

MOMENTOS Y EVENTOS DE LA VACUNACIÓN
CONTRA EL COVID-19 EN CHILE

Leonardo J. Basso Sotz

LEONARDO J. BASSO SOTZ

Ingeniero civil y magíster en Ingeniería de Transporte de la Universidad de Chile. Doctor en Economía y Políticas de Transporte de la Universidad de British Columbia. Es Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y director del Centro de Excelencia Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI). Sus principales líneas de investigación son la regulación y competencia en mercados de transporte, así como temas asociados a organización industrial y libre competencia, temas que lo han llevado a participar activamente en diversas iniciativas públicas, como Comisión Asesora Presidencial para desarrollar la Nueva Política Nacional de Desarrollo Urbano. Durante la pandemia de covid-19, lideró equipos en el ISCI que, en conjunto con el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación; el Ministerio de Salud y empresas privadas, trabajaron en varios proyectos para contribuir al manejo de la crisis sanitaria, los que los llevaron a ser galardonados con el premio Franz Edelman 2022. Es senador universitario para el periodo 2022 – 2026.

MOMENTOS Y EVENTOS DE LA VACUNACIÓN CONTRA EL COVID-19 EN CHILE¹

1. INTRODUCCIÓN

Escribir una introducción para explicar lo dramático de la crisis causada por el covid-19 parece ser un ejercicio innecesario. Las experiencias individuales y colectivas que hemos tenido, los cambios radicales en nuestras vidas —los que sufrimos por más de dos años— nuestros muertos y nuestros enfermos de covid-19 prolongado, nos recuerdan a cada instante que la humanidad enfrentó —hace no mucho— uno de sus peores momentos. Historias personales difíciles y muchas veces trágicas, pero compartidas alrededor del mundo.

El desarrollo del covid-19 en Chile tuvo un inicio y un transcurso, a lo largo de nueve meses, similar al de otros países: una lucha constante del sistema de salud por dar abasto, mientras se tomaban severas medidas de confinamiento y de restricción de la circulación para intentar contener el avance mortal del virus. Pero luego, al iniciarse la vacunación, el devenir chileno se desvió respecto de otras experiencias. Este proceso comenzó tempranamente en comparación con otros países en desarrollo, en particular de Latinoamérica, y tuvo como principal característica adoptar, desde el inicio, aquellas vacunas que estaban disponibles por encima de tecnologías más nuevas que, pudiendo parecer ser más deseables, no estaban a mano para el país. A pesar de las dudas que pudo concitar la estrategia, el proceso de vacunación chileno ha sido alabado en el mundo, por su alcance y rapidez, qué duda cabe.

Este artículo se centrará en momentos y características fundamentales que tuvo la vacunación en Chile, de los que posiblemente se ha hablado mucho menos. Para ello, usaremos un cuerpo sólido de evidencia generado a partir de investigación desarrollada en terreno por académicos de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, todos investigadores del Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), en trabajo conjunto con el sector público y privado. Mediante el desarrollo de la vacunación, revisaremos cómo la muy deseable alianza entre la academia, la industria y el gobierno pudo transformar investigación interdisciplinaria de

1. Agradezco a todos mis coautores y personas que trabajaron en las diferentes iniciativas. Agradezco especialmente a los profesores Denis Sauré, Juan Pablo Torres y Miguel O’Ryan.

frontera, en información que permitió tomar mejores decisiones en momentos claves de la pandemia.

2. ANÁLISIS DE MOVILIDAD EN PANDEMIA Y BÚSQUEDA ACTIVA DE CASOS POR MOVILIDAD

La experiencia internacional, particularmente de Europa y China, nos indicaba claramente que la primera línea de defensa contra la pandemia serían medidas de confinamiento. Para ello, resultaba vital tener una buena estimación del efecto real de las cuarentenas en la movilidad de la población.

Para poder llevar adelante esta tarea, en abril de 2020 el ISCI y Entel, la mayor compañía de telefonía celular de Chile, celebraron un convenio de colaboración que permitiese transformar datos de contacto entre equipos celulares y antenas de telecomunicaciones —adecuadamente anonimizados y agregados— en información de movilidad. Esta iniciativa permitió develar información relevante respecto de la adhesión a las cuarentenas. Por ejemplo, la Figura 1 muestra que la disminución de movilidad alcanzó el objetivo del 50% solo en tres comunas, como fue el caso de Las Condes. De hecho, la adhesión resultó menor mientras bajaba la condición socioeconómica de la comuna de la Región Metropolitana estudiada, alcanzando en algunas de ellas disminuciones solo del 20% (Carranza et al., 2022). Peor aún, como lo muestra la Figura 2, las cuarentenas fueron decreciendo en efectividad: si el promedio de baja de movilidad de las primeras cuarentenas alcanzó cerca del 32%, las segundas grandes cuarentenas no llegaron ni al 20%. Todo esto mostraba, claramente, que para superar la pandemia se debía, o alcanzar la inmunidad de rebaño o intentar adelantar lo más posible la vacunación de la población.

