

Síntesis de los aportes realizados por miembros de la Academia Nacional de Ciencias Económicas al estudio de los problemas económicos relacionados con la pandemia del covid-19

FERNANDO NAVAJAS, ALFREDO M. NAVARRO, ALBERTO PORTO

La Academia Nacional de Ciencias Económicas (ANCE) está compuesta actualmente por treinta y cuatro Académicos de Número y diez Académicos Correspondientes. Se han recibido nueve contribuciones de los primeros y dos de los segundos han expuesto sus trabajos en el Instituto de Economía Aplicada “Dr. Vicente Vázquez-Preedo”, que es parte de ANCE. Todas ellas reflejan las opiniones personales de los autores, que no tienen necesariamente que coincidir con las de los demás miembros, ni reflejan la opinión de la Institución.

En todos los casos los trabajos fueron preparados en un período de tiempo muy breve, que comienza en el segundo trimestre del corriente año, por lo que algunos de ellos probablemente sean revisados por sus autores y sufran modificaciones.

La compleja naturaleza del problema objeto de estudio hace que resulte dificultoso extraer de ellos conclusiones definitivas y se considera que se debe ser muy cuidadoso en el caso de que se los utilice para orientar acciones de política económica.

Hildegart Ahumada y Fernando Navajas, presentaron su trabajo titulado *COVID-19 bajo fases inciertas. ¿Qué nos enseña el caso argentino?*, en el que hacen una caracterización de la evolución del COVID-19 que parte de lo que consideran es la hipótesis más probable sobre la evolución incierta de la pandemia, que prevé una secuencia de diferentes ciclos con duración y magnitud desconocidas durante 18-24 meses desde su comienzo en Marzo de 2020. Sostienen que este patrón implica una estrategia de investigación en la que el pronóstico de series de tiempo a corto plazo de la evolución de los casos observados y las muertes juega un papel central tanto en la detección de la evolución de la pandemia como en la estimación de los parámetros estructurales e indicadores -necesariamente cambiantes- de un modelo SIRD. Ilustran su enfoque con el desempeño de la Ciudad de Buenos Aires (CABA), porque además de haber sido parte central del “start-up” de la pandemia y en donde inicialmente la cuarentena fue más estricta, luego describió un caso notable de rebrote y contención en barrios carenciados que creen que constituye el

único ejemplo exitoso en la Argentina de una estrategia de “testeo y aislamiento” que debió haber sido una extensión inteligente de política de intervención focalizada que no se llevó a cabo en el país. Afirman que el método propuesto en el trabajo se puede ampliar para incluir cuestiones de heterogeneidad, no linealidades de los efectos de las restricciones a la movilidad sobre los contagios, cuestiones referidas a la saturación del sistema de salud y al proceso observado en las muertes. Entre los principales resultados de su estudio se encuentra la evidencia del efecto temporal no uniforme de las restricciones a la movilidad que, con un rezago de 8 días sobre los casos observados, registra una no linealidad que muestra una significativa efectividad para los niveles iniciales en Marzo que luego se diluye en el tiempo, resultado que significa que los efectos de las restricciones a la movilidad son heterogéneos entre zonas o regiones en función de la evolución de la pandemia y, a su entender, contribuye al debate de políticas de intervención ocurrido entre Mayo y Septiembre entre los gobiernos de la CABA y de la Provincia de Buenos Aires. Otro resultado importante se refiere a la dinámica de fallecimientos, que se relaciona con nuevos casos registrados entre 16 y 19 días antes, y que registra una resistencia a converger a tasas bajas como se ha observado en los países de la región. Este fenómeno consideran que desnuda un problema con el “recorrido” de la experiencia argentina que, en ausencia de una estrategia de salida virtuosa o inteligente del éxito inicial en haber optado por una cuarentena temprana, puede terminar con niveles similares, en muertes por millón de habitantes, que lo observado en países vecinos, lo cual implicaría una sustancial elevación de las muertes.

