la solución a una pequeña región donde el universo es espacialmente plano.

El experimento WMAP abrió las puertas a la era de la cosmología de precisión. Tras él vendría una explosión de experimentos, tanto terrestres, aéreos y espaciales, conducentes a comprobar, mejorar y ampliar estas mediciones y sus resultados.

¹¹ En un universo relativista es posible concebir que la tasa de expansión acelerada sea suficiente para separar distintas regiones a velocidades mayores a la velocidad de la luz, implicando que dichas regiones dejen de estar en contacto causal, al quedar fuera del horizonte cosmológico de la otra.

Figura 1. ESPECTRO DE POTENCIA DE LAS FLUCTUACIONES DE TEMPERATURA AJUSTADO MEDIDO POR WMAP (ENTREGA DE 7 AÑOS). LA CURVA ROJA MUESTRA EL AJUSTE DEL MODELO ESTÁNDAR A LOS DATOS



Fuente: Bennett et al. (2013).

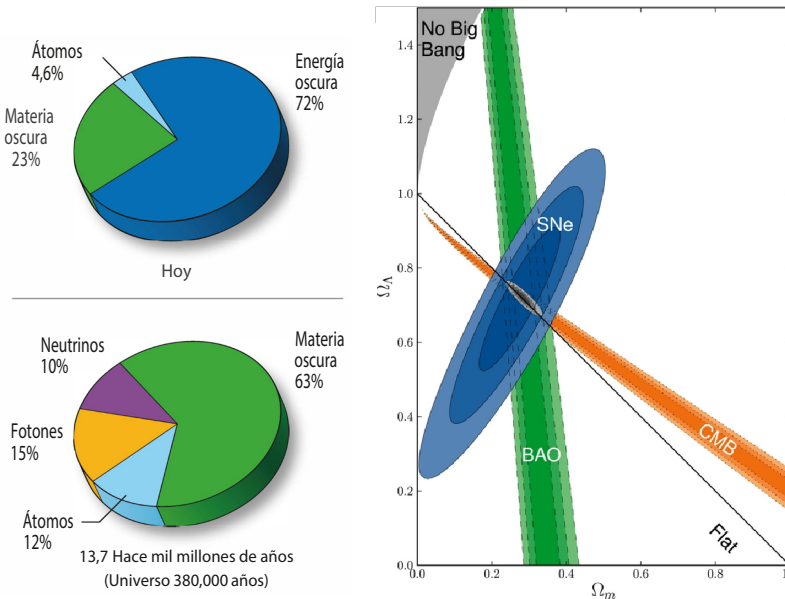
Casi simultáneo a WMAP en su concepción, pero lanzado al espacio recién en 2009, el experimento de la Agencia Espacial Europea (ESA) Planck volvió a medir el CMB sobre todo el cielo, verificando sus resultados y ampliéndolos en muchos aspectos. Entre otras mejoras, aumentó el número de bandas disponibles (nueve bandas entre 27 a 857 GHz), favoreciendo la separación de la señal del CMB de la radiación contaminante de la galaxia, aumentó la resolución angular, permitiendo medir fluctuaciones de escalas angulares más pequeñas, e incorporó la capacidad de medir también la polarización de la radiación,¹² la cual, según veremos más adelante, cumple un rol fundamental en la actualidad.

La Figura 3 muestra un mapa de las fluctuaciones de temperatura sobre toda la esfera celeste. La distribución gaussiana de las fluctuaciones de temperatura produce un campo homogéneo y libre de patrones reconocibles a simple vista, lo cual conocemos coloquialmente como

¹² Siendo la radiación electromagnética (luz) una onda transversal, su polarización corresponde a la orientación del campo eléctrico (o magnético) sobre el plano perpendicular a la dirección de propagación, pudiendo ser lineal, circular o elíptica, dependiendo de la figura que dibuja el vector de campo eléctrico sobre dicho plano en cada ciclo de la onda. La polarización puede ser medida, proveyendo información adicional sobre la naturaleza física de la fuente emisora.

ruido. Sin embargo, y como se observa en el espectro angular de la Figura 1, existen escalas preferentes donde estas ‘manchas’ son más abundantes, con un máximo a escalas cercanas a 1 grado, la cual alcanza a ser visible en este mapa.

Figura 2. IZQUIERDA: GRÁFICOS CIRCULARES EXPRESANDO LA COMPOSICIÓN ENERGÉTICA DEL UNIVERSO AHORA (ARRIBA) Y CUANDO FUERA EMITIDO EL CMB (ABAJO)

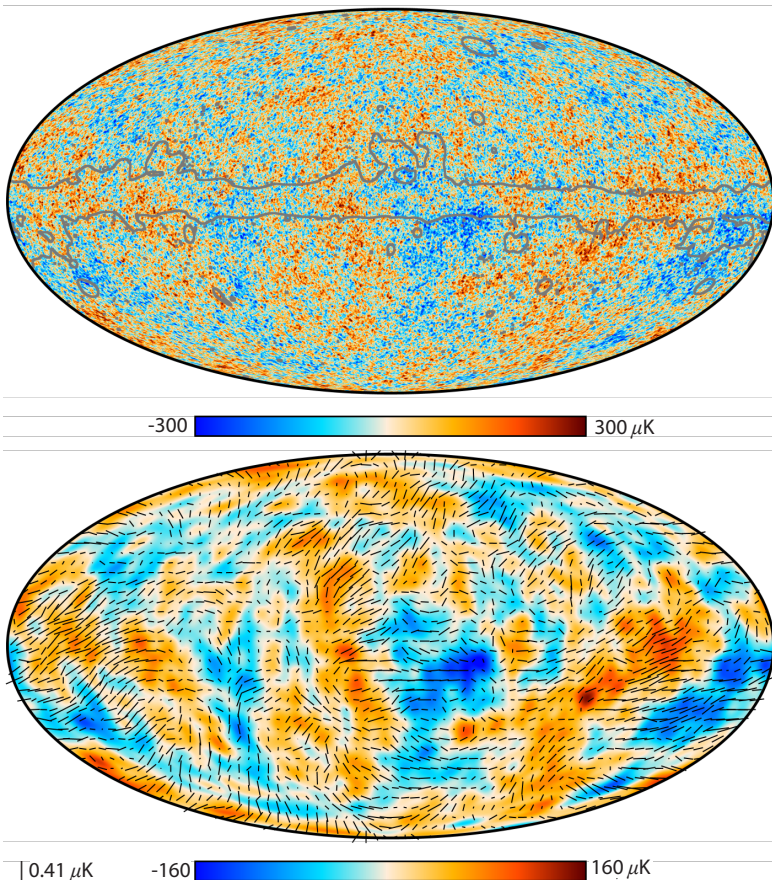


Fuente figura izquierda: <https://wmap.gsfc.nasa.gov/media/080998/index.html>. Derecha: restricción al espacio de parámetros de la densidad de energía de la materia y del vacío (energía oscura), impuesta por la velocidad de expansión del universo, medida con supernovas lejanas (SNe, *Supernova explosion*), por la distribución de galaxias modelada por oscilaciones bariónico-acústicas (BAO) y por la radiación de fondo cósmico de microondas (CMB).

Fuente figura derecha: Suzuki et al. (2012).

Notamos también que la escala de color va de -300 a 300 micro-Kelvin, representando variaciones sobre la temperatura promedio de 2.725 Kelvin. La pequeña amplitud de la señal pone en evidencia el desafío tecnológico que implica medirla correctamente, el cual aumenta significativamente cuando se trata de medir la polarización, cuya amplitud es diez veces menor. Superpuesto al mapa de fluctuaciones, se muestra en gris un contorno que demarca aquellas zonas altamente contaminadas por radiación de nuestra galaxia. Vemos el disco galáctico extendiéndose por el ecuador del mapa, el cual se encuentra

Figura 3. MAPA DE LAS FLUCTUACIONES DE TEMPERATURA (ARRIBA) Y POLARIZACIÓN (ABAJO) DE LA RADIACIÓN DE FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS MEDIDO POR EL EXPERIMENTO PLANCK. LAS ZONAS CALIENTES CORRESPONDEN A REGIONES FRÍAS Y MENOS DENSAS DEL PLASMA PRIMORDIAL, MIENTRAS QUE ZONAS FRÍAS DEL MAPA CORRESPONDEN A REGIONES CALIENTES Y MÁS DENSAS. ESTA INCONSISTENCIA APARENTE SE DEBE A QUE LA RADIACIÓN SE ENFRÍA (CORRIMIENTO AL ROJO) AL SALIR DE LOS POZOS DE POTENCIAL GRAVITATORIO, EFECTO QUE SUPERA A LA MAYOR TEMPERATURA TERMODINÁMICA QUE TIENEN LAS ZONAS MÁS DENSAS, LO CUAL SE CONOCE COMO EFECTO SACHS-WOLFE. LOS CONTORNOS EN GRIS DEMARCAN REGIONES CON ALTA CONTAMINACIÓN GALÁCTICA



Fuente: <https://www.cosmos.esa.int/web/planck/picture-gallery>.

convenientemente expresado en coordenadas galácticas. Si bien gran parte de esta contaminación puede ser removida aprovechando su naturaleza espectral y el uso de múltiples bandas en la medición, el control de sus efectos residuales sigue siendo uno de los desafíos más importantes en el área.

Los resultados de Planck¹³ validaron definitivamente los resultados de WMAP, complementándolos con una larga lista de otros aportes derivados de las observaciones, incluyendo mucha información proveniente de objetos y estructuras ubicadas entre nosotros y el fondo, es decir, de todo el universo observable. Dicha materia produce sombras, luces y distorsiones sobre la señal del fondo que, además de contaminar el CMB, pueden ser reconocidas y estudiadas en forma independiente, revelando fenómenos y propiedades astrofísicas nunca antes vistas. Un ejemplo importante es el campo de distorsiones por lentes gravitacionales débiles producidas por la distribución de la materia a gran escala, las cuales pueden correlacionarse con la distribución de galaxias observables y potencialmente permitir reconstruir la distribución tridimensional de la materia. Algo así como una tomografía del universo. Otro ejemplo es el efecto SunyaevZel'dovich de cúmulos de galaxias, el cual produce distorsiones espectrales del CMB que pueden ser reconocidas hasta un muy alto *redshift*, permitiendo la detección de cientos de estos objetos, los más masivos de nuestro universo, aportando información estadística sobre la formación de estructura a gran escala.

Nuevos desafíos

Si bien el avance alcanzado por estos experimentos fue enorme, como siempre en ciencia un descubrimiento genera otros diez por descubrir. El actual modelo permite entender la evolución del universo desde algunos instantes después del Big Bang hasta el presente, dejando abiertas preguntas fundamentales sobre qué ocurrió en esos primeros instantes. Existen preguntas fundamentales que todavía esperan una explicación, como cuál es el origen cuántico de las fluctuaciones de densidad; por qué el universo es homogéneo e isotrópico a escalas mayores que el horizonte cosmológico en la superficie de última dispersión; por qué el uni-

¹³ Los resultados del experimento Planck, disponibles en: <https://www.cosmos.esa.int/web/planck/publications> [7 de octubre 2022].

verso es espacialmente plano;¹⁴ dar cuenta del ajuste fino de constantes físicas;¹⁵ y aclarar la ausencia de monopolos magnéticos primordiales.¹⁶ La física teórica ofrece distintas hipótesis y modelos que especulan sobre qué ocurrió en esos primeros instantes, siendo quizás la más importante hoy la Teoría de Inflación, creada en los años setenta por varios autores, incluyendo a A. Starobinsky, a A. Guth y a A. Linde (ver Guth y Steinhardt 1989). Según esta, el universo habría experimentado un proceso de expansión acelerado muy violento durante sus primeros instantes, concluyendo apenas 10^{-35} segundos después del instante inicial y expandiéndose un factor del orden de 10^{30} . Esta expansión descomunal habría sacado de contacto causal regiones que ya habrían alcanzado el equilibrio termodinámico, explicando la homogeneidad e isotropía que vemos hoy.¹⁷ También habría estirado cualquier curvatura inicial, haciéndolo plano a gran escala y separando los monopolos magnéticos primordiales hasta volverlos indetectables. Por último, dadas las escalas de tamaño y energía en que se habría desarrollado inflación,¹⁸ la naturaleza del universo primordial habría sido fundamentalmente cuántica, promoviendo el surgimiento de fluctuaciones en los campos inflacionarios que a la larga darían origen a la estructura de la materia en el universo presente. Más aún, esta naturaleza cuántica es lo que ha llevado a varios autores a proponer que el universo mismo es una fluctuación cuántica, abriendo la posibilidad de que coexistan múltiples universos, cada uno con sus propias leyes y constantes físicas, y por ende explicando por qué la vida

¹⁴ Si bien la relatividad general permite concebir un universo curvo a gran escala, la evidencia observacional indica que este es prácticamente plano, lo cual requiere de un equilibrio energético particular. Queda abierta entonces la pregunta de por qué el universo adquirió esta geometría especial de entre todas las geometrías posibles.

¹⁵ El modelo cosmológico requiere valores muy específicos para ciertas constantes. Por ejemplo, el valor de la constante cosmológica en unidades de Planck es minúsculo, de tan sólo 10^{-122} , requiriendo un ajuste fino sobre más de cien órdenes de magnitud, ya que leves variaciones provocarían cambios tan radicales como evitar la formación de estrellas en el universo.

¹⁶ Según la Teoría Gran Unificada (GUT), las condiciones iniciales del Big Bang debieron desencadenar la producción de una gran cantidad de monopolos magnéticos primordiales (partículas con carga magnética); sin embargo, estos no han sido observados en el universo.

¹⁷ Un sistema en equilibrio termodinámico es por definición homogéneo e isotrópico, ya que de otro modo existirían en él gradientes de temperatura.

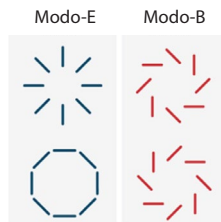
¹⁸ Se considera que todo el universo observable hoy cabía dentro del tamaño de un protón y la temperatura era del orden de 10^{25} Kelvin.

se formó en aquel particularmente apto para ella, así esclareciendo el problema del ajuste fino.

Aun cuando la Teoría de Inflación ha sido muy exitosa en explicar las observaciones, la falta de mayor evidencia, especialmente de predicciones que la promuevan de su condición de traje a la medida, mantienen el suspenso. Por otro lado, existen varias otras teorías, como los modelos de universo cíclicos propuestos por P. Steinhardt (Ijjas y Steinhardt 2019) o la cosmología cíclica conforme de R. Penrose (2014), que persisten en el espacio de lo posible y requieren nueva evidencia para ser validadas o descartadas.

Una de las predicciones más importantes que hace la Teoría de la Inflación es la producción de ondas gravitacionales primordiales durante el período inflacionario, cosa que no hacen otros modelos. Estas ondas habrían sido el resultado de fluctuaciones primordiales tensoriales introducidas durante inflación, las cuales se habrían propagado por el espacio-tiempo, afectando la polarización del fondo cósmico de microondas. La detección de estas ondas es considerada entonces como una prueba fuerte de esta teoría y fuente de importantes claves para entender la física de los primeros instantes del universo, e incluso sentar las bases para alcanzar una teoría completa que relacione finalmente la mecánica cuántica con la gravitación. Nuevamente, la radiación de fondo ofrece una oportunidad, esta vez mediante su campo de polarización.