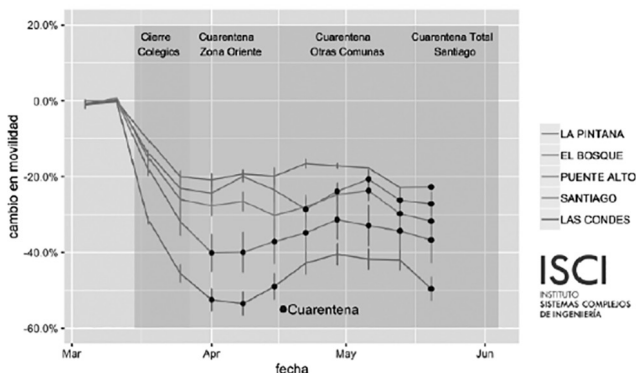


Figura 1. Cambio porcentual en movilidad, para comunas de RM seleccionadas, relativo a la primera semana de marzo de 2020.



Figura 2. Cambio porcentual movilidad agregada nacional, relativo a primera semana de marzo 2020.

Pero esta información de movilidad podía ser utilizada de una manera más astuta. Tras un piloto exitoso en el Servicio de Salud Metropolitano Central, el ISCI en conjunto con la Subsecretaría de Salud Pública del Ministerio de Salud, lanzaron la iniciativa nacional de Búsqueda Activa de Casos (BAC) usando datos de movilidad. La idea es sencilla de explicar: como lo muestra el panel de la izquierda de la Figura 3, la densidad de casos en diferentes partes de una ciudad (en este caso, Valdivia) eran conocidos por la autoridad. La conjetura razonable es que, a partir de dichos casos conocidos, otras personas en hogares y barrios se contagiaban. Esto ocurría más en las zonas de residencia que en las laborales porque, en el trabajo y el transporte público, las personas mantenían medidas de autocuidado, las que se relajaban una vez estando en casa y en el barrio.

El principal problema que se enfrentaba para ir a buscar casos asintomáticos activamente en estas zonas residenciales —y así adelantarse al avance del virus— era que las personas se movían, ya sea porque las cuarentenas tenían poca adhesión o porque la ciudad se encontraba en alguna fase de desconfinamiento. El panel del centro de la Figura 3 muestra la movilidad de entrada en diferentes zonas de Valdivia. La estrategia de búsqueda de activa de casos por movilidad combinó información de casos activos con información de movilidad para cada región, para calcular en qué zonas la probabilidad de capturar casos activos asintomáticos era mayor. En otras palabras, se buscaba determinar dónde era más probable que un operativo BAC fuese exitoso. Resultó que, en muchas ocasiones, estas no eran las zonas de mayor flujo, como lo muestra el panel de la derecha de la Figura 3.

La búsqueda activa de casos fue una iniciativa desplegada a nivel nacional, a lo largo de 16 meses, desde mediados de 2020, y que tuvo un éxito importante en el objetivo de capturar casos asintomáticos (Basso et al., 2023).

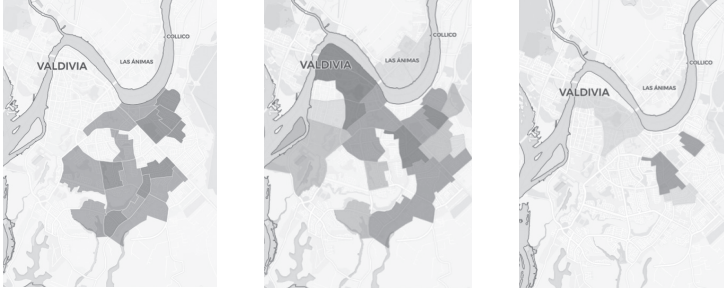


Figura 3. Visualización vía mapas de calor para Búsqueda Activa de Casos (BAC). A la izquierda, casos covid-19 activos por zona censal; en el centro, flujo (movilidad) de entrada por zona censal; a la derecha, índice BAC (top 5) por zona censal.