Guillermo Calvo el día 29 de abril del corriente año presentó desde Nueva York su comunicación *Notes on Global Blitz Stop*, en la que analiza la situación financiera y monetaria que ha producido tanto en los países desarrollados como en los emergentes la pandemia de COVID-19, que considera que tiene importantes paralelos con las crisis anteriores, a las que llama *Global Blitz Sudden Stop (GBSS)*, es decir detenimientos bruscos del nivel de actividad, que ocurren generalmente en un abrir y cerrar de ojos y producen un pandemio. Se caracterizan por producir un brusco *flight to quality* (salida de activos riesgosos a otros que los son menos, fundamentalmente Obligaciones del Tesoro de los Estados Unidos), lo que produce un GBSS en los mercados emergentes (EM). Esto produce el fortalecimiento de las monedas de los países desarrollados, que les ocasionaría, si no tomaran ninguna medida, deflación y crecimiento de su deuda doméstica, debido a lo que se conoce como efecto Fisher, que hace que la deuda crezca en términos reales en la medida en que caen los precios. Por otra parte, en los EM se producen detenimientos bruscos en el nivel de actividad, inflación y devaluaciones. En la medida en que se

produce un GBSS, ni la cantidad real de dinero ni los precios reaccionan, por lo que se produce un aumento en los precios de las Obligaciones de la Tesorería, y dado que los países emergentes también ven disminuir sus reservas, aumenta la volatilidad y obliga a los Bancos Centrales y a la Reserva Federal de Estados Unidos a hacer crecer la Base Monetaria, lo que ilustra con un gráfico que representa el total de activos de la Reserva Federal que muestra que se triplicaron entre el año 2008 y la actualidad, llegando a seis millones de millones de dólares en la actualidad. Mientras tanto en los EM se produjo una caída del Producto Bruto Interno (PBI) y un crecimiento del tipo de cambio real y de la inflación. Si bien considera que la inflación ayudó a recuperar el nivel de actividad por la depreciación de la deuda y la caída en el salario real, advierte que puede producir un aumento insostenible de la cantidad de dinero y especialmente de encajes remunerados, como ha ocurrido en el pasado. Si bien en el corto plazo el financiamiento por parte del Banco Central es la opción disponible, se debe tener en cuenta que puede llevar al *default* de la deuda o a la hiperinflación cuando el déficit del gobierno se financia en su mayor parte con *seigniorage*, es decir con emisión. Por eso sostiene que se deben mantener bajo control las presiones inflacionarias, que de lo contrario podrían destruir el sistema de pagos, afectando el capital de trabajo de las empresas y las transferencias al sector informal, lo que hace necesario enviar mensajes claros sobre las metas de inflación. Termina presentando un modelo matemático con el que trata de demostrar que a medida que la tasa de interés a los encajes remunerados se va acercando a la tasa de inflación, esta crece descontroladamente, aún permaneciendo constantes los saldos monetarios reales.

Rinaldo Antonio Colomé, en su ensayo *Pandemia. Coyuntura crítica, y oportunidad para revertir la decadencia de Argentina* plantea que ante la pandemia del Covid-19 la alternativa es el “aislamiento social”, pero que el obligatorio (“cuarentena”) está causando una profunda caída de la actividad económica -quizá será la mayor de los últimos cien años- y requiere que el estado auxilie a los sectores más desprotegidos, lo que incrementa considerablemente el déficit fiscal del gobierno nacional, financiándolo con emisión monetaria espuria. Estamos en una profunda crisis (“coyuntura crítica”). El Presidente decretó una cuarentena prematura, que lo fortaleció, pero su popularidad ha ido cayendo no sólo por las consecuencias económicas, sino también por la privación -a través de decretos de necesidad y urgencia- de derechos que consagra la Constitución por proyectos de estatización, modificación del Poder Judicial (PJ), aumento de miembros de la Corte Suprema de Justicia (CSJ), mientras se agrava la decadencia de Argentina, que es, fundamentalmente, institucional.

La hipótesis de este ensayo es que la crisis causada por la pandemia, pero sobre todo por la “cuarentena”, sumada al estancamiento de la economía, confluye en una profunda crisis imposible de superar si el gobierno y la oposición no llegan a acordar un cambio sustancial en las instituciones y en su observancia. Que el mayor deterioro es en el PJ, resultando en sumisión y debilitamiento en relación con los otros de la república –lo que sumado a demoras y/o inoperancia en algunas circunstancias- está causando un significativo deterioro en las garantías que consagra la Constitución, siendo ésta la causa fundamental de la decadencia ya casi secular de la Argentina.