Figura 4. MODOS DE POLARIZACIÓN TIPO E (IZQUIERDA) Y B (DERECHA)



La polarización del fondo se debe a que los fotones dispersados por dispersión de Thomson tienen sus campos eléctricos alineados según la dirección del choque con el electrón, y si bien las dispersiones individuales dentro de un plasma homogéneo ocurren en todas direcciones, la presencia de fluctuaciones de densidad genera un campo de polarización residual con un grado de polarización cercano al 10%. A

partir de las simetrías espaciales contenidas en dichas fluctuaciones se desprende que el campo de polarización resultante debe proyectarse en el cielo formando un patrón muy específico conocido como modo-E, compuesto de círculos o estrellas, pero no ruedas (ver Figura 4). Cuando una onda gravitacional pasa por el plasma durante el proceso de última dispersión, distorsiona la polarización formando ruedas en el patrón del fondo, patrón conocido como modo-B. La detección de modos-B surge entonces como una manera independiente de inferir la presencia de ondas gravitacionales primordiales, y con ello contribuye a demostrar la existencia de un período inflacionario. El problema es que se trata de una señal minúscula, al menos diez veces menor a la ya débil polarización, y que puede ser confundida con otras fuentes de polarización B, como son las lentes gravitacionales producto de la materia delante del fondo, o emisión de nuestra propia galaxia. La detección de los modos-B se ha convertido en el siguiente gran tesoro, motivando el desarrollo de nuevos experimentos sensibles a la polarización, capaces de discernir esta minúscula señal enterrada bajo montañas de contaminación y ruido. A esto se suma una serie de otros objetivos científicos basados en la señal polarizada, incluyendo pruebas a modelos de física alternativa; la distribución de la materia basada en el campo de distorsiones gravitacionales; también, a partir de lo anterior, medir la masa de los neutrinos por sus efectos en la distribución de la materia; y además mejorar la precisión de los parámetros cosmológicos mediante esta fuente de información independiente.

Persiguiendo la minúscula señal

La carrera por superar las mediciones existentes, extrayendo vetas de información progresivamente más sutiles y esquivas, e incluir polarización, es fundamentalmente una carrera tecnológica, donde diversos enfoques técnicos, experimentales y computacionales se han puesto a prueba. Para esto es fundamental contar con experimentos de bajo o mediano costo capaces de probar nuevas ideas y tecnologías, agilizando el proceso de desarrollo y desacoplándose de los tiempos y costos asociados a las aventuras espaciales, fomentando el desarrollo de experimentos en tierra. Del mismo modo, los experimentos terrestres no tienen las limitaciones de peso, volumen y potencia de los experimentos espaciales,

permitiendo el desarrollo de telescopios de mayor tamaño (mejor resolución) y poblándolos de un mayor número de detectores (mayor sensibilidad). Si bien las observaciones terrestres deben superar otros desafíos técnicos, impuestos por la presencia de la atmósfera (fuente de opacidad y brillo) y por la imposibilidad de ver toda la esfera celeste, las ventajas relativas anteriores han propiciado el desarrollo de un gran número de nuevos experimentos que han acompañado, adelantado y superado los resultados de los experimentos espaciales.

Los principales desafíos técnicos de la medición del CMB son: la sensibilidad o velocidad de mapeo; el control de efectos sistemáticos; y el control del ruido y la contaminación. La sensibilidad de un detector se define como la capacidad de discernir una señal sujeta al ruido intrínseco del sistema, impuesto principalmente por las propiedades térmicas de sus componentes. Por este motivo, medir señales de pocos micro-Kelvin requiere enfriar los detectores a temperaturas criogénicas cercanas al cero absoluto, explicando por qué varios de estos experimentos están operando hoy en torno a los 100 mK, requiriendo refrigeradores cada día más potentes y sofisticados. Han sido diversas las tecnologías de detectores que se han implementado en este campo, destacando en los últimos veinte años el desarrollo de bolómetros por su capacidad de integrar la radiación sobre bandas de frecuencia anchas, maximizando así la señal por sobre el ruido. Un bolómetro es básicamente un termómetro capaz de medir el calor que disipan los fotones al incidir sobre un elemento absorbente. A temperaturas criogénicas, la sensibilidad de los nuevos bolómetros está solo limitada por la barrera infranqueable de la mecánica cuántica y por el ruido que produce la radiación misma al caer —como gotas de agua— sobre el detector. Mejorar aún más la sensibilidad se puede conseguir únicamente, entonces, aumentando el número de detectores disponibles al mismo tiempo. Gracias a las nuevas técnicas de litografía e implantación de materiales en el silicio, surgidas del desarrollo de microchips para la computación, hoy es posible fabricar estos dispositivos de a miles y a escalas micrométricas, permitiendo la confección de arreglos de miles de elementos, conceptualmente similares al sensor de una cámara fotográfica. La carrera por la sensibilidad se resume, en gran medida, por aumentar el número de detectores disponibles en el plano focal del telescopio, multiplicando la señal mientras se mantiene el ruido impuesto por la física al mínimo. La velocidad de mapeo

se define entonces como la razón señal a ruido que se puede conseguir promediando la señal de todos los detectores. Los telescopios terrestres permiten implementar arreglos casi ilimitados de estos detectores, en uno o varios telescopios, superando muchas veces la sensibilidad que se consigue desde el espacio.

Un ejemplo importante de bolómetros usados en estos experimentos son los 'sensores de borde de transición' (en inglés *transition edge sensor* o TES), los cuales han revolucionado las mediciones astronómicas en bandas milimétricas. El principio básico de funcionamiento de un TES consiste en aprovechar el cambio de resistencia eléctrica que experimenta un material al pasar del estado normal (resistencia finita) al estado superconductor (resistencia nula). Para esto, el elemento sensible debe ser enfriado a temperaturas cercanas al cero absoluto y mantenido en un punto intermedio de la transición a superconductor mediante una corriente que se hace circular por el dispositivo. En estas condiciones, pequeños cambios de temperatura provocan grandes cambios de resistencia eléctrica, los cuales pueden ser medidos eficientemente mediante amplificadores superconductores cuánticos¹⁹ de muy bajo ruido. En paralelo han surgido varios otros tipos de sensores, como por ejemplo los MKID (*microwave kinetic inductance detectors*) o los MMC (*metallic magnetic calorimeter*), que compiten por superarse, produciéndose un ambiente de mucho estímulo para el desarrollo tecnológico. Tomando el mismo ejemplo, tanto los MKID como los MMC aprovechan cambios en la inductancia de un resonador superconductor para medir la intensidad de la radiación incidente, lo cual tiene la ventaja de poder multiplexar en frecuencia las señales de miles de detectores en un mismo canal de lectura, permitiendo aumentar el número de detectores disponibles al reducirse el calor inyectado por dichos canales al sistema criogénico.

La máxima sensibilidad en estos detectores bolométricos se consigue midiendo señales variantes en el tiempo, desacoplando al sensor de las fluctuaciones de temperatura de su propio baño térmico. Esto implica que estos sistemas no integran la luz de una misma región del cielo, como hacen las cámaras fotográficas, sino que miden las variaciones de intensidad del cielo mientras lo barren continuamente, como lo haría una cámara de video. El valor instantáneo de cada sensor es muestreado

¹⁹ Llamados *superconducting quantum interference devices* o SQUID.

cientos de veces por segundo, lo cual, multiplicado por los miles de detectores disponibles, produce enormes cantidades de datos que luego deben ser almacenados y procesados para producir mapas del cielo. En definitiva, el problema de mapeo se transforma en uno de computación de alto rendimiento, requiriendo grandes repositorios de datos crudos, algoritmos eficientes de procesamiento en paralelo, técnicas matemáticas avanzadas aplicadas al análisis de datos y acceso a supercomputadores de última generación.

Si se considera la señal por cada muestra, el ruido de los detectores es cientos de veces mayor que la señal del CMB, por lo que se requiere promediar miles de muestras de cada punto del cielo para descubrir la señal oculta. Para lograrlo, estos experimentos barren el cielo día y noche durante meses para producir un solo mapa, cubriendo áreas de muchos grados sobre el cielo. Luego, el proceso de mapeo reúne todas las muestras que fueron tomadas por alguno de los detectores en cada píxel del mapa y, en términos simples, los promedia inteligentemente para determinar el valor de la intensidad del cielo en ese punto. Más estrictamente, el mapeo soluciona el valor de cada píxel tomando en cuenta también un modelo con las propiedades estadísticas del ruido de los detectores y otras características sistemáticas del instrumento.

Ligado a lo anterior, otro gran desafío tecnológico importante es el exquisito control de efectos sistemáticos y de contaminación que se requiere para evitar sesgos en las mediciones y su posterior propagación en las conclusiones científicas. Fenómenos instrumentales como la respuesta óptica del telescopio, la presencia de lóbulos laterales y su consecuente contaminación por brillo del suelo y del sol, deformaciones mecánicas y termales de la óptica, vibraciones, errores de apuntamiento y contaminación electrónica, deben ser modelados y compensados cuidadosamente dentro del análisis de datos. Del mismo modo, resulta fundamental modelar y separar la contaminación por emisores astrofísicos, tales como nuestra propia galaxia, requiriendo la implementación de modelos físicos y simulaciones computacionales, así como de técnicas de inteligencia artificial capaces de limpiar y depurar la delicada señal primordial.

En conclusión, el desafío tecnológico asociado a la medición de este fósil cósmico, cual es el CMB, y de extraer de él hasta la última clave que nos pueda enseñar sobre el universo, es enorme y extremadamente fruc-

tífero, involucrando a algunas de las mentes más brillantes de nuestro tiempo, y permitiendo el desarrollo de nuevas tecnologías que vienen a enriquecer y quizás algún día también revolucionar nuestra propia existencia.

3. Relevancia de Chile

La carrera por medir el CMB desde el suelo requiere de sitios con condiciones óptimas para la observación en bandas milimétricas e idealmente que tengan acceso a la mayor porción del cielo posible (latitudes bajas). La opacidad de la atmósfera a longitudes de onda milimétricas se debe principalmente al contenido de vapor de agua, cuyas múltiples líneas espectrales se extienden fuera de su frecuencia central,²⁰ generando un continuo sobre toda la banda de interés. Por lo tanto es fundamental instalar estos experimentos en lugares extremadamente secos y elevados, de forma de minimizar la masa de aire sobre ellos. Es aquí donde Chile adquiere un rol principal, ya que uno de los lugares más secos de la tierra se encuentra en las alturas del altiplano chileno, específicamente en la zona de Chajnantor, motivando la instalación de muchos de estos experimentos en ese lugar. Otro lugar muy importante es la Antártica; sin embargo, su cercanía al polo limita el cielo observable a solo un hemisferio, además de las evidentes limitaciones de accesibilidad y logística, situación que pone en ventaja a Chajnantor por encontrarse cerca del trópico. En general, los lugares de la tierra aptos para estas observaciones son contados con los dedos de una mano, brindando a Chile un privilegio casi exclusivo en esta materia.

Los primeros experimentos para medir el CMB desde las alturas del altiplano chileno se remontan a mediados de la década de 1990. Se trataba entonces de pequeños experimentos, pero que pronto demostraron su valor. Un ejemplo importante fue el experimento MAT/TOCO (Miller et al. 2002), el cual combinó observaciones desde un globo aerostático con observaciones terrestres desde Chajnantor (cerro Toco, a 5.200 metros sobre el nivel del mar), entre los años 1996 y 1997, convirtiéndose en el primer experimento que midió el máximo del espectro de fluctuaciones del CMB (ver Figura 1). Lo seguirían una serie de otros experimentos y

²⁰ Las líneas espectrales suelen presentar un ancho característico y alas que se extienden lejos de la frecuencia central. Esto, debido a efectos cuánticos y termodinámicos.

observatorios, incluyendo a CBI (2000-08), MINT (2001-02), ACT (2007-hoy), QUIET (2008-10), ABS (2012-14), POLARBEAR (2013-hoy), CLASS (2015hoy), Simons Observatory (en construcción), CCAT-prime (en construcción) y CMB-S4 (en etapa de diseño), todos localizados en el área de Chajnantor. Muchos de estos telescopios están ubicados en una plataforma a 5200 metros de altura a los pies del cerro Toco, aledaño al valle de Chajnantor, lugar que se ha convertido en el epicentro mundial del estudio del CMB.

De entre los anteriores, el Atacama Cosmology Telescope (ACT) es quizás el más exitoso, tanto por su amplia producción científica como por el tiempo que lleva funcionando. Junto con el telescopio polar South Pole Telescope (SPT), ACT fue uno de los primeros experimentos diseñados para medir las fluctuaciones de escalas pequeñas, requiriendo un telescopio de mayor tamaño, con un espejo primario de 6 metros de diámetro.²¹ Además fue uno de los primeros experimentos que incluyeron cámaras con miles de detectores, contando en este caso con tres cámaras de más de mil detectores cada una y capaces de funcionar al mismo tiempo. Entre sus aportes, extendió el espectro de fluctuaciones del CMB a escalas pequeñas, alcanzando multipolos de 10000 (Das, Marriage et al. 2011). Esto es, dos años antes de que Planck publicara sus primeros resultados, alcanzando multipolos de 2500. También, ACT fue el primer experimento en detectar las distorsiones de lentes gravitacionales débiles (Das, Sherwin et al. 2011); produjo uno de los primeros catálogos de cúmulos de galaxias medidos mediante el efecto Sunyaev-Zel'dovich (Marriage, Acquaviva et al. 2011), incluyendo la detección del cúmulo más grande a alto *redshift* que se conoce (Menanteau et al. 2012); produjo catálogos de fuentes extragalácticas medidas en tres bandas de frecuencia (Gralla et al. 2020; Marriage, Juin et al. 2011; Marsden et al. 2014) y midió las contribuciones al espectro por fuentes delante del fondo. En 2013, su cámara original fue reemplazada por una nueva cámara sensible a la polarización, produciendo desde entonces mapas polarizados del cielo, midiendo el espectro de modos-E y detectando modos-B por lentes gravitacionales. En los últimos años, ACT ha producido mapas de alta resolución sobre casi el 40% del cielo visible, y ha servido de base de

²¹ La resolución de un radio telescopio es proporcional al diámetro de la apertura principal e inversamente proporcional a la longitud de onda. Con los 6 metros de ACT es posible resolver fluctuaciones de hasta 1.5 arcominutos de tamaño angular.

pruebas para nuevas tecnologías, extendiendo las bandas espectrales, mejorando la velocidad de mapeo, probando nuevas técnicas de modulación de la polarización y estableciendo las bases para la siguiente generación de telescopios.