3. ESTUDIOS POBLACIONALES DE GRAN ESCALA A PARTIR DE DATOS DE MOVILIDAD

Al analizar los datos individuales de las personas que se acercaban a los operativos de Búsqueda Activa de Casos, el equipo de ISCI descubrió que había una amplia cobertura geográfica en cada una de las ciudades. Se concluyó que era posible formar una muestra bastante representativa de la población de una ciudad, testeando en un número pequeño de lugares en el espacio público, si es que estos eran escogidos de manera inteligente. Así, usando los datos de movilidad para escoger sitios para toma de muestras e información, se podría llevar adelante estudios poblacionales de gran escala: la estrategia consistiría en capturar información de un número grande de sujetos, asegurando la cobertura geográfica, para luego escoger de esa muestra grande submuestras que fuesen representativas de aquello que se quisiera estudiar.

En conjunto con el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación; el ISCI, la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y el Servicio de Salud Metropolitano Central se llevó adelante un estudio de seroprevalencia, es decir, se intentó estimar el porcentaje de personas en la población que tenía proteínas en la sangre, llamadas anticuerpos, que indicasen que estuvieron expuestas al covid-19. Al estudiar la seroprevalencia de anticuerpos contra el covid-19 se podía estimar la cantidad de personas infectadas por el virus. En otras palabras, permitiría tener una estimación de cuánto había avanzado el virus y cuán cerca —o lejos— se estaría de la inmunidad de rebaño. Esta idea ya había sido ejecutada en el colegio Saint George, donde se cree que comenzó el brote chileno, por académicos de la Facultad de Medicina (Torres et al., 2021).

Para hacer el estudio, la minera BHP donó una cantidad importante de *Lateral Flow Test*, los que fueron conocidos popularmente como «test rápidos»

de anticuerpos. Estos test son capaces de detectar la presencia del anticuerpo IgG anti-Sars-Cov-2, por lo tanto si la prueba da positivo, se concluye que la persona testeada estuvo expuesta al covid-19. La forma de testear consiste en una punción en el dedo pulgar para extraer una gota de sangre. Cabe recordar que, inicialmente, este mecanismo fue pensado como un «pasaporte» de salida de la enfermedad: si una persona tenía un test positivo, se podría considerar que ya no era susceptible de ser contagiada, por lo que tal vez podría tener menos restricciones que el resto. Sin embargo, varias razones hicieron que dicha idea fuese abandonada². Ahora, si bien los test rápidos no podrían ser utilizados de manera individual, la información que aportaban, desde lo poblacional, sí resultaría valiosa.

Calculamos, primero, el mejor lugar en Santiago centro —en el sentido de la representatividad— para instalar una estación de toma de muestras. En la práctica, las personas se tomaban una PCR en el marco de los operativos BAC, para luego examinarse con un test de anticuerpos. Un equipo del servicio de salud estuvo a cargo del operativo, mientras que los datos se ingresaban en el tiempo en que las personas esperaban el resultado a un formulario web que permitía de manera sencilla levantar información socioeconómica y geográfica, la que además era inmediatamente georreferenciada.

Los resultados de esta iniciativa mostraron que, en marzo de 2021, un 14,5% de la población flotante de la Región Metropolitana que circulaba por Santiago centro presentó test positivos a la presencia del anticuerpo IgG anti Sars-Cov-2. Esto indicaba dos cosas. Primero, que por cada persona que había desarrollado síntomas, tres o cuatro individuos más ya habían estado expuestos al virus, es decir, el covid-19 avanzaba bastante más rápido de lo que mostraban las consultas médicas o el testeo PCR. Pero, por otra parte, quedaba claro que la inmunidad de rebaño estaba muy lejos y no se podía contar con ella para terminar con la crisis. El número de personas susceptibles aún de ser infectadas era muy grande y, por lo tanto, la única estrategia alternativa a confinamientos, cuya efectividad ya era deficiente, era la vacunación.

En efecto, Chile siguió una estrategia pionera de vacunación, apostando por las vacunas que estaban disponibles, como la vacuna Coronavac del laboratorio Sinovac, cuya tecnología era la clásica de virus inactivado, mientras se adquiría las cantidades disponibles —no muchas— de vacunas con tecnologías más

2. Primero, porque el test era sujeto de falsos positivos y negativos que no eran considerados aceptables; segundo, porque no era del todo claro que una persona que ya había estado contagiada no pudiese ser un foco infeccioso; tercero, por el riesgo de reinfecciones y la evolución de la respuesta inmune en el tiempo.

recientes, como las de RNA mensajero de Pfizer o las de vector viral como AstraZeneca, de Janssen/Johnson & Johnson.