En base a períodos institucionales observados en dos trabajos anteriores del autor, se profundiza aquí el análisis, principalmente en relación con el PJ y con la CSJ, con el objeto de verificar las hipótesis planteadas.

Verificado ello, se plantea qué hacer. En lo político, hacer algo similar a lo que dio éxito desde la sanción de la Constitución de 1853 hasta los inicios de la década de 1930: el restablecimiento de la república federal, dedicada a su objetivo específico que es el suministro eficiente de los bienes públicos, semipúblicos y una asistencia social eficiente, con reducción del gasto y de la carga tributaria hasta alcanzar el superávit, única forma de eliminar la inflación, fomentar el ahorro y favorecer la inversión, con un mercado de cambios libre, una vez logrado un tipo de cambio real de equilibrio. Esto es posible con el crecimiento económico esperable resultado del nuevo escenario. El equilibrio de los poderes se logra fortaleciendo al PJ a través de un Consejo de la Magistratura independiente del poder político, integrado por magistrados y miembros de colegios profesionales y de las academias nacionales afines con el derecho; respecto a la CSJ, acordar un número de jueces inamovible (cinco miembros –aparte de ser el número histórico- parece ser eficiente). Con relación al federalismo: un nuevo pacto fiscal que devuelva a las provincias sus potestades tributarias, aumentando la correspondencia fiscal.

En lo económico, reglas de juego para el libre funcionamiento de los mercados, tanto internos como externos. Para los de bienes y servicios, la política económica prescribe: los mercados competitivos no deben ser regulados, salvo circunstancias; los mercados oligopólicos, también en libertad, sujetos a la defensa de la competencia; los monopolios naturales, operados por empresas privadas reguladas a través de entes específicos, con el criterio de sustentabilidad a largo plazo. Los mercados de servicios de factores de producción deben operar también con la máxima libertad. De éstos, el más importante, el mercado de trabajo: flexibilizar el despido, substituyendo el actual sistema por un seguro de desempleo; descentralizar acuerdos salariales y condiciones de trabajo; democratizar los sindicatos, limitando la reelección de los dirigentes; auditar las obras sociales.

Lo que se postula no es una utopía; *mutatis mutandi* son las instituciones de los países que han alcanzado un alto nivel de ingreso per cápita, y cuasi eliminado la pobreza. Es difícil de acordar, sí, pero es necesario.

Omar Chisari contribuyó con su trabajo *Cambio Tecnológico y desempeño de las Economías: una evaluación del impacto de la pandemia de COVID-19 para ocho países de América Latina en Equilibrio General Computado*, en el que usa modelos de Equilibrio General Computado para ocho países de América Latina, para simular escenarios del impacto de la adopción de tecnologías capital intensivas o ahorradoras de factor humano. Considera que dicho cambio tecnológico puede ser el resultado de la aplicación de primas de riesgo sobre el contenido de trabajo de los bienes y servicios debido a la pandemia y que los modelos son similares para todas las economías, recursivos dinámicos con desempleo. A modo de ilustración estudia en primer lugar el escenario en el que una prima de riesgo es cargada sobre el contenido de trabajo y como es de esperar el efecto es muy negativo para el PBI y para los niveles de actividad y de bienestar. Analiza a continuación tres casos de cambio tecnológico, que le permiten observar 1) que una mayor elasticidad de sustitución entre trabajo y capital nuevo (móvil entre sectores) tiene también un impacto negativo sobre el crecimiento y el bienestar debido a la escasez de ese tipo de capital y que la propensión a ahorrar pone un límite a la cantidad de capital móvil disponible. 2) Que cuando se supone que la mayor sustitución abarca todo el capital (no sólo el nuevo, sino también el ya instalado) el efecto es positivo de corto plazo (los primeros años), aunque vuelve a ser negativo en el más largo plazo. 3) Finalmente, que si el cambio de la tecnología implica una reducción de la cantidad de trabajo necesaria por unidad de producto compensada con un incremento del capital móvil requerido (también por unidad de producto) del mismo monto, el impacto es negativo sobre el crecimiento en todo el período considerado. Destaca, por último, que en la mayor parte de las simulaciones el crecimiento de bienestar de los quintiles va en el mismo sentido que el PBI, y sin grandes diferencias entre grupos de ingreso.