Hoy en Chajnantor se están construyendo dos nuevos observatorios: Simons Observatory (SO), emplazado en cerro Toco, y CCAT-prime, que se instalará en la cima del cerro Chajnantor, a 5600 metros de altura. Ambos proyectos comparten el diseño óptico de su telescopio principal, en configuración Cross-Dragone, consistente en dos espejos de 6 metros de diámetro dispuestos en forma similar a una almeja abierta, permitiendo ampliar significativamente el tamaño del plano focal y con ello la instalación de decenas o hasta cientos de miles de detectores. En el caso de SO, también se instalarán otros tres telescopios pequeños destinados a medir exclusivamente las escalas grandes del cielo, enfocándose en la detección de modos-B producto de ondas gravitacionales primordiales (Simons Observatory Collaboration et al. 2019). Por su parte, la mayor altura de CCAT-prime le permitirá implementar bandas de mayor frecuencia, permitiéndole medir de mejor manera el polvo de nuestra galaxia y detectar poblaciones de galaxias de alto *redshift* (CCAT-Prime Collaboration et al. 2021).

Si bien SO y CCAT-Prime producirán avances muy significativos, son considerados pasos intermedios para alcanzar el nivel técnico necesario para extraer todo el potencial científico que ofrece la radiación de fondo cósmico, lo que en la jerga especializada se denomina 'etapa 3'. La planificación de la última etapa (llamada CMB-S4 o 'etapa 4') se viene gestando desde hace por lo menos diez años y contempla una última generación de observatorios con cientos de miles de detectores dispuestos en varios puntos del planeta, incluyendo a Chile, e incluso del espacio (Abazajian et al. 2019).

El desarrollo de estos experimentos en Chile ha servido de catalizador para el crecimiento de grupos científicos especializados en varias de las universidades más importantes del país, permitiendo la formación de nuevos especialistas y estableciendo redes de colaboración internacional fundamentales para su desarrollo. El acceso a la tecnología de punta utilizada en estos experimentos, ávida de requerimientos avanzados de caracterización, calibración y optimización, han sido también fuente importante para el desarrollo de nuevos ingenieros, artífices de una trans-

ferencia tecnológica capaz de permear en otros ambientes e industrias nacionales. El futuro del CMB y de la cosmología es brillante, y hoy nos encontramos en el clímax de su desarrollo, con Chile siendo uno de sus centros neurálgicos, al menos en lo que concierne a las observaciones. Hoy es el momento de impulsar el área dentro de Chile, promover que se desarrollen más y mejores cosmólogos experimentales e ingenieros especializados, y que se alcance la masa crítica necesaria para ser actores relevantes de los nuevos descubrimientos.

Bibliografía

- Abazajian, K. et al. 2019. CMB-S4 Science Case, Reference Design, and Project Plan. *ArXiv* 1907.04473.
- Alpher, R.A., Bethe, H. y Gamow, G. 1948. The Origin of Chemical Elements. *Physical Review* 73(7), 803-804. DOI: 10.1103/PhysRev.73.803.
- Alpher, R.A. y Herman, R. 1948. Evolution of the Universe. *Nature* 162(4124), 774-775. DOI: 10.1038/162774b0.
- Alpher, R.A. y Herman, R. 1950. Theory of the Origin and Relative Abundance Distribution of the Elements. *Reviews of Modern Physics* 22(2), 153-212. DOI: 10.1103/RevModPhys.22.153.
- Bennett, C. et al. 2013. Nine-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). DOI: 10.1088/0067-0049/208/2/20.
- Bondi, H. y Gold, T. 1948. The Steady-State Theory of the Expanding Universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108(3), 252-270. DOI: 10.1093/mnras/108.3.252.
- CCAT-Prime Collaboration et al. 2021. CCAT-Prime Collaboration: Science Goals and Forecasts with Prime-Cam on the Fred Young Submillimeter Telescope. *ArXiv* 2107.10364.
- Das, S., Marriage, T.A. et al. 2011. The Atacama Cosmology Telescope: A Measurement of the Cosmic Microwave Background Power Spectrum at 148 and 218 GHz from the 2008 Southern Survey. *The Astrophysical Journal* 729(1), 62. DOI: 10.1088/0004-637X/729/1/62.
- Das, S., Sherwin, B.D. et al. 2011. Detection of the Power Spectrum of Cosmic Microwave Background Lensing by the Atacama Cosmology Telescope. *Physical Review Letters* 107(2), 021301. DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.021301.
- De Swart, J.G., Bertone, G. y van Dongen, J. 2017. How Dark Matter Came to Matter. *Nature Astronomy* 1, 0059. DOI: 10.1038/s41550-017-0059.
- Dicke, R.H. 1946. The Measurement of Thermal Radiation at Microwave Frequencies. *Review of Scientific Instruments* 17(7), 268-275. DOI: 10.1063/1.1770483.
- Dicke, R., Peebles, P.; Roll, P. y Wilkinson, D. 1965. Cosmic Black-Body Radiation. *The Astrophysical Journal* 142, 414-419. DOI: 10.1086/148306.
- Gamow, G. 1942. Concerning the Origin of Chemical Elements. *Journal of the Washington Academy of Sciences* 32(12), 353-355.
- Gralla, M.B. et al. 2020. Atacama Cosmology Telescope: Dusty Star-forming Galaxies and Active Galactic Nuclei in the Equatorial Survey. *The Astrophysical Journal* 893(2), 104. DOI: 10.3847/1538-4357/ab7915.

- Guth, A.H. y Steinhardt, P.J. 1989. The Inflationary Universe (May, 1984) (178). En Carrigan Jr., R.A. y Trower, W.P. (eds.), *Particle Physics in the Cosmos: Readings from Scientific American Magazine*. New York: W.H. Freeman.
- Hinshaw, G. et al. 2013. Nine-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Parameter Results. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 208(2), 19. DOI: 10.1088/0067-0049/208/2/19.
- Hoyle, F. 1948. A New Model for the Expanding Universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108, 372. DOI: 10.1093/mnras/108.5.372.
- Ijjas, A. y Steinhardt, P.J. 2019. A New Kind of Cyclic Universe. *Physics Letters B* 795, 666-672. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2019.06.056>.
- Lemaître, G. 1931. The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory. *Nature* 127(3210), 706-706. DOI: 10.1038/127706b0.
- Lemaître, G. 1933. L'Univers en expansion. *Annales de la Société scientifique de Bruxelles* 53, 51.
- Markevitch, M. et al. 2004. Direct Constraints on the Dark Matter Self-Interaction Cross Section from the Merging Galaxy Cluster 1E 0657-56. *The Astrophysical Journal* 606(2), 819-824. DOI: 10.1086/383178.
- Marriage, T.A., Acquaviva, V. et al. 2011. The Atacama Cosmology Telescope: Sunyaev-Zel'dovich-Selected Galaxy Clusters at 148 GHz in the 2008 Survey. *The Astrophysical Journal* 737(2), 61. DOI: 10.1088/0004-637X/737/2/61.
- Marriage, T.A., Juin, J.B. et al. 2011. The Atacama Cosmology Telescope: Extragalactic Sources at 148 GHz in the 2008 Survey. *The Astrophysical Journal* 731(2), 100. DOI: 10.1088/0004-637X/731/2/100.
- Marsden, D. et al. 2014. The Atacama Cosmology Telescope: Dusty Star-forming Galaxies and Active Galactic Nuclei in the Southern Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 439(2), 1556-1574. DOI: 10.1093/mnras/stu001.
- Mather, J.C. et al. 1994. Measurement of the Cosmic Microwave Background Spectrum by the COBE FIRAS Instrument. *The Astrophysical Journal* 420, 439. DOI: 10.1086/173574.
- McKellar, A. 1941. Molecular Lines from the Lowest States of Diatomic Molecules Composed of Atoms Probably Present in Interstellar Space. *Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria* 7, 251.
- Menanteau, F. et al. 2012. The Atacama Cosmology Telescope: ACT-CL J0102-4915 'El Gordo', a Massive Merging Cluster at Redshift 0.87. *The Astrophysical Journal* 748(1), 7. DOI: 10.1088/0004-637X/748/1/7.
- Miller, A. et al. 2002. The QMAP and MAT/TOCO Experiments for Measuring Anisotropy in the Cosmic Microwave Background. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 140(2), 115-141. DOI: 10.1086/339686.
- Peebles, J. et al. 2010. Finding the Big Bang. *Physics Today* 63(2), 47. DOI: 10.1063/1.3326989.
- Penrose, R. 2014. On the Gravitization of Quantum Mechanics 2: Conformal Cyclic Cosmology. *Foundations of Physics* 44(8), 873-890. DOI: 10.1007/s10701-013-9763-z.
- Penzias, A.A. y Wilson, R.W. 1965. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. *The Astrophysical Journal* 142, 419-421. DOI: 10.1086/148307.
- Rubin, V.C., Ford Jr., W.K. y Thonnard, N. 1980. Rotational Properties of 21 SC Galaxies with a Large Range of Luminosities and Radii, from NGC 4605 (R=4kpc) to UGC 2885 (R=122kpc). *The Astrophysical Journal* 238, 471-487. DOI: 10.1086/158003.
- Rubin, V.C. y Ford Jr., W.K. 1970. Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions. *The Astrophysical Journal* 159, 379. DOI: 10.1086/150317.

- Sachs, R.K. y Wolfe, A.M. 1967. Perturbations of a Cosmological Model and Angular Variations of the Microwave Background. *The Astrophysical Journal* 147, 73. DOI: 10.1086/148982.
- Simons Observatory Collaboration et al. 2019. The Simons Observatory: Science Goals and Forecasts. *Journal Cosmology and Astroparticle Physics* 2019(2), 056. DOI: 10.1088/1475-7516/2019/02/056.
- Smoot, G.F. et al. 1992. Structure in the COBE Differential Microwave Radiometer First-Year Maps. *The Astrophysical Journal* 396, L1. DOI: 10.1086/186504.
- Springel, V. et al. 2005. Simulations of the Formation, Evolution and Clustering of Galaxies and Quasars. *Nature* 435(7042), 629-636. DOI: 10.1038/nature03597.
- Suzuki, N. et al. 2012. The *Hubble Space Telescope* Cluster Supernova Survey. V. Improving the Dark-Energy Constraints Above $Z > 1$ and Building an Early-Type-Hosted Supernova Sample. *The Astrophysical Journal* 746(1), 85. DOI: 10.1088/0004-637X/746/1/85.
- Tolman, R.C. 1934. Suggestions as to Metric in a Non-Conservative Mechanics. *Proceedings of the National Academy of Science* 20(7), 439-444. DOI: 10.1073/pnas.20.7.439.
- Zwicky, F. 1937. On the Masses of Nebulae and of Clusters of Nebulae. *The Astrophysical Journal* 86, 217. DOI: 10.1086/143. *EP*

Reseñas

Reseña

Carlos Hoevel. *La industria académica: la universidad bajo el imperio de la tecnocracia global*. Buenos Aires: Teseo, 2021. US\$29 (ISBN: 9789877232943), 365 pp.

José Joaquín Brunner
Universidad Diego Portales, Chile

Hace más de un siglo, Max Weber (2013) llamó la atención hacia la norteamericanización de la universidad alemana, que suponía su simultánea empresarialización y burocratización. “Los grandes institutos de medicina y de ciencias naturales son empresas de capitalismo de Estado”, señaló. Y agregaba: “Las ventajas técnicas de esta evolución son indudables, como en todas las empresas capitalistas y al mismo tiempo burocratizadas. Pero el ‘espíritu’ que reina en ellas es distinto a la antigua atmósfera de las universidades alemanas” (Weber 2013, pos. 352-362). Se iniciaba así el drama que ahora recorre el libro reseñado. Este, como se verá a continuación, constituye un serio intento por retomar el diálogo en torno a la idea de la universidad en el mundo contemporáneo donde, según señala el autor, esta se encuentra ‘bajo el imperio de la tecnocracia global’, según declara el subtítulo de su obra.

La ambición del volumen se manifiesta en la amplitud de los tópicos cubiertos. En un “breve preludeo adorniano” (17), el capítulo 1 instala la preocupación que recorre a este libro: la misma expresada por Weber respecto de la norteamericanización de la universidad alemana y su consecuente racionalización capitalista, que pondría en riesgo su alma. Y también similar a la crítica dirigida por Horkheimer y Adorno (1998) a la industria cultural que transforma la Ilustración en un engaño de masas.

Hoevel entiende por industria académica “el resultado de la aplicación, por la vía de la acción estatal o privada, de los criterios manageriales y de mercados a la definición de los objetivos, la organización y la

evaluación de la docencia y la investigación en la universidad” (20). Es el encuentro, pues, entre la idea humboldtiana con la realidad schumpeteriana del capitalismo industrial (Pinheiro 2016).

Luego, el capítulo 2 introduce “el gran cambio: de la universidad autónoma a la industria académica global” (29). Esta última sujetaría la idea neohumanista de universidad, leída en clave del idealismo alemán, primero al poder del Estado Evaluador para, enseguida, ser ‘colonizada’ —como dice Habermas (Ebner 2015)— por los imperativos del mercado, redefiniendo los valores académicos en términos de categorías mercantiles. En la práctica, las universidades pasan a ser medidas “desde esta perspectiva brutalmente macroeconómica de la industria académica” (54), según la cantidad y pertinencia de los productos y servicios de conocimiento que ofrecen a la población, al sector productivo y a la administración estatal. El capítulo 3 completa este análisis desmenuzando el fenómeno del managerialismo que trae consigo la doctrina del *New Public Management*, al imponer “la demanda de eficiencia performativa de la industria académica” (61), que incluye la evaluación externa e interna, la *accountability* y rendición de cuentas, la contabilidad de productos, el neotaylorismo del régimen de trabajo, el financiamiento condicionado por resultados, la empresarialización organizacional y el creciente poder de los gerentes y administradores universitarios. Este conjunto de procesos de racionalización de la gestión universitaria —cuya inicial instalación fue descrita y criticada por Thorstein Veblen (1918) hace un siglo— se hallaría hoy extendido globalmente, según ilustra Hoevel con ejemplos tomados de varias regiones del mundo en el capítulo 4 de su libro.

El capítulo 5 está dedicado a “la voz de los descontentos” (19). Allí, con base en testimonios de diferentes actores se muestra el malestar que existe en la docencia y entre los docentes; el estrés y los disgustos de los estudiantes; la disconformidad de los investigadores y los efectos perversos provocados a nivel institucional. A continuación, los capítulos 6 y 7 identifican respectivamente, por un lado, lo que el autor considera errores conceptuales envueltos en la economización de las universidades y, por el otro, las causas profundas que generarían la aparición y difusión de la industria académica. Entre estas se hallan la pérdida de la garantía civilizatoria frente a la barbarie que experimenta la cultura humanista occidental desde Auschwitz y el advenimiento de sociedades altamen-

te diferenciadas y complejas que destruyen las premisas sociológicas para la existencia de una universidad organizada en torno a la filosofía, como había reclamado e imaginado Kant (1999) el idealismo alemán de comienzos del siglo XIX. Con ello se habrían abierto las puertas a una universidad funcional, utilitaria, economizada y masiva, bajo el control de un managerialismo extremo que replica ‘el imperio de la tecnocracia global’.