4. SEROPOSITIVIDAD DINÁMICA IGG EN PERSONAS VACUNADAS – ESTUDIO NACIONAL

Chile fue uno de los países pioneros a nivel mundial en vacunación, y en particular en usar la vacuna Sinovac de virus inactivado. Esto, por cierto, eran buenas noticias, en particular dado que la inmunidad de rebaño no estaba ni remotamente cerca. Pero implicaba también que no habría información internacional temprana respecto del desempeño de las vacunas —eficacia y efectividad— así como de la seguridad en el mundo real. Por ello, se decidió dar un nuevo cariz al estudio de seroprevalencia. Ya que se podía testear ahora a personas vacunadas, y que en el tiempo ese sería el caso cada vez con mayor frecuencia, se decidió entonces tratar de contestar dos preguntas: ¿Cómo cambia la positividad IgG en el tiempo para personas vacunadas? ¿Qué diferencias hay entre vacunas?

En conjunto con la Subsecretaría de Redes Asistenciales (SSRA), se levantaron 29 estaciones de testeo a lo largo de todo Chile, una por cada servicio de salud. Estas estaciones dedicadas se localizaban dinámicamente, es decir, en lugares diferentes en días distintos, de acuerdo a la información de movilidad, con el objetivo de representar de mejor manera a la población, para lo cual se usaron métodos de programación entera. En cada estación había dos personas de la SSRA, una que se encargaba de testear y otra que se encargaba de ingresar la información en el formulario web. Desde el ISCI se entrenó a casi un centenar de personas en el manejo de los mapas de localización óptima de las estaciones (ver Figura 4a para un ejemplo) y en el uso de la plataforma web (ver Figura 4b).

El primer set de resultados fue entregados a las autoridades en julio de 2021, y reportados a la comunidad internacional en un artículo publicado en *The Lancet Infectious Diseases* en septiembre del mismo año (Sauré et al., 2021). Las conclusiones más importantes se derivan de las figuras 5a y 5b, que muestran la positividad de los test rápidos de anticuerpos en función de las semanas transcurridas desde la primera y segunda dosis. Se reporta también la seroprevalencia en personas no vacunadas, de manera de poder, efectivamente, identificar si la vacuna generó anticuerpos en un porcentaje de la población mayor de aquella que presenta test positivos sólo por haber estado expuesta al virus.

Concentrémonos primero en la vacuna Sinovac (Fig. 5a) y particularmente en las primeras semanas. Lo que el gráfico indica es que, a la segunda semana

de la primera dosis, la positividad IgG alcanzaba cerca del 20% siendo estadísticamente mayor que la seroprevalencia de los no vacunados. A la semana cuatro de la primera dosis, dicha positividad se acercaba el 30%. En las semanas 4 y 5 se colocaron las segundas dosis. A la segunda semana de la segunda dosis, semana 6 desde el inicio, la positividad alcanzaba ya el 80%. Esta era una excelente noticia, ya que indicaba que la vacuna Sinovac generaba, en efecto una fuerte reacción inmunológica.

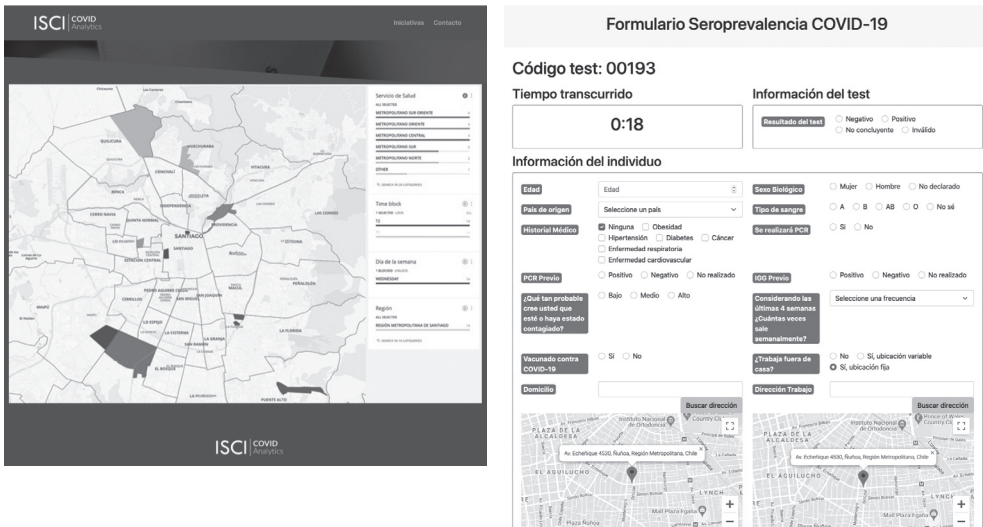


Figura 4. (a: panel izquierdo) Ejemplo ubicación (zona censal) de estaciones de testeo para los servicios de salud de la Región Metropolitana, para un día miércoles. (b: panel derecho) Captura de pantalla formulario de recolección de información estudio de seroprevalencia covid-19.