La contribución de Juan Carlos de Pablo es su trabajo *Corononomía: Testimonio de los seis primeros meses*, que está compuesto por 26 notas que publicó en *Contexto*, su *newsletter* semanal entre marzo y agosto del corriente año. En ellas analiza, desde la perspectiva de la teoría económica, diversas cuestiones relacionadas con los efectos de la pandemia sobre la economía, así como las medidas adoptadas por el gobierno para enfrentar la situación, que en muchos casos son medidas de política económica o tienen efectos sobre la actividad económica. Comienza analizando la medida adoptada por el gobierno de retrotraer el precio del alcohol en gel, cuyo

precio se había cuadruplicado, al que tenía en el mes de febrero pasado, mientras dispone que las empresas que lo fabrican deben utilizar al máximo su capacidad instalada. Dado que los precios de los insumos y del costo de la mano de obra van a aumentar para las empresas, se pregunta si la medida no puede producir el efecto contrario al deseado, es decir reducir la oferta y contribuir al desabastecimiento. En muchas de sus notas sostiene que el conocimiento de cómo funciona la pandemia es muy reducido, y expone la diferenciación que hace Knight entre riesgo e incertidumbre, siendo esta última la situación en que nos encontramos, lo que constituye una característica de los distintos escenarios que analiza. Destaca la conveniencia de presentar los gráficos de evolución de la pandemia en escala semi-logarítmica, ya que es mucho más fácil comprender el comportamiento de una variable cuando se la expresa en forma lineal, como ocurre en este caso. Se refiere también a ciertos cambios que van a perdurar en las relaciones laborales, ya que hemos aprendido a trabajar conectados por Internet y considera que es un cambio irreversible por las ventajas que ofrece. Todas sus notas están escritas en lenguaje exento de tecnicismo, pero bien fundamentadas en la teoría económica

Víctor J. Elías, y Ana G. Elías están elaborando un trabajo titulado *La relación dinero-precios (M-P) durante pandemias y depresiones*, del que nos han adelantado los avances que han realizado y su programa de tareas restante. Analizan las relaciones dinero-precios (M-P) y dinero-producto bruto interno (M-PBI), las que sostienen que han sido estudiadas extensivamente como forma de evaluar la política monetaria, tratando de determinar el rol exógeno o endógeno del dinero en los movimientos del nivel general de precios y de la actividad económica. Señalan que en muchos de los estudios se puso especial atención en los períodos de alta inflación y las caídas abruptas del PBI, como el caso de la depresión del 29 (lo que hoy se llaman “accidentes históricos”), pensando que eran situaciones que facilitarían la identificación del rol de M como causa o efecto. Para tener más confianza en los resultados ampliaron la base de datos aumentando notablemente el período de tiempo analizado para un cierto país, o bien subiendo la cantidad de países incluidos en el estudio. Estos estudios pusieron su visor especialmente en fenómenos de índole económico. La pandemia 2020 llevó a poner los ojos también en fenómenos de tipo epidemiológico, los cuales podrían presentar dinámicas distintas, especialmente en el corto plazo. Consideran que la teoría cuantitativa brinda una excelente herramienta para respaldar la relación dinero-precios y que la relación dinero-PBI en el corto plazo fue sustentada primero empíricamente en los estudios de los ciclos económicos viendo especialmente expansiones y recesiones profundas. Por otro lado consideran que el análisis del sector financiero agregó elementos para

sustentar la conexión dinero-PBI, así como que la teoría cuantitativa que genera la demanda de dinero justifica ver una relación de largo plazo dinero-PBI, ya que uno de los determinantes de la demanda es el PBI. Para el largo plazo estarían también modelos de crecimiento en donde el dinero entra como uno de los insumos en la producción.

Entienden que la conducta de la cantidad de dinero es muy relevante para explicar las fluctuaciones de la actividad económica y de las caídas muy grandes como son los casos de depresiones económicas, y otras de origen epidemiológico, guerras, y de fenómenos de la naturaleza.