¿Qué viene después? *La universidad en ruinas*, libro de B. Readings (1996), cuyo lapidario título Hoevel hace suyo en el capítulo 8 para luego explorar algunas alternativas frente a la devastación causada por la industria académica. Estas alternativas, sin embargo, no resultan promisorias, pues la mayoría se aparta del ideal humboldtiano de universidad. Por lo mismo, los capítulos finales, 9 y 10, que culminan el volumen, salen a la búsqueda de respuestas frente a la crisis actual de la universidad. Aquel se pregunta si es posible recrear la idea clásica de universidad; el otro propone seis tareas para impulsar una renovación *ad fontes* de esa idea. En este punto, declara el autor, llegamos a “una discusión que hay que afrontar” (273): si acaso puede pensarse todavía “que una idea de universidad pudiera ser posible”; o bien, si acaso la universidad puede existir en ausencia de “un acuerdo previo sobre la idea de la universidad que se debe implementar” (273). No es posible, claro está, entrar aquí a fondo en esta discusión; hacerlo requeriría un volumen tan contundente como el reseñado. En cambio, podemos indicar —aunque sea telegráficamente— algunos elementos que requieren dilucidarse.

Para partir, el uso omnicompreensivo del constructo ‘industria académica’ para cubrir variados aspectos de los sistemas de educación superior; en particular, aquellos relacionados con *management*, mercados, adaptación funcional, conocimiento útil, rendimiento y, en general, racionalización capitalista de las actividades del saber. A ratos, dicho uso parece tan indiscriminado como el que suele hacerse —en el campo de estudios de la educación superior— del término ‘neoliberalismo’ (Tight 2019). En vez, ¿no resultaría más provechoso analíticamente emplear aquí el enfoque del capitalismo académico (Slaughter y Rhoades 2004) para entender los mismos fenómenos que la noción de industria académica solo permite glosar? Enseguida, ¿no cabría aplicar a aquel constructo, igual que al enfoque original del capitalismo académico, la misma crítica de pasar por alto la gran diversidad de situaciones que, a

nivel 'glonacal' (global, nacional, local), caracteriza a los sistemas nacionales? ¿No se vuelve necesario, en uno y otro caso, distinguir entre la variedad de capitalismo académico existentes (Brunner et al. 2021), igual como cabría hacerlo dentro de una variegada industria académica? Efectivamente, parece difícil sostener que existe una suerte de fenómeno universal —sea de industria académica o de capitalismo académico— que afecta por igual a todas las universidades del mundo, más de 31 mil según el *Ranking Web of Universities* (Cybermetrics Lab 2022), independientemente de su naturaleza y carácter, complejidad de funciones, inserción en un sistema nacional, régimen de políticas y regulaciones públicas que las afectan, exposición a diferentes mercados, grado de internacionalización y de su trayectoria al interior de cada cultura nacional. De hecho, el propio libro de Hoevel se refiere solo a un pequeño número de organizaciones dentro de ese universo: las llamadas 'universidades de investigación'.

La noción misma de industria académica no se sitúa en el plano empírico —sociológico, politológico, económico o histórico— de las universidades realmente existentes, sino, en el plano discursivo, filosófico e ideológico sobre la 'idea de universidad'. En efecto, ella representa la negación de esa idea; más exactamente, de aquella precisa idea (humboldtiana) de universidad que se supone expresa su esencia, su alma, su proyecto transcultural y suprahistórico, su código genético, como dice por ahí una cita de nuestro autor (294), idea que sería pulverizada por la industria académica. Esta, como el Mefistófeles de Goethe, parece decir: *Ich bin der Geist der stets verneint!* (¡Yo soy el espíritu que siempre niega!). ¿Y qué es aquí lo negado? Precisamente aquella idea de universidad que, a lo largo del volumen, se identifica con el modelo humboldtiano, al que se atribuyen los valores supremos de la esfera universitaria entendida como esfera de valor. Pues bien, ¿cómo propone Hoevel salir al paso de esa sistemática negación? El capítulo 9 dibuja una propuesta para "re-crear hoy la idea clásica de universidad" (277). Los verbos rectores de esta sección muestran que se trata de una vuelta a las fuentes grecolatinas-medioevales-prusiano-neohumanistas de la inmutable idea de universidad. Es decir, para recuperar su identidad, ella debería rescatar el sello inscrito indeleblemente en su idea original.

Resta plantearnos el asunto más de fondo, que también abordó Habermas (1987) en su momento y que el libro reseñado toca igualmente

(206-209), aunque —a mi juicio— sin darle un debido tratamiento. En cuanto a la formulación habermasiana, ella apunta en una doble dirección. Por un lado, cuestiona la noción misma de ‘la idea de universidad’ heredera del idealismo alemán. Por otro, interroga el valor que podría tener hoy ‘la idea de la idea de universidad’, como la llama un historiador británico (Rothblatt 1997).

A lo primero, Habermas refuta la premisa sociológica del idealismo alemán frente al punto en discusión; cual es, que una institución permanece funcional solo mientras encarna vitalmente su idea inherente. Por el contrario, si su espíritu (idea) se evapora, “la institución se petrifica convirtiéndose en algo meramente mecánico, como un organismo sin alma reducido a materia inerte” (Habermas 1987, 3). En breve: las organizaciones no dan vida a una idea. Menos ahora, con la expansión del capitalismo académico, la economización de los sistemas impulsada por las políticas de racionalización de los sistemas y la transformación de la institución universitaria en una organización académica gerenciada para subsistir en la competencia.

¿Cómo explicar entonces la persistencia de ‘la idea de la idea de universidad’? A esta segunda cuestión Habermas (1987) responde con varias conjeturas que aquí solo glosaremos. Fidelidad inquebrantable al ideal humboldtiano, aunque no sea más que una falsa creencia (*life-lie*) en torno a la cual la academia cultiva su autoimagen; recurso a una tradición con valor de legitimidad compensatoria; alimento para la continua conversación interpretativa de la universidad sobre sus funciones en un sistema que se ha vaciado de espíritu. O bien, en sus dos formas —como idea e ideología—, un medio para exaltar el incomparable éxito de la universidad alemana durante el siglo XIX, aunque luego haya degenerado en ideología de una clase media burguesa altamente educada (*Bildungsbürgertum*), a la cabeza de la cual se encontraban los académicos mandarines imbuidos en la idea humboldtiana (Pechar 2012). Por último, dirá Habermas (1987, 14), cabe pensar que la propia ‘idea de la idea de universidad’ posee “un excedente utópico inherente” que guarda un potencial crítico, disponible para ser movilizado en cualquier momento con fines de renovación institucional.

El libro de Hoevel, podemos concluir ahora, emplea precisamente la idea de la universidad humboldtiana —como idea pero también como leyenda, relato, narrativa, ideología, mito y saga organizacional— para

examinar críticamente la deriva moderna y posmoderna de la universidad impulsada por el capitalismo académico en sus diversas variedades, que él, en perspectiva filosófica identifica, en un plano similar de abstracción, con la noción de industria académica. Y, enseguida, la emplea para proponer —según vimos— una renovación desde las fuentes de la universidad, rescatándola del ‘imperio de la tecnocracia global’. Es una manera heroica, diría yo, de mantener viva, al menos como utopía, “la tradición original medieval de la universidad que antecede a la época de la universidad vinculada a los Estados nacionales” (327). Mientras, en concreto, las universidades realmente existentes continúan empeñadas en impulsar y transmitir la racionalización de la vida en “un mundo crecientemente racionalizado, desencantado y tecnologizado” (Weber 2012, pos. 12019).

Bibliografía

- Brunner, J.J., Labraña, J., Ponce, E.R. y Ganga, F. 2021. Variedades de capitalismo académico: un marco conceptual de análisis. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas/Education Policy Analysis Archives* 29(1), 35, 1-28.
- Clark, B.R. 1972. The Organizational Saga in Higher Education. *Administrative Science Quarterly* 17, 178-184.
- Cybermetrics Lab - CSIC 2022. Webometrics Ranking of World Universities. Disponible en: <https://www.webometrics.info/en> [25 de septiembre 2022].
- Ebner, A. 2015. Marketization: Theoretical Reflections Building on the Perspectives of Polanyi and Habermas. *Review of Political Economy* 27(3), 369-389.
- Habermas, J. 1987. The Idea of the University: Learning Processes. *New German Critique* 41, Special Issue on the Critiques of the Enlightenment, 3-22.
- Horkheimer, M. y Adorno, T. 1998. La industria cultural. Ilustración como engaño de masas (165-211). En Horkheimer, M. y Adorno, T., *Dialéctica de la ilustración. Fragmentos filosóficos*. Madrid: Trotta.
- Kant, I. 1999 [1798]. *La contienda entre las facultades de filosofía y teología*. Madrid: Trotta.
- Pechar, H. 2012. The Decline of an Academic Oligarchy. The Bologna Process and ‘Humboldt’s Last Warriors’ (613-630). En Pechar, H., *European Higher Education at the Crossroads*. Dordrecht: Springer.
- Pinheiro, R. 2016. Humboldt Meets Schumpeter? Interpreting the ‘Entrepreneurial Turn’ in European Higher Education (291-310). En Slaughter, S. y Taylor B. (eds.), *Higher Education, Stratification, and Workforce Development*. Cham: Springer.
- Readings, B. 1996. *The University in Ruins*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Rothblatt, S. 1997. *The Modern University and Its Discontents: The Fate of Newman’s Legacies in Britain and America*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Slaughter, S. y Rhoades, G. 2004. *Academic Capitalism and the New Economy: Markets, State, and Higher Education*. Baltimore, London: The Johns Hopkins University Press.

- Tight, M. 2019. The Neoliberal Turn in Higher Education. *Higher Education Quarterly* 73(3), 273-284.
- Veblen, T. 1918. *The Higher Learning in America: A Memorandum on the Conduct of Universities by Business Men*. Disponible en: https://www.elegant-technology.com/resource/HI_LEARN.PDF [25 de septiembre 2022].
- Weber, M. 2012 [1904-1905]. *La ética protestante y el espíritu del capitalismo*. México DF: Fondo de Cultura Económica.
- Weber, M. 2013 [1917-1919]. *La ciencia como profesión*. Madrid: Biblioteca Nueva. *EP*

Reseña

Elena Esposito. *Artificial Communication. How Algorithms Produce Social Intelligence*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2022. US\$20.48 (ISBN: 9780262046664), 200 pp.

Gastón Becerra

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

El trabajo de Elena Esposito constituye una interesante y lograda propuesta por refocalizar el debate en torno a la inteligencia artificial y los algoritmos sociales, particularizando en aquellos que trabajan con técnicas de *deep learning* y *big data*, y que en los últimos años pasaron a formar parte de nuestra vida cotidiana de la mano de la digitalización. Su original propuesta se basa en dejar de entender los algoritmos como entidades (artificialmente) inteligentes. La autora argumenta que su eficiencia radica en procesar información de una manera que no emula la inteligencia humana, de modo que considera más apropiado entenderlos en tanto entidades (artificiales), capaces de participar en la comunicación. Desde la misma introducción del libro se aprecia su compromiso con un ejercicio analítico orientado a la conceptualización e identificación de los desafíos que se abren con esta “comunicación con una contraparte artificial” (14).

En cuanto a su enfoque, el trabajo reporta desde lo que la sociedad dice, espera, resiente y advierte acerca de la comunicación con algoritmos. Para ello, Elena Esposito realiza un recorte empírico que incluye un conjunto muy variado de comunicaciones provenientes de distintos sistemas sociales en diálogo con la literatura científica. En este sentido, ella reconstruye una semántica social sobre los algoritmos, sin necesidad de recurrir a definiciones que pudieran limitar de antemano o prescribir

GASTÓN BECERRA es doctor en Filosofía por la Universidad de Buenos Aires y magister en Epistemología e Historia de la Ciencia por la Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina. Actualmente es investigador asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), docente de la carrera de Sociología de la Universidad de Buenos Aires y director de la carrera de Sociología de la Universidad de Flores, Argentina. Dirección: Facultad de Ciencias Sociales UBA, Santiago del Estero 1029, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, CP C1075 AAU. Email: gastonbecerra@sociales.uba.ar

el alcance de su libro y sus reflexiones. En términos de posicionamiento, rechaza ofrecer una evaluación simple del tipo bien/mal u optimismo/pesimismo; más bien se busca la posibilidad de trazar distinciones que expliquen lo aparentemente normal como improbable.¹ Así, se analizan las complejas y novedosas formas en que la comunicación con algoritmos combina lógicas de personalización con masificación, del manejo de la certeza con el riesgo, del recuerdo con el olvido, de la presencia con la ausencia, de lo previsible con lo imprevisto, entre otras. La pregunta central, sugerida desde la inclusión de la 'inteligencia social' en el título de la obra, es si acaso estas nuevas formas de comunicación que utilizan datos procesados de manera no-inteligible-para-humanos permiten a la "sociedad como un todo volverse más inteligente" (5). Sin embargo, para abordar esa interrogante, se rechaza cualquier intento de definir la idea de inteligencia y no se busca aclarar ningún sentido social —es decir, no psicológico o subjetivo— del mismo. Ante ese cuadro, el desafío para la sociología consiste en echar luz sobre estos procesos de comunicación y de coordinación y, eventualmente, informar a quienes diseñan e implementan algoritmos (18).

En el primer capítulo se introducen definiciones conceptuales, recuperando lineamientos de la teoría de sistemas sociales y de la cibernética. Al no emplear la terminología técnica de estos desarrollos, la lectura se vuelve apta para el público no familiarizado. Primero se definen los algoritmos como máquinas capaces de generar respuestas novedosas e imprevistas, a pesar de responder a una programación controlada (5). Esta definición se hace eco de las máquinas no-triviales analíticamente indeterminables de Heinz von Foerster (2003), cuyo comportamiento depende no solo de la programación y los *inputs*, sino también de la historia de sus estados internos —o, en el caso de los algoritmos, de los modelos producidos mediante aprendizaje automático. Luego, la no inteligibilidad de los algoritmos requiere una concepción de la comunicación que no presuponga identidad de información o de tipos de procesamiento por parte de los participantes. Para reflexionar sobre el tema, Esposito recurre a la teoría de los sistemas sociales de Niklas Luhmann, afirmando que las razones por las que su enfoque ha sido frecuentemente criticado son justamente las que lo vuelven apropiado para tratar el

¹ Para una discusión más amplia, ver Esposito (2021) y Luhmann (1992).

caso, a saber: definir la comunicación sin referencia a las conciencias de los partícipes; reconstruirla desde quien recibe la comunicación e imputa un acto comunicativo y un mensaje; y tratar la información en base a diferencias. Con menor elaboración, se observa la conceptualización de un tercer término que juega un lugar central en este planteo, pero que carece de una definición explícita y de una entrada en el índice analítico: *big data*. Generalmente, Eposito utiliza la fórmula ‘algoritmos que usan *big data*’ o ‘que se alimentan de *big data*’ para indicar que el origen de la información que procesan los algoritmos corresponde a contenidos generados por otros usuarios. Así entiende que, al participar en la comunicación, los algoritmos generan una ‘contingencia virtual’ que refleja sobre el usuario las diferencias de otros.

Esta relación entre algoritmos y *big data* es vista como “una explotación parasitaria de la participación de los usuarios” (3). Tal vez la relación podría complejizarse si introducimos una distinción mayor entre algoritmos y *big data*, llegando al caso donde acto comunicativo y fuente de contingencia no se atribuyen al mismo elemento o, también, remitiéndonos a contemplar dos procesos sociales distintos: la datificación de nuestra vida social y subjetiva, y la algoritmización o automatización de procesos sociales y subjetivos. Lo primero es materia de indagación de una sociología interesada por nuestras maneras de reproducir la realidad bajo la forma del dato y del *dataset* como moneda de cambio y vínculo, algo muy poco explorado aún; lo segundo viene siendo el foco de los *critical data studies* que observan un problema de corte ideológico ya que, en última instancia, se trata de un intento de alterar las relaciones y los vínculos entre grupos, introduciendo un nuevo *power broker* (Beer 2017; Lanier y Weyl 2020).