Respecto de la vacuna Pfizer, lo que la Figura 5b muestra es que a la semana 4 de la primera dosis, la positividad IgG ya se alzaba al 80%. La segunda dosis reforzaba este positivo resultado, elevando la positividad al 96% dos semanas después.

5. LA IMPORTANCIA DEL INICIO DE LA VACUNACIÓN Y LA VARIANTE GAMMA

Pausamos un momento el análisis de la dinámica IgG, dejando las semanas posteriores a la séptima desde la vacunación para ser analizadas en la sección siguiente. En la presente sección, en cambio, contaremos una historia que, en nuestra opinión, aún no es del todo conocida.

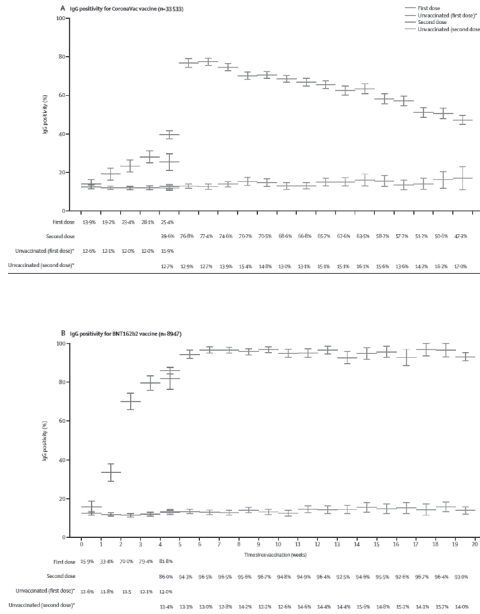


Figura 5. Seropositividad en función del tiempo después de una primera o segunda dosis de vacuna CoronaVac (a: panel superior) o BNT162b2/Pfizer (b: panel inferior) BNT162b2. Fuente: Sauré et al., 2021, The Lancet Infectious Diseases.

En el ISCI, como resultado de una iniciativa que buscaba predecir la demanda por camas UCI de personas gravemente enfermas por covid-19 (Goic et al., 2021), había una vigilancia permanente del estado de las camas UCI. El sistema de vigilancia utilizaba un modelo de dos colas consecutivas para predecir la demanda por camas. Se usó, como insumo, la serie de nuevos contagios sintomáticos por edad, eliminando así la necesidad de predecir nuevos casos. Para alguien que requería UCI, el tiempo entre inicio de síntomas e ingreso a UCI y el tiempo de estadía allí, se modelaban como distribuciones binomiales, para lo que se usó información de las UCI del Hospital Clínico de la Universidad Católica. La probabilidad de caer en UCI dada infección, por rango etario, se calculó usando la Ley de Little, con lo que se obtenía el modelo predictivo.

La Figura 6 muestra, en línea clara, la predicción y su intervalo de confianza mientras que, en línea oscura, está la ocupación UCI real. Las predicciones son diferentes por rango etario y, como puede observarse, funcionaron muy bien hasta febrero de 2022. Pero en ese momento, la predicción comenzó a dejar de acertar. El número de personas que requerían UCI comenzó a despegarse de la predicción que, por meses, había funcionado bien. Algo había cambiado y había alterado dramáticamente la conversión de contagios en UCI.

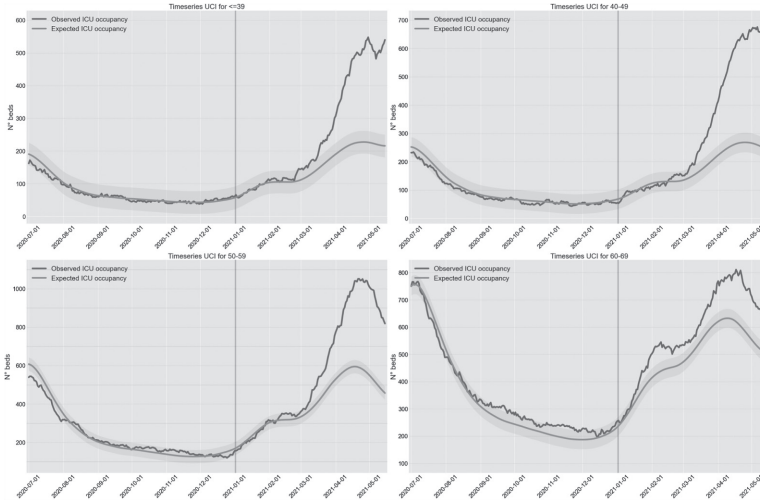


Figura 6. Ocupación UCI real (oscura) y predicha (línea clara), por rango etario, usando el modelo 2020. Fuente: Sauré et al., 2023, *PLOS One*.