Describen su tarea restante afirmando que su análisis se concentrará en la relación dinero-precios, aunque también presentarán la conducta del PBI en algunos casos. El enfoque será de tipo descriptivo de búsqueda con comparaciones gráficas de fácil interpretación y “robustas” en sus mensajes, por lo cual debe considerarse como una primera mirada al problema (al controlar algunas variables es como un “sustituto” de una estimación más formal econometricamente). Por ejemplo, como un primer resultado pueden señalar que con datos anuales, para el Reino Unido (período 1270-2020) la correlación entre las tasas de cambio relativos de dinero y precios es baja cuando el dinero crece menos de 10%, y es alta y positiva para crecimientos mayores al 10%, lo que podría interpretarse como que las medidas que tratan de reprimir una inflación son menos efectivas cuando el dinero crece a tasas altas. Señalan que van a cubrir los casos de Argentina, Brasil, Chile, Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia, para el período 1800-2020, y para Gran Bretaña para el período 1270-2020. Los datos serán anuales salvo para el año 2020, los que serán mensuales.

Primeramente, se proponen analizar lo ocurrido en la relación dinero-precios en los sub-períodos de pandemias y depresión, y luego considerarán el período completo. Destacan que de una primera vista grafica a esta relación luce que no es fácil llegar a un diagnóstico, y que es necesario mirar los gráficos con el apoyo de diversos instrumentos, lo que podría deberse a que las definiciones de dinero y precios se ven afectadas por los sistemas monetarios en vigencia, ya que el período analizado es muy extenso y los países estudiados tienen importantes diferencias y si bien esto luce como un problema, piensan que puede ayudar a obtener conclusiones más generales.

Leonardo Gasparini, en colaboración con Cristian Bonavida Foschiatti contribuyeron con su trabajo *Asimetrías en la Viabilidad del Trabajo Remoto. Estimaciones e Implicancias en Tiempos de Cuarentena*, en el que analizan la modalidad de trabajo remoto, teletrabajo o *home office*, que se ha vuelto progresivamente más frecuente. Su relevancia se ha agigantado en el contexto de la crisis sanitaria des-

encadenada por el Covid-19. Dado el aislamiento social obligatorio vigente y su extensión en el tiempo, la viabilidad de trabajar desde el hogar es un factor determinante para dimensionar la exposición de ocupaciones y trabajadores a los efectos negativos del shock. Señalan que la estimación de la viabilidad del trabajo remoto para cada ocupación requiere información sobre sus características, contexto y tareas que permita inducir las posibilidades reales de continuar con las actividades laborales habituales desde el hogar y que, desafortunadamente, información con ese grado de detalle no se encuentra disponible para Argentina. En este estudio los autores apelan a la base de datos de O*NET para salvar esta dificultad y destacan que, si bien la base se focaliza en el caso de Estados Unidos, su uso internacional está extendido y que O*NET proporciona información detallada y periódicamente actualizada sobre las tareas, habilidades requeridas y ámbito de trabajo asociados a un conjunto de casi mil ocupaciones individuales clasificadas por un código de ocupación estándar. Su estudio está basado en dos dimensiones que resultan informativas sobre la viabilidad de trabajar remotamente: las *actividades que implica la ocupación* y las *características de su entorno*. En base a estas características determinan la posibilidad de trabajar remotamente para más de 800 ocupaciones, y luego aplican esta medida al equivalente de esas ocupaciones en el clasificador de ocupaciones utilizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) y relevado en la Encuesta Permanente de Hogares (EPH).

Las estimaciones de los autores sugieren que, en las condiciones actuales, sólo alrededor de un cuarto de la población ocupada podría trabajar bajo la modalidad remota y el grado de aplicabilidad de esta modalidad por ocupación e industria es muy heterogéneo, así como que las ocupaciones menos compatibles con el teletrabajo están caracterizadas por una mayor proporción de trabajadores informales y cuentapropistas, con niveles de educación, calificación y salarios más bajos. Por ejemplo, la tasa de informalidad laboral es 22% entre los trabajadores con posibilidades de teletrabajo y 57% entre aquellos para los que el trabajo remoto es inviable.

El trabajo incluye una simulación de ingresos sencilla, de corto plazo y de equilibrio parcial, que asume una caída de ingresos para aquellas ocupaciones informales e incompatibles con el trabajo remoto. Los resultados de ese ejercicio sugieren que los efectos negativos de corto plazo de la pandemia serían mayores en los estratos de menores recursos, lo que implicaría un aumento significativo de la pobreza y las brechas de ingreso en el país, aun considerando el efecto paliativo de medidas de ayuda social recientemente implementadas.