Los capítulos 2 a 7 de *Artificial Communication* retoman el objetivo de modelar sociológicamente los cambios en la comunicación, marcando continuidades y cambios con formas antiguas y modernas, a través de distintos estudios de casos. El capítulo 2 se centra en la comunicación a través de un género que prolifera en el mundo digital —listas, *ratings* y *rankings*— e ilustra la manera en que se puede procesar información sin pretender comprensión. En el 3 se hace foco en las visualizaciones y su utilidad, entre otros casos, para comunicar el procesamiento masivo de textos digitales. El capítulo 4 ahonda en la manera en que los algoritmos posibilitan nuevas formas de personalización de los mensajes, introdu-

ciendo una lógica distinta a la de los medios masivos, aunque, como aclara la autora, no se trata de un reemplazo sino de una alternativa que complejiza las formas de comunicación. Los capítulos 5 y 6 introducen otra diferencia en el procesamiento humano y el algorítmico al referir al manejo de la memoria, haciendo foco en los casos del ‘derecho al olvido’ en internet y de la proliferación de imágenes digitales. También vinculado a la dimensión del tiempo, el último capítulo se centra en una pretensión epistémica clave de los algoritmos: la posibilidad de predecir.

A lo largo de estos capítulos, y junto con el problema de los cambios en la comunicación, podemos observar dos grandes temas que se pueden proponer como clave de lectura. El primer tema es el que Esposito señala como “el verdadero desafío que se nos impone con las técnicas de *machine learning* y *big data*” (XII): ¿cómo controlar lo que no podemos comprender? Al abordarlo, mayormente se limita a señalar lo difícil y, en ocasiones, poco deseable, de cualquier intento de regulación. El segundo tema se vincula con la forma en que la sociedad trata la información y el conocimiento. Se trata de un problema de índole epistemológico, pues discute cómo esos términos se entienden en la sociedad, con qué criterios y valores se los evalúa, y cuál es el entramado y la división social del trabajo que los promueve. Esta clave de lectura se aprecia, principalmente, en el segundo, tercer y séptimo capítulo, por lo que, en lo que queda de esta reseña, atenderé a ellos para indicar los méritos y limitaciones de la obra.

“Cuando los algoritmos nos hablan, lo hacen en listas” (19), comienza el capítulo 2, que se centra en la comunicación a través de un género que prolifera en el mundo digital: listas (simples), *ratings* (listas evaluativas) y *rankings* (listas jerárquicas). La autora sugiere que los algoritmos profundizan una forma de procesamiento de la información que se inicia con la escritura: la abstracción del contexto de la oralidad y del mundo perceptual de los objetos y la creación de un nuevo co-texto al interior de una lista. En relación con el problema epistémico, se pone el foco en cómo los algoritmos son agentes que construyen información de una manera sistemática, reduciendo complejidad, pasando de la cantidad a la calidad, controlando lo incluido y lo no-incluido, e imponiendo un contexto, entre otras estrategias. El resultado es un capítulo que comienza a ubicar —implícitamente— los algoritmos en el ‘constructivismo operativo’, es decir, en una teoría de la cognición capaz de tratar con el

dominio comunicativo, en la línea de la construcción de la realidad, para luego elaborar sobre la realidad de esta construcción (Luhmann 2000).

Este movimiento se completa en el capítulo 7, que trata con el principal reclamo epistémico que se hace en nombre de los algoritmos: la posibilidad de prever y predecir el futuro. La hipótesis de la autora es que los algoritmos rompen con el manejo de la incertidumbre en la modernidad, vinculada con el cálculo probabilístico; por tanto, su explotación parecería asemejarse más a los intentos adivinatorios de la antigüedad. A diferencia de la ciencia, estos procederían sin recorte, con todos los datos que pueden ser accesados, sin confirmar alguna hipótesis y en la búsqueda de patrones latentes que permitan predicciones para casos particulares. Luego sugiere que los algoritmos tienen una relación distinta con la realidad y con las expectativas que se manejan en torno a ella: por un lado, tienen un vínculo “más directo” (97), en tanto no estarían mediados por modelos y teorías; pero, por el otro, tampoco pretenden conocer la realidad externa, ya que cuando hacen predicciones no ven de antemano un futuro que aún no está ahí, sino que intentan construirlo con sus operaciones y sus constantes interacciones con el usuario. La capacidad de los algoritmos reside en su fuerza performativa que busca —por infinitos intentos— predecir estados futuros del mundo y alterarlo acorde a su predicción. Finalmente, parecen ubicarse los algoritmos en las corrientes constructivistas más radicales o escépticas, con formulaciones tales como que “el algoritmo se vuelve cada vez más efectivo en tratar con un mundo *that remains unknown*”, o que son formas de cognición que “no conocen el mundo, porque no conocen nada” (98).

Por su parte, el tercer capítulo se vincula con lo epistémico de otra manera, ya que nos acerca a un espacio más propiamente científico, al reportar sobre dos innovaciones centrales en el campo de las humanidades digitales: el ‘análisis literario no lingüístico’, ejemplificado en la propuesta de Franco Moretti (2013) de *distant reading*, y el uso de visualizaciones como herramientas para la interpretación de los análisis algorítmicos. Respecto de lo primero, que remite al procesamiento masivo de grandes volúmenes de textos, la autora señala que los algoritmos no leen cada documento buscando el sentido —como sería el caso de una *close reading* humana—, sino que, en su lugar, procesan el corpus en conjunto buscando patrones en la secuencia de símbolos. Esposito plantea aquí un interesante contrapunto con Katherine Hayles (2010),

quien sostiene que este tipo de procesamientos podría considerarse propiamente una 'lectura', ampliando esta noción en una dirección pos-humanista. Contrariamente, para Esposito conviene "declarar que las computadoras no leen y —más importante— que precisamente por esta razón pueden contribuir a la lectura" (43). Posteriormente se centra en las visualizaciones que condensan diversos tipos de gráficos e imágenes como resultado de un análisis algorítmico, señalando que más que un resultado interpretado constituyen un *medium* para la interpretación humana. Agudamente, sugiere que los algoritmos son medios que, a diferencia de los tradicionales, buscan introducir ruido e interferir activamente en el mensaje para hacerse percibir como tales, pudiendo ser identificados como generadores del contenido que transmiten.

Los lineamientos esbozados en estos capítulos permiten observar también lo que considero que es la principal limitación del enfoque adoptado en el libro, al menos en relación con la clave de lectura que nos interesa: al describir el fenómeno desde su semántica social, Esposito no ahonda en la discusión sobre problemas epistemológicos registrados por las ciencias. La reflexión científica es mucho más cauta que la semántica social generada por voceros e interesados en los desarrollos algorítmicos y el *big data*. En la ciencia son menos frecuentes los reclamos de revolución, de objetividad, o de un funcionamiento tan disruptivo y sorprendente. Esto no significa que se sea menos optimista. No caben dudas respecto de que estamos frente a una gran oportunidad para renovar fuentes, técnicas y métodos de análisis social, favoreciendo el desarrollo computacional de las distintas ramas de las ciencias; pero estos desarrollos solo alcanzarán su potencial una vez que se enmarquen en las reflexiones disciplinares preexistentes. Esto es un punto de acuerdo en las humanidades digitales que la autora trata en el capítulo cuarto. Allí, la inteligibilidad y la transparencia son criterios centrales, ya que de ellas se desprenden otros criterios científica y socialmente valorados, como puede ser la responsabilidad y la reproducibilidad. De hecho, un desafío reconocido en este campo es la necesidad de reportar tareas que no siempre se explicitan en tratamientos algorítmicos como, por ejemplo, la secuencia de los pre-procesamientos de los textos para su tratamiento estadístico, o el racional detrás de la definición de parámetros. Como señalamos en otro trabajo en el que se documentó una reconocida técnica de *unsupervised machine learning* de gran impacto en las humanidades

digitales, finalmente los retos que se nos imponen en la incorporación de algoritmos a los análisis sociales recuerdan los de la investigación cualitativa, donde la 'caja negra' del análisis somos nosotros (Becerra y López Alurralde 2021). Sería interesante continuar observando de qué manera los reclamos particulares que se hacen desde la reflexión científica sobre los algoritmos impactan (si es que) de alguna forma en la semántica descrita, o hasta qué punto esta última se desentiende de ellos logrando generalizar criterios epistémicos alternativos en una autodescripción de la sociedad.

Bibliografía

- Beer, D. 2017. The Social Power of Algorithms. *Information Communication and Society* 20(1), 1-13.
- Becerra, G. y López Alurralde, J.P. 2021. Topic Modeling y los desafíos de la investigación cualitativa. XIV Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires.
- Esposito, E. 2021. Opacity and Complexity of Learning Black Boxes. *Constructivist Foundations* 16(3), 377-380.
- Hayles, K. 2010. How We Read: Close, Hyper, Machine. *ADE Bulletin* 150, 62-79.
- Lanier, J. y Weyl, G. 2020. AI Is an Ideology, Not a Technology. *Wired*, 1-9.
- Luhmann, N. 1992. El ocaso de la sociología crítica. *Sociológica* 7(20). Disponible en: <http://www.sociologicamexico.azc.uam.mx/index.php/Sociologica/article/view/799> [19 de septiembre 2022].
- Luhmann, N. 2000. *The Reality of the Mass Media*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Moretti, F. 2013. *Distant Reading*. London: Verso.
- Von Foerster, H. 2003. *Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition*. New York: Springer. *EP*

Reseña

Giancarlo Marchetti (ed.). *The Ethics, Epistemology, and Politics of Richard Rorty*. New York: Routledge, 2022. US\$128 (ISBN: 9780367342173), 306 pp.

Valeria Campos Salvaterra

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Según el editor de este volumen, Giancarlo Marchetti, experimentamos actualmente un resurgimiento del pragmatismo de Richard Rorty. El interés en su filosofía, vívido en las décadas de 1970, 1980 y buena parte de los noventa —y, según este mismo criterio, silente durante las siguientes—, parece tener hoy un nuevo empuje, encarnado en nuevas generaciones de *scholars*, en ediciones de sus antes inéditos cursos y conferencias, y en la publicación de antologías y de numerosos monográficos consagrados a su pensamiento. Este juicio podría estar confirmado por el mismo libro que aquí comentamos, dado que se trata de una publicación muy reciente que reúne la considerable suma de 14 ensayos dedicados al pensamiento del autor estadounidense. La principal novedad parece ser la clasificación de estos ensayos en tres grandes grupos temáticos: ética, epistemología y política. Con estos temas dialoga la filosofía de Rorty, aunque sin poder encasillarse perfectamente en ninguno pues, aun cuando Rorty trabajó transversalmente problemas asociados a cada uno de esos ámbitos del saber filosófico, en sus textos nunca los diferenció críticamente de modo tajante.

En efecto, el neopragmatismo de Rorty, cercano al giro lingüístico, cruza y contamina inevitablemente temas epistemológicos y prácticos, siempre bajo el alero de una férrea crítica de la razón fundacionalista, propia de las grandes filosofías metafísicas. Este enérgico espíritu crítico también le otorgó la etiqueta de ‘posmoderno’, que el mismo Rorty

adoptó en un principio para luego desmarcarse de ella. Mediante este doble gesto él asumía que su filosofía tenía que pensarse en tensión con los metarrelatos de la modernidad (por usar un término lyotardiano),¹ a la vez que aún era heredera de un pensamiento ilustrado. De ahí que importantes aclaraciones de algunas y algunos de quienes escriben en este volumen deban ser tomadas muy en serio, pues se trata de esfuerzos por precisar malentendidos de las primeras recepciones del pensamiento de Rorty, que reivindican esa herencia ilustrada que hace de la razón, y de una libertad garantizada por ella, el rasgo decisivo de su liberalismo de izquierda.

En cuanto es posible afirmar con justicia que Rorty es “uno de los pensadores más influyentes y provocativos filósofos contemporáneos” (1), este volumen sí puede considerarse como una interesante revisión crítica de las más relevantes de sus tesis. Comienza con una muy útil introducción a cargo del editor, que repasa la biografía intelectual de Rorty, así como sus más importantes ideas filosóficas: su temprana incursión en el pragmatismo, nunca separado de su afinidad con la filosofía analítica; su crítica a la filosofía en su historia fundacional de corte metafísico; su concepción de la verdad como justificación, en una no menos dura tensión con las teorías de la correspondencia y, finalmente, una aproximación a su pensamiento ético-político mediante los conceptos de ironía y solidaridad. Le siguen a esta notable introducción cuatro capítulos clasificados bajo la categoría Ética.

El primero, ‘Rorty as Liberal Ironist Pace Warrior’, de Sharyn Clough, trata sobre la propuesta rortyana de un liberalismo irónico que ofrecería un modelo poderoso de pacificación social basado en el antifundacionalismo, el antiesencialismo y el falibilismo de la filosofía de Rorty. Lo más atractivo de este artículo es el énfasis que pone la autora en el etnocentrismo rortyano, no como un problema sino como su más importante oportunidad. Esta cuestión devela una vez más el compromiso de Rorty con cierta tradición ilustrada, pues el antiantietnocentrismo de su propuesta no debe ser entendido como el total rechazo a posicionarnos desde el punto de vista de una lógica y praxis cultural, sino más bien debe llevarnos a adoptar dicha perspectiva sabiendo que es imposible un absoluto afuera de una cultura, fortaleciendo —y no debilitando

¹ Ver Lyotard (1987).

como parecen caricaturizarse estas consignas rortyanas— el compromiso epistémico y ético con otras culturas.

El segundo capítulo de esta sección, 'The Rorty-Dworking Debate', de Raff Donelson, intenta escenificar un debate entre Rorty y el teórico jurídico Ronald Dworkin que, extrañamente, nunca tuvo lugar. Es, por ello, un capítulo que adolece de un problema bastante usual en la actual práctica académica: la comparación sin sustento histórico entre pensadores muy diferentes. Este problema, que se repite en el cuarto capítulo de este apartado, pone en duda que este volumen represente realmente un 'resurgimiento' del interés filosófico por Rorty, toda vez que los autores de ambos capítulos parecen ser más especialistas en el autor comparado —Dworkin, Collingwood— que en quien los convoca. En cualquier caso, el capítulo trata sobre cómo la ampliamente aceptada tensión —y hasta oposición— entre Rorty y Dworkin no es realmente tajante, sino solo una cuestión de 'énfasis'.