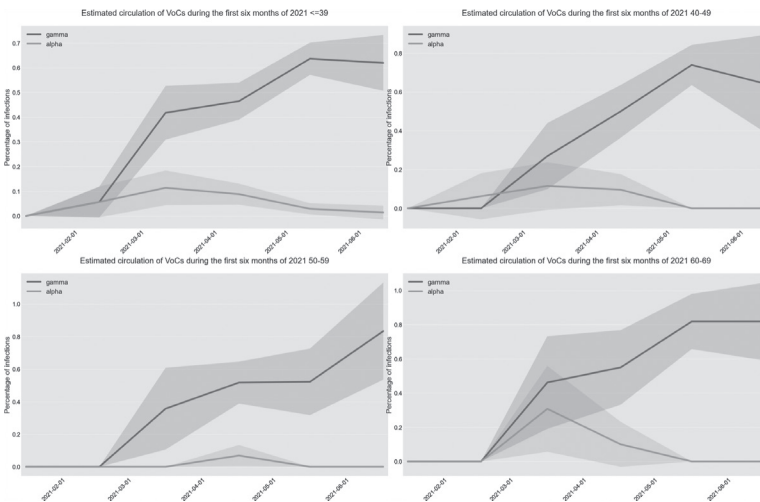


Figura 7. Estimación de la circulación de las variantes Beta (línea clara) y Gamma (línea oscura), durante los primeros cinco meses de 2021. Fuente: Sauré et al., 2023, *PLOS One*.

¿Cuál había sido ese factor? La acelerada irrupción de una nueva variante del covid-19, la variante Gamma (ver la Figura 7). En efecto, esta variante (también conocida como variante brasileña o P.1) había comenzado a circular ampliamente en Brasil en enero de 2021, extendiéndose rápidamente por América, reemplazando a la variante Beta. Con la información de la amplia y rápida circulación de esta nueva variante, chequeamos potenciales cambios en

todos los otros parámetros del modelo. Tras este análisis, la única variable que quedó por ajustar fue la probabilidad de caer en UCI si el contagio era con variante Gamma versus si era con la cepa original; se llamó a este «la severidad de la variante». De acuerdo a la información de circulación del virus en Chile, se ajustó entonces la severidad de la variante Gamma para intentar restablecer la predicción. El resultado gráfico es el que se muestra en la Figura 8. Como puede verse, el ajuste volvió a ser importante.

¿Cuánto más severa resultó ser la variante Gamma? Para los menores de 60 años no vacunados, una infección con variante Gamma aumentaba la probabilidad de caer en UCI entre 3,5 y 4,5 veces, un fenómeno a todas luces dramático. Peor aún, una vez que una persona caía en UCI por una u otra variante, su probabilidad de morir era la misma. Es decir, una infección con variante Gamma aumentaba también la probabilidad de que una persona no vacunada muriera entre 3,5 y 4,5 veces (Sauré et al., 2023). Todo esto indica que la vacunación en Chile, que comenzó el 3 de febrero de 2021, llegó en un momento crucial: la vacuna de virus inactivado comenzó a generar inmunidad en la población justo en momentos en que una variante tremendamente severa la acechaba. De hecho, la efectividad de la vacunación, que comenzó con las personas mayores, puede apreciarse en las curvas de camas UCI utilizadas para los mayores de 50 años, que comenzaron a decrecer hacia abril y mayo de 2021.

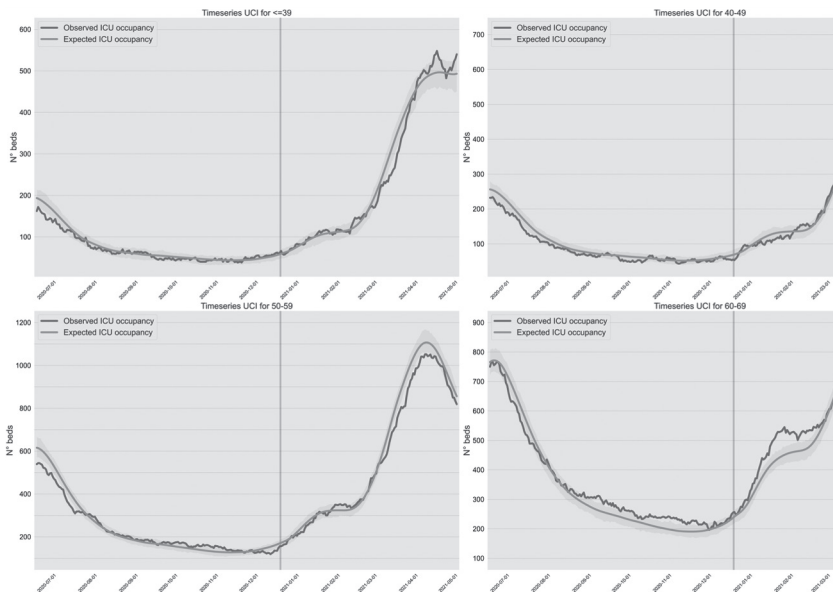


Figura 8. Ocupación UCI real (línea oscura) y predicha (línea clara) por rango etario, usando el modelo 2021 ajustado por la severidad de la variante Gamma. Fuente: Sauré et al., 2023, *PLOS One*.