Alfredo M. Navarro, cuyo trabajo se titula *Una Nota con algunas reflexiones sobre los modelos económicos relacionados con el COVID-19*, procura sintetizar la labor realizada por los economistas en este campo. Comienza describiendo el mo-

delo SIR (Susceptibles-Infectados-Recuperados) que se inspira en los trabajos de Ronald Ross (1857-1932), galardonado con el Premio Nobel de Medicina en 1902 por sus trabajos sobre la malaria, y fue desarrollado en 1927 por tres científicos ingleses, W. Kermack (bioquímico), A. G. McKendrick (médico) y G. T. Walker (estadístico), quienes dieron forma al modelo que, con modificaciones, se sigue aplicando hasta la fecha. En su formulación original está conformado por cuatro ecuaciones diferenciales que, una vez conocidos los parámetros correspondientes, permite analizar la trayectoria de las tres categorías de componentes de la población referidos, en una forma relativamente sencilla. La trayectoria de la cantidad total de infectados sigue el curso de una función logística, como ocurre con muchos fenómenos biológicos. Luego se refiere a los trabajos que tratan de determinar una trayectoria óptima para la cuarentena, que consideran por un lado su costo, teniendo en cuenta los salarios que se dejan de generar debido al distanciamiento social, y por la otra la disminución de la pérdida de vidas humanas, que se valúan de acuerdo a la contribución al PBI que hubieran hecho las personas fallecidas en el resto de su vida activa. Algunos trabajos analizan la probabilidad de que se pueda contar con una vacuna, otros analizan el efecto de realizar distintos tipos de distanciamiento en función de la edad y otros consideran la conveniencia de postergar el contagio para evitar la congestión del sistema hospitalario. Una segunda categoría de trabajos utiliza métodos econométricos para realizar pronósticos a un plazo relativamente corto, de una o dos semanas (un ejemplo de este tipo de trabajos es el que sintetizamos más arriba, de Ahumada et al. (2020)), que siguen la metodología diseñada por un grupo de economistas ingleses que están referenciados en el trabajo. Esto ha permitido realizar pronósticos que compiten con los que realiza el Imperial College de Londres. Además, describen trabajos que analizan otras cuestiones, tales como los problemas fiscales y monetarios, los efectos distributivos y el incremento de la pobreza y la comparación histórica con otras pandemias, tales como la pandemia conocida como *gripe española* que tuvo lugar después de la Primera Guerra Mundial. El trabajo hace luego algunas reflexiones sobre los costos de la cuarentena, tales como la no concurrencia al sistema sanitario de personas con otras enfermedades, los problemas psicológicos derivados del distanciamiento, el incremento del consumo de alcohol y drogas, lo que Angus Deaton, (premio Nobel año 2015) denomina *muertes por desesperación*. Analiza también la estimación del costo de la cuarentena en función del valor asignado a la vida humana, que es un criterio de dudosa aplicación, y que en caso de ser utilizado debería ser corregido adicionando el costo de las secuelas de la enfermedad que todavía no son conocidas. Todo esto produce problemas institucionales que no son sencillos, ya que no está clara la intervención en el diseño de las políticas de los distintos niveles jurisdiccionales

ni hasta dónde es lícito reducir las libertades individuales. Considera que estos problemas son de difícil solución, pero como es necesario actuar a pesar de ello, es preciso hacerlo recurriendo al sentido común, ya que en muchos casos no existen procedimientos que puedan considerarse basados en el conocimiento científico.