El tercer capítulo de esta primera sección 'Bildung, Unimportance, and Moral Progress' de Sarin Marchetti, nos presenta una interesante apuesta para una teoría del progreso moral, basada en la idea rortyana de lo 'sin-importancia'. Con este término, aclara el autor, Rorty refiere a una perspectiva crítica respecto de la autoridad moral de otros y de nosotros mismos. Se trataría, pues, de medir el progreso moral

de acuerdo a nuestra adopción de un lenguaje y mentalidad que descartaría cada vez menos en proyectos y significados fijos, [...] que nos empoderaría a nosotros mismos y a otros a través de la des-inversión [*disinvestment*] en (y del desencantamiento con) valores e intenciones. (65)

Como adelantamos, el último capítulo de la sección Ética vuelve a la inorgánica y hasta inerte comparación de Rorty con un autor del que poco o nada tuvo noticia durante su vida. Se trata del filósofo británico R.G. Collingwood que, tal como señala la autora del capítulo, Sabina Lovibond, "no parece haber tomado mucho de la época de Rorty" (84). El texto, cuyo título es 'Philosophy, Literature, Politics. The Case of Rorty and Collingwood', trata de modo general de mostrar las coincidencias entre dos autores que no se conocieron, no se leyeron y que fueron, por buena parte de su vida, extemporáneos el uno del otro.

La segunda gran sección de este volumen tiene por título Epistemología. Aquí es donde más expectativas se generan para una lectora o lector informados, pues es bien sabido que, aun cuando Rorty es uno de

los más importantes críticos de la epistemología representacional propia del idealismo filosófico, pero también de toda ontología realista que pretenda llegar a dar cuenta de las cosas mismas, su propuesta en estos términos siempre fue modesta, hasta tímida.

El capítulo que abre este apartado, 'What Should Rorty Say about Relativism?', de Carol Rovane, es una muy instructiva introducción a los problemas que contemporáneamente arroja el relativismo en la epistemología heredera del giro lingüístico. La autora parte cuestionando la usual clasificación de Rorty como pensador relativista, para mostrar que la postura del filósofo no puede reducirse a un relativismo ingenuo. Se trata de confrontar el pensamiento rortyano con lo que la autora llama 'alternatividad' (*alternativeness*), que refiere a un modo de entender el relativismo como la inconmensurabilidad de dos unidades portadoras de valor veritativo (oraciones, conceptos, etc.) que podría llevarnos a establecer la verdad de ambas, aun cuando sean contradictorias. Mediante un análisis detallado del 'dilema de la alternatividad', donde la autora muestra que la inconmensurabilidad de los portadores de valor solo puede pensarse a partir de su pertenencia a dos sistemas lingüísticos diferentes, llega a la propuesta rortyana sobre la posibilidad de sostener creencias opuestas sin relativismo. Interesante es la línea de herencia que se establece con el holismo transversal (*thoroughgoing holism*) de Davison, mostrando cómo Rorty abraza y se aleja de esta concepción. Finalmente, se llega a la idea de Rorty sobre cómo distintos puntos de partida epistémicos desde las mismas normas de conversación de un lenguaje constituye una tercera vía no relativista.

El sexto capítulo, de Rosa M. Calcaterra, titulado 'Rorty's Reconstruction of Epistemology', muestra de modo muy claro y sintético la propuesta del pensador estadounidense frente a los escollos conceptuales de la epistemología moderna, especialmente de cuño cartesiano-kantiano. Se trata de las nociones de experiencia, objetividad, realidad, fundamento, entre otras, que Rorty habría desmantelado para restaurar las preguntas sobre el mundo y el lenguaje desde un punto de vista no oposicional y anclado en las prácticas sociolingüísticas. La apuesta por la noción wittgensteiniana de 'juegos del lenguaje', le habría permitido a Rorty cuestionar la clásica distinción ontológica entre realidad y mente, experiencia y lenguaje, y reemplazarla por una distinción entre lo discursivo y lo no discursivo en cuanto distintos —aunque traducibles— juegos del lenguaje.

El capítulo 7, 'Rorty and Experience', de Chris Voparil, es también un muy interesante recuento de algunas ideas epistemológicas de Rorty, centrado en el concepto filosófico de experiencia. Trata de mostrar que el aparente rechazo de Rorty a oponer lenguaje y experiencia —con la consecuente reducción de la segunda al primero— está precedido en su pensamiento por cierta consideración lingüística de la experiencia, tal como puede rastrearse en el legado del pragmatismo precedente. El autor establece, así, a través de Rorty, una continuidad entre el pragmatismo clásico y el neopragmatismo, especialmente apoyado en la teoría pragmatista de la experiencia de John Dewey.

En 'Richard Rorty, Rocks and Realism', Marianne Janack se hace cargo del debate Rorty-Weinberg, destacado físico ganador del Premio Nobel en 1979. La reconstrucción de este debate afina la perspectiva sobre el antirrealismo de Rorty, que en algún momento y en algunos círculos fue erróneamente interpretado como un escepticismo radical. Frente a esto, la autora repasa la propuesta de Rorty esclareciendo su apuesta epistemológica, mientras pone en tela de juicio hasta qué punto la autoridad epistémica de Weinberg, con su título académico de físico, es lo único que realmente fundamenta su postura.

En el último capítulo de este apartado, 'Disepistemology', Barry Allen enfrenta la problemática idea rortyana que reduce el campo de lo epistemológico al de las políticas culturales. Es el primer capítulo eminentemente crítico del volumen, que cuestiona explícitamente la transformación del problema del conocimiento en un problema de derechos. Muestra cómo Rorty, al afirmar que no necesita una teoría del conocimiento, hace en efecto una teoría del conocimiento, aunque ciertamente insatisfactoria y algo injusta con la historia misma de la ciencia. Concluye que, a pesar de que es plausible hasta cierto punto decir que no hay diferencia epistémica entre conocimiento y creencias justificadas, esto no explica cómo ha sido posible para nuestra civilización llegar a altos estándares de efectividad técnica y tecnológica. El autor pone así a Rorty en un verdadero y original problema epistemológico del que parece no haberse hecho cargo del todo.

El último apartado, Política, es tan interesante como el segundo y, a pesar de cruzarse temáticamente con el primero, está más acabado y documentado. El primero de estos capítulos enfrenta a Rorty con Habermas ('Rorty, Habermas, and Radical Social Criticism'), en un muy interesante

debate sobre el sentido del liberalismo de izquierda rortyano vs. la izquierda marxista europea. Por tanto, se trata de un completo trabajo sobre el liberalismo profesado por Rorty, el cual, a pesar nuevamente de las caricaturas de las primeras recepciones de su pensamiento, constituye un liberalismo de herencia ilustrada. El autor vincula esta propuesta con el criticismo radical de Habermas, quien nunca dejó de lado una apuesta por la normatividad. Siguiendo al autor, esta relación con Habermas parece ser el punto de inflexión crítico en que Rorty toma distancia de la noción de 'posmodernidad'.

El decimoprimer capítulo aborda un tema muy específico y situado: la práctica profesional-académica de la filosofía que, según Susan Dieleman, puede volverse más 'vivable' (*livable*) bajo una concepción rortyana sobre cómo la filosofía *debería ser*. 'Thinking with Rorty about How to Make Philosophy more Livable' nos muestra cómo la concepción de Rorty de la filosofía como una política cultural "tiene sorprendentes y útiles similitudes con el reciente trabajo de Kristie Dotson sobre cómo hacer la filosofía profesional más vivable para sus diversos practicantes" (210).

El siguiente capítulo, 'Poetic Justice?: Rorty's Jurisprudence' es también un muy completo trabajo que estudia la sólida aunque extraña relación de la teoría jurídica estadounidense con el pragmatismo de Rorty. Si bien él no es un jurista ni teorizó suficientemente sobre el concepto de ley, en sus escritos muchos estudiosos del derecho han encontrado material para criticar el formalismo jurídico clásico. Una posible jurisprudencia de cuño rortyano es lo que está en juego en estas páginas de William M. Curtis.

En el último capítulo del libro, 'Achieving Whose Country? Rorty and Baldwin on the United States', Shanon Sullivan vuelve sobre un famoso texto de 1998 que versa sobre la izquierda estadounidense, escrito por Rorty en directo diálogo con el texto de James Baldwin *The First Next Time*, de 1963. Como es sabido, Baldwin fue un crítico de la supremacía racial blanca estadounidense, y uno de los primeros pensadores en intentar construir una identidad para Estados Unidos mediante el anti-racismo. La autora desarrolla una perspectiva categóricamente crítica —y por esto, muy interesante— respecto de la recepción de las ideas de Baldwin por Rorty, concluyendo que el "orgullo por la nación [sostenido por Rorty] es histórica y ontológicamente superficial, produciendo un ideal de una América lograda que debe ser rechazado".

Concluimos que el volumen comentado es un aporte para una renovada recepción del pensamiento de Richard Rorty que, al igual que muchos filósofos y filósofas de su época, no han sido completa y profundamente comprendidos en sus apuestas teóricas sino hasta años recientes. Nos invita también a pensar más generalmente en el fenómeno de las primeras recepciones de pensamientos que, en su extrema radicalidad, tienden a ser reducidos a ideas parciales e incluso caricaturizados y ridiculizados. Si bien el corpus teórico de Rorty es heterogéneo y en muchos puntos problemático en sus análisis y afirmaciones, los textos reunidos en este volumen nos permiten volver sobre esos puntos de inflexión y repensarlos a la luz de las nuevas configuraciones históricas de la filosofía contemporánea. Esto último es, sin duda, el gran valor de un quehacer filosófico que se reconoce en su historicidad y, por lo tanto, en su vocación revisionista y antidogmática.

Bibliografía

- Baldwin, J. 1963. *The First Next Time*. New York: Dell Publishing Co., Inc.
- Lyotard, J.F. 1987. *La condición posmoderna*. Madrid: Cátedra.
- Rorty, R. 1998. *Achieving Our Country: Leftist Thought in Twentieth-Century America*. Cambridge, MA: Harvard University Press. *EP*

Reseña

Mireya Dávila. *Presidencialismo a la chilena. Coaliciones y cooperación política, 1990-2018*. Santiago: Editorial Universitaria, 2020 (ISBN: 9789561126923), 309 pp.

Andrés Estefane
Académico independiente

Presidencialismo a la chilena, de Mireya Dávila, es un estudio sobre el ‘presidencialismo de coalición’ entre el retorno a la democracia y el inicio del segundo gobierno de Sebastián Piñera (2018). El fenómeno ‘presidencialismo de coalición’ comprende dos variables: por un lado, la lógica con que el Ejecutivo administró la relación con los partidos de gobierno a la hora de asignar cargos y distribuir poder, y, por otro, la forma en que estos partidos respondieron a tales incentivos o procesaron los conflictos derivados de esas distribuciones. Para tales efectos, la autora mide la presencia de militantes e independientes en la designación de ministros/as y subsecretarios/as de los siete gobiernos electos a partir de 1989. Dicha medición opera como soporte para un análisis cualitativo de los factores que habrían determinado la relación entre la Presidencia de la República y los partidos oficialistas en la definición de los equilibrios de poder al interior de cada gabinete.

Centrado en el campo de la ciencia política, este libro busca relativizar la literatura que acusa la rigidez de los regímenes presidenciales para sortear escenarios de crisis, y que ha llevado a entender el presidencialismo como un factor de inestabilidad antes que de gobernabilidad democrática. Observando la experiencia de los últimos treinta años en Chile, y en especial los gobiernos de la Concertación, Dávila pretende desactivar dicho determinismo mostrando cómo los mecanismos que el Ejecutivo aplicó para gobernar con sus coaliciones promovieron la cooperación y garantizaron cierto nivel de estabilidad política. Esto no implica, por cier-

to, relativizar el peso de aquellos factores que usualmente se citan para explicar la gobernabilidad concertacionista, como el diseño institucional, el peso de la memoria reciente para estimular la cooperación entre partidos o la dinámica centrípeta del sistema electoral binominal. Siendo importantes, señala la autora, estos elementos no parecen suficientes para explicar la estabilidad del período, y de ahí la necesidad de mirar el presidencialismo de coalición como fenómeno complementario.

Si bien este estudio apareció con posterioridad a la revuelta popular de 2019, el análisis no se hace cargo de esta crisis, lo que deja en suspenso una consideración *post scriptum* de la plasticidad del presidencialismo para contextos de alta irritación social y profunda descomposición política. Como sea, la novedad de esta investigación radicaría en sacar el estudio de las coaliciones y la cooperación entre partidos de su marco habitual, *i.e.*, las democracias parlamentarias, para entenderlas en función del tipo de presidencialismo que imperó en Chile tras la recuperación de la democracia. Se trata de un embargo interesante en esta especie de guerra académica entre presidencialistas y parlamentaristas. Sobre esto, corresponden algunas precisiones: aunque la retórica del libro es siempre mesurada, resulta evidente que aquí hay simpatía por el presidencialismo, que aparece como una fórmula reconciliada con el sistema de partidos. Sabemos que en Chile dicha interacción es antigua y consustancial a su democracia, pero los años de la Concertación se presentan en este análisis como una versión sofisticada y superior de dicho empalme. Ese es el otro posicionamiento del libro: junto al presidencialismo, aquí también hay una identificación clara con la Concertación como proyecto político.

Hay dos conceptos que son clave para el desarrollo del argumento. Uno tiene que ver con la idea de estabilidad y el otro con los mecanismos que ordenaron la relación entre el Ejecutivo y sus partidos de base. Sobre lo primero, el término estabilidad se entiende aquí en términos estrechos, acotado a la integridad de la coalición de gobierno y la durabilidad de los diseños ministeriales, incluyendo a las subsecretarías. El supuesto es evidente: el control sobre la coalición se presenta como requisito indispensable para la gobernabilidad del país. Dada la dinámica que tuvo el proceso político chileno, habría una fuerte correspondencia entre ambos fenómenos: durante el ciclo 1990-2018 no se produjeron ajustes telúricos en ninguno de los dos componentes y los cambios que

efectivamente tuvieron lugar (como la salida de partidos y movimientos fundadores de la Concertación durante el gobierno de Aylwin, o los quiebres y renunciaciones de algunos liderazgos de envergadura desde 2010 en adelante) fueron rápidamente absorbidos o tuvieron impacto de corta duración. Como se puede observar, se trata de una definición operativa para el libro y que encaja bien con el argumento, pero su uso está siempre asediado por una comprensión todavía más compleja de estabilidad, que remite a ese campo amplio e impredecible que llamamos coyuntura, y donde los diseños ministeriales son solo un factor entre muchos. Por eso se torna difícil asumir sin reservas el recorte propuesto, que trata de aislar la relación entre presidencias y coaliciones del resto de elementos y escenas que configuran la política.

El segundo elemento dice relación con los mecanismos que el Ejecutivo puso en práctica para administrar su coalición y apuntalar la estabilidad. Se trata de cuatro reglas de carácter informal, no escritas, que guiaron la composición de los gabinetes: a) lógica suprapartidaria en la designación de ministerios y subsecretarías (escuchando a los partidos, pero manteniendo la autonomía presidencial); b) proporcionalidad entre representación parlamentaria y presencia en el gabinete de las organizaciones y fuerzas políticas que integran la coalición; c) transversalidad en la composición de los equipos ministeriales para evitar que un ministerio devenga feudo de un único partido; y 4) designación de tecnócratas en ministerios clave —Hacienda y Economía, por lo pronto, aunque también en Educación— como una forma de marcar distancia de las burocracias partidarias. La aplicación de estas cuatro reglas informales habría permitido a la presidencia ganar autonomía en el diseño de sus gabinetes, mientras que al obedecerlas los partidos podían seguir accediendo a cargos. La rigidez en el apego a estas reglas es la medida que Dávila utiliza para identificar lo distintivo de cada administración, el significado real del presidencialismo posautoritario en Chile y el peso específico de los partidos políticos en la composición de las primeras líneas de la administración gubernamental.