Otra manera dramática de comprender la importancia del momento del inicio de la vacunación en Chile es viendo lo que sucedió en otros países americanos que tuvieron que enfrentar la variante Gamma sin vacunas. Se puede conjeturar, con bastante base, que parte de la estela de muerte que el covid-19 causó en Latinoamérica tiene que ver precisamente con esta situación. En efecto, entre los 25 países con el mayor exceso de muertes relativo a las muertes reportadas están Perú, Ecuador, Bolivia y México (primeros cuatro lugares), además de Colombia, Brasil, y Paraguay (Msemburi et al., 2023). Otros países que también enfrentaron Gamma, pero con procesos de vacunación masiva en marcha, como Estados Unidos y Canadá, no están en esta lista. La estela de muerte causada por esta variante solo comenzó a ceder cuando esta fue reemplazada por una variante más contagiosa pero menos severa, como lo fue Delta, y con el avance —finalmente— de la vacunación.

6. TERCERA DOSIS Y VACUNACIÓN HETERÓLOGA

Al volver a la Figura 5, se puede apreciar que después del salto en positividad IgG generado por la segunda dosis de Pfizer, dichas positividades se mantuvieron altas por hasta al menos 20 semanas, e incluso más si se miran datos no reportados en este artículo. La positividad de la vacuna Sinovac, en cambio, comenzó a decrecer sostenidamente desde la semana 7. Un análisis más detallado mostró que dicho decrecimiento fue aún más pronunciado para mayores de 65 años. Esta información, junto con otros estudios de laboratorio, fueron claves para impulsar la decisión de poner terceras dosis siguiendo una estrategia heteróloga, es decir, poner una tercera dosis con vacunas con tecnologías más modernas, las que ahora sí estaban disponibles para Chile. En efecto, Chile fue de nuevo pionero, esta vez, en la inoculación de terceras dosis, llegando a ser el líder mundial desde octubre de 2022 en adelante, y por lo menos a lo largo de seis meses.

¿Cuál fue su efecto? De nuevo, el sistema de vigilancia dinámico del IgG permitió, desde el ISCI, levantar información relevante, la que fue recientemente reportada a la comunidad internacional a través de una publicación en *The Lancet Microbe* (Sauré et al., 2023). La Figura 9 muestra la positividad a contar de la fecha de inoculación de una tercera dosis, administrada sobre dos dosis de vacunación primaria con Sinovac. Tanto para una tercera dosis con Pfizer, como para una tercera dosis con Astrazeneca, las positividades saltan, incluso dentro de la primera semana, al 98-99%. Estos son valores que están por encima de lo que dos dosis de Pfizer obtenían.

De lo anterior se concluye que, por una parte, la vacunación heteróloga tuvo un impacto muy importante para volver a levantar anticuerpos IgG anti Sars-Cov-2, lo que da un buen correlato de protección: las terceras dosis fueron protectoras. Por otra parte, se puede apreciar que su efecto, esta vez, fue muy rápido, ya que las positividads se incrementaron incluso al día 7 de la tercera dosis. Una vez más, Chile tomó una decisión en el momento preciso: el país lideraba en terceras dosis justo en momentos en la que la variante Omicron, tremendamente contagiosa, comenzaba a capturar el mundo, en octubre de 2021.

Cabe mencionar, para cerrar esta sección, que también se estudió la respuesta inmune en población escolar, lo que realizamos en conjunto con el Mineduc (Torres et al., 2022). Los resultados mostraron altas positividads en las poblaciones estudiadas, lo que permitió generar confianza respecto del retorno de niños y niñas a sus colegios.

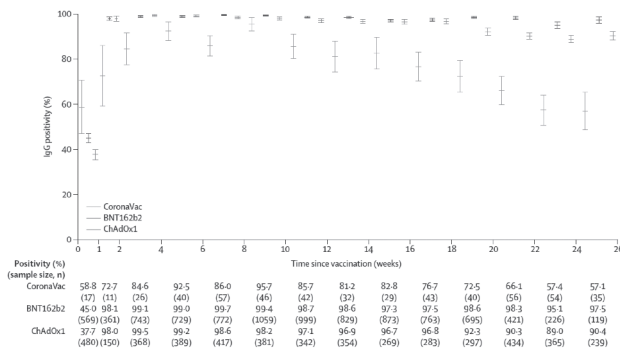


Figura 9. Seropositividad en el tiempo entre individuos vacunados con CoronaVac (esquema primario) que recibieron una dosis de refuerzo. Fuente: Saure et al., 2021b, *The Lancet Microbe*.