Alberto Porto, en colaboración con Luciano Di Grecia (2020), en su trabajo *Pandemia: Los Múltiples Desafíos que el Presente Plantea al Porvenir: El Rol de los Gobiernos Provinciales y Municipales*, analizan el comportamiento de los gobiernos de dichas jurisdicciones, y señalan que ambos pueden realizar un aporte de gran importancia para enfrentar la pandemia, dada la importancia de sus actividades, el hecho de desarrollarlas a lo largo del territorio y la proximidad con los residentes. El aporte depende de tres variables: a) el nivel de gasto y el tipo de bienes que proveen; b) la forma de financiamiento; c) el empleo público. En este trabajo se documenta el papel que juegan en la crisis sanitaria y económica de los que surgen lineamientos para las relaciones fiscales inter jurisdiccionales hacia el futuro. El gasto primario de la nación es igual al 17,8% del Producto Bruto Interno, el de las provincias 14,1% y el de las municipalidades 3,1% (2019). La nación se especializa en el pago de transferencias (jubilaciones y pensiones, promoción social, subsidios varios) que insumen el 75,8% de su gasto; las provincias y municipalidades se especializan en la producción de bienes (salud, educación, justicia, seguridad, servicios urbanos) al que destinan el 74,6 y 93%, respectivamente de sus gastos. La participación de las provincias y municipalidades es muy importante en Educación Básica (97,4%), Salud (47,7%), Seguridad (61,3%), Justicia (66,7%), Servicios urbanos (100%), Agua y alcantarillado (60%) y Vivienda y Urbanismo (90%). A esta importancia cuantitativa de los bienes se agrega la proximidad con los residentes que canalizan sus demandas hacia el nivel de gobierno más próximo. En 2016 ocupaban 2,9 millones de personas que constituyen el 6,7% de la población total. Representaban el 79,6% del empleo público total, participación que se corresponde con los requerimientos de trabajo para su provisión. Esta participación en el empleo es importante para dar cierta estabilidad al mercado de trabajo en medio de la crisis y por comprender todo el territorio nacional. La cantidad y calidad de los bienes provistos depende del financiamiento. Tanto las provincias como las municipalidades son “transferencias dependientes” lo que constituye una limitación a su autonomía -las provincias financian el 49,7% de sus gastos con coparticipación y otros aportes nacionales; las municipalidades el 61,5% con coparticipación y otros aportes provinciales, siendo heterogénea la situación entre provincias. Los recursos propios de los dos niveles de gobierno están constituidos en alrededor del 75% en impuestos distorsivos que gravan actividades económicas (Ingresos Brutos y la Tasa por Inspección de Seguridad e Higiene). A lo largo del tiempo (al menos en el

último medio siglo) la nación avanzó sobre los recursos provinciales para financiar sus gastos en un contexto de pujas y tensiones. La falta de una ley de coparticipación federal de impuestos fue el centro de la puja que finalizó con la pobre calidad actual de los bienes públicos. El mandato de la Constitución Nacional de 1994 de contar con un nuevo régimen antes del 31 de diciembre de 1996 quedó en el olvido, revelando el fracaso de la política en un tema central para el país. Para asegurar el financiamiento de estos bienes, que son de gran importancia en condiciones normales y más aún ante la crisis económico-social y sanitaria de la pandemia, no sólo es necesaria la ley de coparticipación sino también modificar los sistemas tributarios propios considerando su coherencia con el sistema tributario nacional.

Dos de los Académicos Correspondientes presentaron sus trabajos en la forma de documentos de trabajo, los que fueron expuestos recientemente en nuestro Instituto de Economía Aplicada “Dr. Vicente Vázquez-Presedo”. El primero de ellos por Fernando Álvarez¹, *A Simple Planning Problem for Covid-19 Lockdown* y el segundo por Rody Manuelli², titulado *Optimal Management of an Epidemic: Lockdown, Vaccine and Value of Life*. Los dos trabajos procuran determinar la trayectoria óptima de la cuarentena, desde perspectivas distintas, para lo que usan el método conocido como *programación dinámica*.

Los nueve aportes que hemos resumido y las dos presentaciones referidas expresan la labor de los miembros de ANCE en lo referido al análisis de la pandemia del COVID-19 desde la perspectiva de la econometría, del estudio de las repercusiones institucionales, los problemas monetarios y financieros, sus efectos sobre las finanzas públicas, la distribución del ingreso y la organización laboral y los modelos de equilibrio general computable, entre otras cuestiones. Esta multiplicidad de puntos de vista para el análisis, creemos que es imprescindible para que podamos comprender los desafíos que el presente plantea al porvenir.