El libro está dividido en nueve capítulos. Los tres primeros fijan el marco de análisis, tanto en términos teóricos como históricos. De ahí en adelante se presenta el trabajo empírico, siguiendo un diseño algo idiosincrático. El capítulo cuarto ofrece una visión panorámica del problema de investigación con particular foco en los años de la Concertación

(1990-2010) y un tratamiento menos delicado de las administraciones posteriores. El capítulo quinto se enfoca exclusivamente en el gobierno de Patricio Aylwin (1990-1994), escenario inaugural de la nueva dinámica de cooperación entre partidos y primer laboratorio de aplicación de las reglas informales que estarían detrás de la estabilidad y el éxito concercionistas. Los capítulos sexto y séptimo explican el funcionamiento del presidencialismo de coalición en las administraciones de Eduardo Frei, Ricardo Lagos y primera de Michelle Bachelet, analizando cuantitativamente los niveles de representación de los partidos en cada gabinete, las fluctuaciones de los diseños ministeriales y cómo esos índices reflejaron prescindencia o apego a las reglas informales antes referidas. Los dos últimos capítulos replican este análisis para las dos administraciones de Sebastián Piñera y la segunda de Michelle Bachelet, esta vez con la Nueva Mayoría.

Dado que esta investigación apunta a medir la estabilidad de los gabinetes y la cooperación entre partidos a la luz de cómo cada mandatario/a aplicó las reglas informales, las conclusiones son de dos tipos: las referidas a la estabilidad de cada administración, por un lado, y al funcionamiento del presidencialismo de coalición en la democracia reciente, por otro. En términos de estabilidad, el gobierno de Aylwin muestra los índices más altos, pues los gabinetes se modificaron o rotaron con menor asiduidad que en los siguientes. El momento en que se producen los cambios ministeriales también es relevante, y las tempranas modificaciones en las administraciones de Frei y la primera de Bachelet revelan la debilidad de sus diseños de entrada. Respecto de los niveles de representación de los partidos formadores (donde milita el o la mandatario/a) y su relación con los restantes miembros de cada coalición, fue común que los primeros estuvieran subrepresentados en favor de partidos menores que lograban mayor presencia ministerial que la equivalente a su poder parlamentario (este fue uno de los incentivos para la cohesión de las coaliciones). Los casos de la Democracia Cristiana y el Partido Socialista serían ilustrativos de las fluctuaciones en el peso de los partidos formadores, sobre todo la trayectoria de la DC, que en los primeros años aceptó la subrepresentación para mantener la coalición, y hacia el final tendió a disfrutar de sobrerrepresentación dada la disminución de su peso parlamentario (aunque no de su poder concreto en otras franjas de la administración, aspecto que la investigación no considera).

Otro factor interesante es cómo la designación de subsecretarías sirvió como escena de compensación y ajuste en momentos en que el ordenamiento de ministerios podía remover el tablero o abrir escenarios de crisis. Las subsecretarías fueron siempre el espacio más político, incluso en administraciones distantes de los partidos, apaciguando querellas entre colectividades o aproximando a sus tendencias. En cualquier caso, las diferencias más sustantivas emergen desde 2010 en adelante, con las dos administraciones de Sebastián Piñera y la segunda de Bachelet, que por distintas razones (mayor presencia de independientes en el caso de Piñera, promoción de militantes de segunda o tercera línea en el de Bachelet) tendieron a mostrar mayores y variables niveles de prescindencia respecto de sus partidos, lo que habría impactado en el control sobre sus respectivas coaliciones y la estabilidad de sus diseños ministeriales.

El carácter eminentemente descriptivo del primer orden de conclusiones se complementa con el balance general de la experiencia del presidencialismo de coalición, que permite aproximarse a dimensiones cualitativas de la política palaciega de las últimas tres décadas. En términos generales, y esto en respuesta a la literatura de la ciencia política, se concluye que los gobiernos de coalición en sistemas presidenciales no están irremediablemente condenados a la inestabilidad o el fracaso, sobre todo cuando el liderazgo presidencial administra con habilidad las reglas informales que ordenan la relación con los partidos y estos asimilan con disciplina la lógica de composición de gabinetes, comportándose como activos y no como fuente de tensiones para el gobierno. Esto en ningún caso supone reivindicar el peso absoluto del Ejecutivo en la dinámica, pues tales decisiones tendieron a fraguarse atendiendo a las aspiraciones manifestadas por los partidos en función de su envergadura y el reconocimiento de los esfuerzos electorales desplegados por sus bases militantes.

Son diversos los aspectos en que este libro contribuye a la comprensión de la política democrática reciente en los niveles superiores de la administración. Remitámonos a tres. Primero, delinea con propiedad la forma en que la crítica al sistema de partidos del siglo XX, y que la dictadura llevó al paroxismo, determinó la relación entre Ejecutivo y coaliciones en el presidencialismo reciente. Casi todos los gobiernos bajo la Constitución de 1925 ejercieron el poder sobre la base de coaliciones amplias y en algunos casos ideológicamente improbables; asimismo,

fue costumbre que la administración del Estado se organizara en cortes verticales que encapsulaban los ministerios según partido, favoreciendo la feudalización de la gestión. Es ahí donde el presidencialismo reciente marca un corte: reglas como el suprapartidismo en la distribución de cargos y la transversalidad en la composición de los equipos ministeriales fueron entendidas como frenos a la influencia partidaria conocida en el ciclo 1932-1973. Esta constatación, por un lado, vuelve a relativizar que el siglo XX haya sido eminentemente presidencialista, pues los partidos no dudaron en hacer sentir su peso frente a mandatarios imposibilitados de operar sin alianzas relativamente amplias; por otro, el antipartidismo dictatorial y la noción de democracia protegida son claves para entender las opciones 'preventivas' tomadas bajo el presidencialismo de coalición (ahí estaría el germen de la autonomía presidencial), que a su vez sirvió como paraguas de encuentro y disciplinamiento para adversarios significativos durante la Guerra Fría, como el Partido Socialista y la Democracia Cristiana. Ambas colectividades, y este es el segundo elemento, son cruciales para este estudio al haber cumplido en distintos momentos el papel de partidos formadores (asumiendo la articulación de sus coaliciones), y también por los términos en que se definió su cooperación y alianza bajo la pulsión de gobernabilidad transicional. Los logros y deudas de la política de los treinta años deben mirarse también a contraluz de lo que este nuevo tipo convivencia definió como horizonte de acción posible y aquello que se asumió como intransable para los partidos más gravitantes.

Un tercer elemento tiene que ver con la tecnocracia y su papel en la ampliación de los márgenes de autonomía del Ejecutivo. Los tecnócratas suelen ser figuras incómodas en la política, pues su legitimación no está sustentada en votos ni en el trabajo partidario, sino en formas de prestigio y estrategias de instalación miradas con recelo desde las militancias de base. Sin desatender ese escenario, este trabajo avanza en mostrar con datos cómo operaron y qué función cumplieron en el presidencialismo de coalición chileno, sirviendo como cerco relativo a las presiones partidarias sobre posiciones de poder de alta carga simbólica en la administración de lo público —Hacienda, Economía— y también sobre aquellas que entraron abruptamente en la jurisdicción de lo 'técnico' —Educación, Obras Públicas, Transportes o Medio Ambiente. Lo distintivo en este caso es que el grueso de la tecnocracia concertacionista no fue química-

mente pura, pues en lo formal eran también militantes, aunque sin anclajes fuertes en la vida partidaria. Aquí nuevamente destaca la Democracia Cristiana, que tuvo en Cieplan una cantera generosa de cuadros técnicos que posibilitaron mantener a resguardo las posiciones críticas para el funcionamiento del modelo. Similar papel tuvo el aterrizaje de centros como Expansiva, bajo el liderazgo de Andrés Velasco, en la estrategia de prescindencia de los partidos aplicada por Bachelet. Aquí también caben las administraciones de Sebastián Piñera, aunque su divorcio con el mundo político fue más dramático, pues la opción por independientes se tradujo en el arribo de tecnócratas sin trayectoria política alguna, pero con fuertes nexos en el empresariado y los grandes grupos económicos. Si bien no es explorada en detalle, el libro también releva la pregunta por la homogeneidad ideológica de los cuadros tecnocráticos de un país.

Cabe consignar que la obra tiene notorios rípios editoriales, como la repetición de varias notas al pie en los capítulos finales o las pistas de que el libro tuvo un título distinto y que no fue actualizado en el prólogo preparado por el expresidente Ricardo Lagos. Ahora, se trata de cuestiones menos problemáticas que los descuales en el diseño de presentación de resultados, que tendió a privilegiar el período de la Concertación y redujo los gobiernos de derecha y de la Nueva Mayoría a meras anomalías de prescindencia, perdiendo la oportunidad de explorarlos como casos de contraste. Las idas y vueltas entre visiones panorámicas, secciones cuantitativas y cualitativas pudo haberse resuelto mejor flexibilizando el apego a la cronología gubernamental a favor de un ordenamiento según temas o problemas. En otra dimensión, el análisis podría haberse visto reforzado con una mejor caracterización del sistema de partidos (no solo de las coaliciones como fenómeno histórico), lo que hubiese contribuido a corregir las derivas unidireccionales que a ratos se expresan en el análisis y que reducen el fenómeno a la voluntad presidencial como el factor que acierta o fracasa en la definición de la justa proporción entre fuerzas políticas; esto no es algo que atravesase todo el libro, pero dada la identificación con el presidencialismo, la lectura tiende a inclinarse a favor de este extremo de la ecuación.

Con todo, *Presidencialismo a la chilena* es consistente con el propósito de complementar las explicaciones recurrentes sobre la gobernabilidad de las últimas décadas, analizando la forma en que el presidencialismo de coalición y sus reglas informales fijaron un nuevo tipo de relación

entre el Ejecutivo y sus alianzas. En esa clave específica, el trabajo acierta al situar este fenómeno en vectores temporales largos, pues dichas novedades solo se entienden considerando la influencia de los partidos y la dinámica del presidencialismo del siglo XX que la dictadura desmontó para refundar. Las últimas tres décadas se tornan así significativas para la comprensión de las líneas estructurales del sistema político local, y no solo como carcasa institucional de la era subsidiaria en la historia del Estado chileno. *EP*

Reseña

Rafael Sagredo. *8 de agosto de 1828. Un día histórico como cualquiera*. Santiago: Orjikh Editores, 2022. US\$12 (9789569058547), 135 pp.

Lucas Sierra

Centro de Estudios Públicos, Chile

Se acaban de cumplir 194 años desde la promulgación de la Constitución de 1828, la primera Constitución en forma de la historia de Chile y, a mi juicio, la más elegante y balanceada, con un distinguido talante liberal a la hora de articular el poder. También, hoy, al igual que en 1828, vivimos en medio de un nuevo momento constituyente. Tras el triunfo del Rechazo en el plebiscito del 4 de septiembre de 2022, dicho momento busca el camino por el cual seguir. Este libro es claramente un trabajo atento a la contingencia, deliberadamente situado.

Estas coincidencias, estas analogías temporales, resaltan el propósito que el autor atribuye a su trabajo en las primeras páginas: se trata de “una historia inédita que ilustra el presente” (11), sobre experiencias “válidas para nuestro desempeño como personas y como ciudadanos” (11). Rafael Sagredo avanza tres razones para justificar ese carácter ‘ilustrativo’, y su validez moral y política para el Chile de hoy.

En esta reseña intentaré ponderar estas razones. Antes, sin embargo, no puedo resistir la tentación de ensayar algunas comparaciones entre ambos procesos constituyentes, el de 1828 y el que se inició a partir del Acuerdo del 15 de noviembre de 2019. Sé perfectamente que el método comparativo es riesgoso. Si lo es en el derecho al comparar instituciones jurídicas vigentes en distintos países, cómo lo será en la

LUCAS SIERRA es PhD por la Universidad de Cambridge, Reino Unido. Es investigador del Centro de Estudios Públicos, Chile, y profesor de la Facultad de Derecho, Universidad de Chile. Dirección: Monseñor Sótero Sanz 162, Providencia, Santiago, Chile, CP 7500011. Email: lsierra@cepchile.cl.

Este texto se basa en la presentación leída en el lanzamiento del libro de Rafael Sagredo, *8 de agosto de 1828. Un día histórico como cualquiera*, realizada el jueves 11 de agosto de 2022 en la Biblioteca Nacional, Santiago de Chile. Agradezco a Rafael Sagredo y a Puerto de Ideas por la invitación a presentarlo.

historia al comparar fenómenos y acontecimientos separados entre sí por casi dos siglos. Así y todo, hay algunas conexiones interesantes que se pueden ensayar.

Una primera comparación tiene que ver con la noción de 'hoja en blanco'. Se ha dicho que el proceso constituyente 2021-2022 se basa en la idea de hoja en blanco. Creo que hay dos interpretaciones para esta idea. Una es acotada, de técnica jurídica: significa que de haber sido aprobada la propuesta hecha por la Convención Constitucional en 2022, la Constitución vigente habría quedado íntegramente derogada. La Constitución vigente hubiese operado, como lo ha hecho hasta ahora, como regla de defecto. Esta creo que es la única interpretación real del concepto.

Pero ha habido otras interpretaciones de la idea de hoja en blanco, más ideológicas y culturales, en el sentido de que mediante este proceso constituyente, Chile se refundaría. En 1828, la situación era, en los hechos, la de una hoja en blanco. Solo diez años después de haberse afianzado la independencia y tras una seguidilla de ensayos constitucionales, los constituyentes de 1828 parecían partir desde cero. Su proyecto no era refundacional, era fundacional.

Es notable ver que las Leyes Federales de 1826 que, se suponía, reformaban la Constitución de 1823, ni siquiera hacen referencia a esta última. Lo mismo la Constitución de 1828: no hace referencia alguna a las leyes federales de 1826 y, mucho menos, a la Carta de 1823. Y, así y todo, en 1828 se logró diseñar una arquitectura institucional que, como señala Sagredo en su libro, se transformó en un legado para las generaciones posteriores. Volveré sobre la idea de hoja en blanco hacia el final.

Una segunda comparación es la relativa a la situación de la política. Ambos procesos (el de 1828 y el actual) muestran una baja intensidad de los partidos políticos. Hoy, por decisión, porque los partidos existen. En 1828, por la fuerza de los hechos, pues aún no existían esas organizaciones formalizadas y de adscripciones ideológicas más o menos definidas que hoy llamamos partidos políticos. Lo que había eran colectivos más bien difusos o, como lo llama Sagredo, "posturas de quienes terminaron por ser identificados como pipiolos y estanqueros" (32, 33).

Quizás esta circunstancia, esta precariedad partidista, puede haber tenido que ver con la corta vida de la Constitución de 1828. Mucho más cerca en el tiempo, vale la pena preguntarse por el proyecto de nueva

Constitución que dejó en el Congreso la expresidenta Michelle Bachelet, justo antes de terminar su segundo mandato. Ese fue un proyecto hecho al margen de los partidos. Lo reemplazó una combinación de cabildos ciudadanos en varios niveles y un trabajo de redacción concentrado en La Moneda. Sin embargo, una vez recibido en el Congreso, nadie se hizo cargo de él.