7. CONCLUSIONES

En este artículo hemos revisado momentos y eventos de la vacunación contra el covid-19 en Chile, a la luz de evidencia científica desarrollada desde la Universidad de Chile y el ISCI, en conjunto con socios del sector privado y público. Esto es una de las mayores lecciones y aprendizajes: es posible trabajar con el sector externo innovadora y colaborativamente para generar información y herramientas de impacto real y concreto en el país, al mismo tiempo que de tales colaboraciones resultan productos científicos de alto nivel. De hecho, el trabajo desarrollado fue galardonado con el Premio Franz Edelman 2022, que el Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS)

entrega anualmente a la mejor intervención de ingeniería aplicada del mundo (Basso et al., 2023).

La interdisciplina, en particular en la interacción entre ingeniería y las ciencias de la salud, es un camino promisorio y que continuaremos caminando, pues ha quedado claro que permite enfrentar de una nueva manera los problemas de salud y posiblemente con mejores resultados.

REFERENCIAS

- Basso, L.J., Goic, M., Olivares, M., Sauré, D., Thraves, C., Carranza, A., Weintraub, G.Y., Covarrubia, J., Escobedo, C., Jara, N., Moreno, A., Arancibia, D., Fuenzalida, M., Uribe, J.P., Zúñiga, F., Zúñiga, M., O’Ryan, M., Santelices, M., Torres, J.P., Badal, M., Bozanic, M., Cancino-Espinoza, S., Lara, E. & Neira, I. (2023). Analytics Saves Lives During the COVID-19 Crisis in Chile. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 53(1):9-31.
- Carranza, A., Goic, M., Lara, E., Olivares, M., Weintraub, G., Covarrubia, J., Escobedo, C., Jara, N. & Basso, L.J. (2022). “The Social Divide of Social Distancing: Shelter-in-Place Behavior in Santiago during the Covid-19 Pandemic”. *Management Science*, 68(3), 2016-2027.
- Goic, M., Bozanic-Leal, M., Badal, M. & Basso, L.J. (2021). COVID-19: Short-term forecast of ICU beds in times of crisis. *PLOS One*, 16(1):e0245272. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245272>.
- Msemburi, W., Karlinsky, A., Knutson, V. et al. (2023). The WHO estimates of excess mortality associated with the COVID-19 pandemic. *Nature* 613, 130–137.
- Sauré, D., O’Ryan, M., Torres, J.P., Zuniga, M., Santelices, E. & Basso, L.J. (2021). Dynamic IgG Seropositivity in Chile following rollout of an inactivated SARS-CoV-2 vaccine (CoronaVac) and an mRNA vaccine (BNT162b2): a sentinel surveillance study. *The Lancet Infectious Diseases*, (21)00479-5.
- Sauré, D., I. Neira, M. Goic, M. O’Ryan, J.P. Torres, A. Bruhn, M. Ferres, J. Angulo-Troncoso, M. Vera, & L.J. Basso, (2023). Infection with SARS-CoV-2 Variant Gamma (P.1) in Chile Increased ICU Admission Risk Three to Five-Fold. *PLOS One* [forthcoming].
- Sauré, D., O’Ryan, M., Torres, J.P., Neira, I., Zuniga, M., Soto-Rifo, R., Valiente-Echeverría, F., Gaete-Argel, A., Saavedra, A., Acevedo, M., Archila, C., Acuña, F., Rain, M. & Basso, L.J. (2023). COVID-19 lateral flow IgG seropositivity and serum neutralizing antibody responses after primary and booster vaccinations in Chile. *The Lancet Microbe*, URL: [https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247\(22\)00290-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247(22)00290-7/fulltext).
- Torres, J.P., Piñera, C., De la Maza, V., Lagomarcino, A.J., Simian, D., Torres, B., Urquidí, C., Valenzuela, M.T. & O’Ryan, M. (2021). Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 antibody prevalence in blood in a

large school community subject to a coronavirus disease 2019 outbreak: a cross-sectional study. *Clinical Infectious Diseases*, 73(2), pp. e458-e465.

Torres, J.P., Sauré, D., Basso, L.J., Zuniga, M., Cazor, A. & O’Ryan, M. (2022). SARS-COV-2 IgG positivity in vaccinated and non-vaccinated Chilean children: a national cross-sectional study in Schools. *International Journal of Infectious Diseases*, <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2022.04.039>.