La relativamente baja intensidad de los partidos en el momento constituyente de hoy tiene también que ver con una demencial reforma al sistema electoral para elegir a los participantes de la Convención Constitucional, introducida en marzo de 2020, que permitió a los candidatos independientes correr en listas. Por esto tuvieron una presencia desproporcionada en la Convención. Si sumamos a esto a los integrantes de escaños reservados, que tampoco respondían a los partidos, tenemos una influencia partidista bastante menor sobre el proceso constituyente.

Una tercera comparación se relaciona con la distribución del poder. La Constitución de 1828, buscando un compromiso entre federalistas y unitarios, diseñó un interesante modelo de descentralización en el que las provincias proponían y el Presidente de la República elegía (por ejemplo, intendentes y jueces de letras). Uno de los motores del proceso constituyente actual ha sido, también, la distribución geográfica del poder. Aunque el resultado que se propuso, con cuatro esferas de autonomía territorial, distó mucho de la simpleza del de 1828.

También en el ámbito de la distribución del poder, el proceso 2021-2022 como el de 1828 buscó, correctamente a mi juicio, elevar la posición relativa del Congreso frente al gobierno en un régimen presidencial. En ambos textos, por ejemplo (y si esto significa algo), los artículos sobre el Congreso se ubican antes que los referidos al Presidente de la República. La propuesta de la Convención Constitucional, sin embargo, fue algo equívoca: se nos dijo que era un presidencialismo *atenuado*. Pero las facultades presidenciales básicamente fueron mantenidas y se agregó una: la reelección inmediata del Presidente de la República. Con un Servicio Civil que aún no es suficientemente robusto, como es el caso en Chile, la posibilidad de reelección inmediata puede transformarse en un arma política poderosa por la vía del clientelismo.

Hay otras comparaciones posibles, algunas de las cuales expresan diferencias rotundas. Por ejemplo, entre los ejes que cruzan la propuesta que se votó el 4 de septiembre, está la paridad de género, el cuidado del

medio ambiente y la plurinacionalidad. Estas eran materias que brillaban por su ausencia en 1828. Esa Constitución declaraba en su Art. 1º “La Nación chilena es la reunión política de *todos* los chilenos naturales y legales”. La naturaleza no se menciona salvo como hitos geográficos. Y las mujeres, claro, estaban excluidas del ámbito de lo público. El relato de Sagredo menciona a muy pocas mujeres. Un caso es el de la ‘Negra’ Rosalía, quien administraba una popular fonda en el centro de Santiago, en Santo Domingo esquina Teatinos. Otro es el de Mercedes Navarro quien, en noviembre de 1828, asesinó a su marido “con el infame fin de casarse con otro que también tuvo parte en el asesinato” (107). El mundo de las mujeres era el social y el privado, pero no el público.

Podríamos seguir arriesgando comparaciones, pero dejémoslas hasta acá. Me centro ahora en las razones que el autor ofrece para justificar el carácter ‘ilustrativo’ que tendría esta historia para el presente, y su validez para nuestro desempeño como personas y ciudadanos. Sagredo aduce tres razones.

La primera tiene que ver con la constatación del hecho de que aún, en las coyunturas más desafiantes para una sociedad, esta continúa con su existencia y rutina. De las tres, esta me parece la menos relevante. Las sociedades participan de la capacidad adaptativa de la especie humana. Y la experiencia nos enseña que cualquiera sea el desafío de la coyuntura, después de una relativamente breve interrupción, las interacciones que configuran lo social se rearticulan.

La naturaleza es pródiga en coyunturas desafiantes. Recordemos, por ejemplo, el terremoto de 2010. La rutina de la sociedad se paralizó un tiempo, probablemente las semanas en que las telecomunicaciones estuvieron interrumpidas. Pero una vez reactivadas, la rutina comenzó a ser retejada progresivamente. Y más cerca: la pandemia del COVID 19 y sus abominables restricciones. La rutina resultó profundamente interrumpida, pero también la sociedad volvió a construir su retícula. Primero virtualmente, luego de forma presencial.

¿Ha sido distinto con el proceso constituyente que empezó con el Acuerdo del 15 de noviembre de 2019? En absoluto. Obviamente, la rutina de la sociedad se vio alterada por la violencia que se desató obsesivamente a partir del 18 de octubre del mismo año, pero luego volvimos a una rutina que se alteró nuevamente por las restricciones sanitarias. Y el proceso constituyente que desembocó en el plebiscito de salida tuvo

muchas de nuestras comunicaciones crispadas, pero las subyace una rutina que, como todas las rutinas, suele ser pasmosa, saturante, como el paso del tiempo en esta estrofa del poema “El reloj de arena” de Borges (1974, 812):

La arena de los ciclos es la misma.
E infinita es la historia de la arena;
Así, bajo tus dichas o tu pena,
La invulnerable eternidad se abisma.

¿Cómo no iba a ser así en 1828? ¿Cómo no iba a seguir imperturbable la rutina en una sociedad en la que más del 80% de la población era rural y analfabeta, en la que las comunicaciones se limitaban a alguna prensa local que, por burbujeante que fuera, su alcance se limitaba a un más bien reducido público lector, y a un correo llevado a lomo de caballo o mula o por barco para esquivar la Araucanía cuando el destino era Osorno o Chiloé, y que solo a Valparaíso salía diariamente desde Santiago, como señala el autor?

Los fragmentos de la cotidianeidad que hilvana este libro son interesantes y muchas veces reveladores, pero no parecen necesarios como prueba de la porfiada persistencia de las rutinas que dan gravedad a la vida social. Como la base hundida sobre la que flota un *iceberg*.

Vamos ahora a la segunda razón del carácter ‘ilustrativo’ de este relato para nuestros días, y su lección moral y política. Rafael Sagredo escribe que “los hechos, actos y situaciones fundamentales que una comunidad experimenta, no siempre están asociados al acontecimiento inesperado y extraordinario que paraliza la cotidianeidad” (XX). Este argumento parece la contracara del anterior. La cotidianeidad puede resultar paralizada por acontecimientos inesperados o extraordinarios —lo sabemos: el golpe de septiembre de 1973, el estallido de 2019, los múltiples terremotos, la pandemia del COVID 19 como sucedió hace algo más de cien años con la gripe española o la peste de viruela que, nos cuenta el autor, azotaba al país en 1828 (108).

Golpes más o menos sorprendidos, hachazos más o menos invisibles, pueden detener momentáneamente las arenas del tiempo. Pero no son solo estos los hechos que una sociedad puede experimentar como *fundamentales*. Hay otros, como el proceso constituyente de 1828, y yo agregaría, el actual, que en algún momento son tenidos como fundamentales aun cuando convivan —o hayan convivido— con la cotidianeidad.

De nuevo, en esto solo puedo estar de acuerdo con el autor. El mensaje de Francisco Antonio Pinto que acompañó la promulgación de la Constitución de 1828, Constitución elaborada, como nos muestra el libro, en medio del devenir más cotidiano, decía:

Chilenos: Ha llegado el día solemne de la consolidación de nuestra libertad. Ella no puede existir ni jamás ha existido sin leyes fundamentales. Ya las tenemos [...] Las leyes que vais a recibir no son obra tan sólo del poder; lo son principalmente de la razón [...] Observemos la Constitución como el pacto más sagrado que pueden estipular los hombres; como el vínculo más estrecho que puede unirnos con nuestros hermanos; como el antemural más formidable que podamos oponer a nuestros enemigos [...] [La Constitución] Es un tesoro que no podemos perder ni menoscabar sin degradarnos ni envilecernos; es, en fin, el término de tantos sacrificios, la indemnización de tantas pérdidas y el complemento de tantas esperanzas, cuantas han sido nuestras vicisitudes domésticas, desde que rompimos el yugo colonial que nos afrentaba. Chilenos: Consagremos un recuerdo eterno de gratitud a nuestros representantes: ellos son acreedores a que sus nombres se conserven indelebles en la posteridad. Considerad las amargas inquietudes que ha disipado este admirable fruto de sus tareas. (BCN 2022)

Al año siguiente, sin embargo, la Constitución —ese acontecimiento tenido como *histórico*— fue arrugada y tirada al tarro de la basura. Como Sagredo apunta al final del libro, en ese momento fracasó la institucionalidad. Algunas opiniones señalan que la Constitución de 1833 fue una especie de continuación de la de 1828 (por ejemplo, Ossa 2020, 55). Esto quizás pueda ser cierto desde el punto de vista discursivo y, en cierta medida, desde el punto de vista de su esqueleto temático (el que se proyecta hasta la Constitución vigente y algo también sobre la propuesta que fue rechazada en el plebiscito de salida). Pero desde el punto de vista del modo en que concibió el poder y le dio forma institucional, la de 1833 fue un portazo a la de 1828; un portazo que la de 1925 no le dio a la de 1833, ni la de 1980 a la de 1925. Y, sin embargo, casi 200 años después, podemos decir junto al autor que la Constitución de 1828 “dejó un legado que perdura bajo las formas republicanas que nos organizan” (114). Un hito *fundamental*, sin duda.

Y llegamos a la tercera razón que el autor ofrece para justificar el carácter ‘ilustrativo’ de este relato para el Chile de hoy, y su validez moral y política en el tiempo presente. Esta es la razón que me parece más interesante y, a la vez, más enigmática e inquietante. Sagredo escribe: “la

representación de la existencia como tragedia o drama, que transforma cualquier acto o palabra en un hecho épico y definitivo, instantáneamente ‘histórico’ (115), además de dificultar comprender el pasado que llamamos historia, no facilita discernir sobre el futuro que inevitablemente llegará.

¿De quién o de qué está hablando Rafael Sagredo? ¿Quién ha representado —o está representando— cualquier cosa que ocurre como un hecho épico y definitivo, como un hecho ‘instantáneamente histórico’ (una buena expresión)? Con razón al autor no le gusta esto, porque básicamente confunde. Nos confunde hacia atrás (hacia eso que desde el presente llamamos ‘historia’) y hacia adelante, porque nos dificulta discernir sobre el futuro. Es interesante que haya usado este verbo, *discernir*, y no, por ejemplo, anticipar, prever o algo parecido. La historia no es astrología, no predice, pero sí ayuda a moldear el futuro en relación con la política. En la política discernimos el futuro.

Vuelvo a la pregunta: ¿de quién habla Sagredo? ¿Habla de los integrantes del Congreso constituyente? ¿Del presidente Pinto, quizás, quien, como vimos más arriba, consideraba que el 8 de agosto de 1828 era el día de “la consolidación de nuestra libertad”? ¿De los múltiples periódicos que, según nos cuenta el libro a propósito del mes de febrero de 1828, aparecieron con ocasión del momento político que vivía el país? ¿O de los sublevados que condujeron a la batalla de Lircay? ¿De todos ellos? ¿De otros posibles?

Los doce meses de 1828 que nos relata el libro plantean estas preguntas. Y con ellas a cuestas se llega al último capítulo que, sugerentemente, se titula ‘1828-2022’.

En este último capítulo, el autor cambia el tono. Sigue narrando, pero ahora evalúa o, al menos, lo hace más explícitamente. Señala que la trayectoria de Chile como República nunca ha estado ni estará garantizada. Ha sido una trayectoria en la que se ha optado por la ley y la libertad, como en 1828, pero a veces por la violencia y la arbitrariedad, como en 1829 y 1830.

Esa guerra civil no fue inevitable, nos recuerda. Pensar que fue inevitable, agrega, es peligroso porque “nuestro mundo se asemeja en algunos aspectos” (113) a la época que trata el libro: vivimos una crisis política y social, la autoridad parece haberse diluido, hay diferencias profundas y, aunque la mayor parte de las personas opta por la ley,

hay pocos pero poderosos que recelan de la vía institucional. Y en una verdadera exhortación, Sagredo recuerda que en la historia muy pocos acontecimientos son inevitables (yo me atrevería a decir que, en rigor, ninguno lo es).

Imagino a Sagredo escribiendo esto todavía bajo la sombra de la violencia que irrumpió en octubre de 2019. Y pensando: ‘debemos optar por la vía institucional’, ‘debemos optar por la vía institucional’. De alguna manera, esas plegarias parecen haber sido oídas. El Acuerdo del 15 de noviembre de 2019 —más la pacificación forzada de los ánimos que luego impuso la emergencia sanitaria— parece haber sido la vía institucional que respondió a la violencia. En medio de este trance, Sagredo nos sugiere tener presente la historia de fines de la década de 1820 y hacerse hoy la pregunta fundamental: ¿por qué fracasó la vía institucional de 1828? Él deja la pregunta abierta y, acto seguido, para cerrar el texto, vuelve a criticar esa “representación de la existencia como tragedia o drama, que transforma cualquier acto o palabra en un hecho épico y definitivo, instantáneamente *histórico*” (115).

Otra vez la misma cuestión: ¿de quién o de qué estará hablando? ¿Quién es así, como rey o reina de su propia tragedia? ¿Quién anda caminando por ahí, para usar esa perturbadora expresión, como *carne de estatua*? ¿Los revolucionarios o aspirantes a serlo? ¿Los beatos de todo orden? ¿Los que se paran en los peldaños superiores de la escalera de la virtud? ¿Los periodistas que creen que el mundo se crea cada mañana solo para morir en la noche? ¿Las redes sociales, en las que mucho parece ser solo presente? ¿Los historiadores que, en lugar de indagar el pasado, lo amasan para ofrecer una buena nueva? No lo sé bien. Pero me atrevo a sugerir un par de hipótesis, relacionadas entre sí.

Volvamos sobre la metáfora de la ‘hoja en blanco’ que ha acompañado este proceso constituyente. ¿No será ella, en su expresión política, no técnico-jurídica, un ejemplo concreto de esa *representación de la existencia* que el autor, con razón, critica? ¿No subyacerá en esta idea un entendimiento de uno mismo, y del propio tiempo, como algo *épico y definitivo*, como algo *instantáneamente histórico*, pues la historia empieza aquí y ahora?

Agrego a esto un antecedente concreto, un *acontecimiento*, para usar un término que se emplea en el libro. Se trata de la declaración de los partidos de oposición del 12 de noviembre de 2019, casi un mes

después del estallido y tres días antes del acuerdo político. A partir de ese momento tomó fuerza en el discurso la idea de la hoja en blanco. Esa declaración de los partidos decía que, *en los hechos*, con el estallido de octubre se había iniciado un proceso constituyente. Lo interesante es que decía *en los hechos*, en una candorosa confesión de toda su facticidad. ¿No habrá sido ese un caso de asignación instantánea de sentido histórico a un hecho mientras se le vive, un caso de vivir el presente con sentido épico?

Bibliografía

- BCN 2022. Constitución Política de la República de Chile, promulgada en 8 de agosto de 1828. Biblioteca del Congreso Nacional. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1005225&idParte=> [23 de septiembre 2022].
- Borges, J.L. 1974. *Obras completas*. Buenos Aires: Emecé Editores.
- Ossa, J.L. 2020. *Chile constitucional*. Santiago: Fondo de Cultura Económica. *EP*