Los trabajos que hemos resumido pueden verse completos en el sitio web de la Academia Nacional de Ciencias Económicas, cuya dirección es <http://www.anceargentina.org>, excepto el trabajo de Leonardo Gasparini y Cristian Bonavida Foschiatti, que puede consultarse en el sitio web del Centro de Estudios Distributivos, Laborales y Sociales (CEDLAS) de la Universidad Nacional de La Plata <http://www.cedlas.econo.unlp.edu.ar/wp/>

1 Realizado en colaboración con D. Argente y F. Lippi.

2 Realizado en colaboración con C. Garriga y S. Sanglu.

■ Perspectiva desde las ciencias exactas y naturales

Introducción

Esta pandemia ha revelado, como nunca, las enormes desigualdades y los graves problemas que aquejan a nuestra sociedad. También ha puesto de manifiesto la importancia indudable de la ciencia para resolverlos. La Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN) delegó en varios de sus miembros su aporte a esta publicación (que aparecen con el símbolo *entre los autores), respetando las miradas de las distintas disciplinas que conviven en su seno.

La irrupción de la pandemia y su gran competencia de transmisión ha movilizó a la comunidad científica mundial. Esta pandemia también ha revelado situaciones consolidadas en campos tan diferentes como la informática y el medio ambiente, que, sin embargo, deben ser corregidos.

Hemos ordenado las contribuciones según el enfoque. La primera destaca el papel desempeñado por la epidemiología, la virología y la inmunología; la segunda la importancia del modelado matemático para disminuir el grado de incertidumbre; le sigue luego una contribución que se refiere al aporte del Control automático, una herramienta utilizada en varios campos de la ciencia y la tecnología, para regular la cuarentena. A continuación de éste, un experto en informática explica por qué la computación móvil no se utilizó como herramienta para combatir la pandemia. La penúltima está dedicada a energía y calidad de aire en las grandes ciudades, haciendo referencia a un experimento inesperado, fruto de la pandemia. La última explica como la detección del virus en aguas residuales puede utilizarse como método de vigilancia epidemiológica.

1. Una mirada desde la Química la Biología y la Inmunología

Autores: GABRIEL A. RABINOVICH¹, LORENA LAPORTE¹, NORMA SBAR-BATI NUDELMAN^{2*}

La diseminación global del SARS-CoV-2, agente viral responsable de la enfermedad COVID-19, desencadenó una crisis sanitaria global declarada pandemia el 11/3/20. A partir de la confirmación de su etiología viral, investigadores chinos revelaron rápidamente la secuencia genética de este coronavirus lo cual desempeñó un papel crucial en el control de su propagación. Pero lejos de ser un fenómeno bien comprendido, aún prevalece una gran incertidumbre. El ciudadano común se enfrenta a una verdadera “infodemia”, muchas veces proveniente de fuentes de veracidad y reputación cuestionable, añadida a la vertiginosa realidad de un mundo hiperconectado por las redes sociales. En este contexto, los científicos poseen la responsabilidad intransferible de verificar la información y transmitirla a la población de una manera crítica, rigurosa y clara.

Pero la incertidumbre en ciencia no implica duda como ocurre en el uso cotidiano, la incertidumbre científica es una medida cuantitativa de la variabilidad de los datos, se refiere a la idea que todas las mediciones tienen una gama de valores supuestos y no un valor puntual preciso; una medición puede tener distintos niveles de confianza. Para pronosticar la evolución del proceso epidemiológico se utilizan modelos que han resultado efectivos para otras epidemias [1]. Con el objetivo de clarificar algunos términos, en la primera parte de esta sección se discutirán brevemente algunos conceptos epidemiológicos básicos.

La Prevalencia, P , examina los casos (C) existentes en una población de N individuos, expresada como porcentaje, $P = (C/N)100$; así la seroprevalencia expresa la cantidad de casos detectados por “testeos rápidos” (serológicos) en una población determinada (ej. un barrio). Mientras que la Incidencia, I_n , examina los casos nuevos, $I_n = (\text{Casos nuevos}/N) \times 100$, es útil cuando se quiere evaluar algo nuevo (ej. una terapia, una estrategia, etc.). En ambos casos es importante el tamaño de la muestra, N , para que sea representativa. Por otro lado, las investigaciones sobre el paciente cero son relevantes para tratar de dilucidar el origen de la enfermedad. Así, se han encontrado porciones del ADN del gen en análisis de aguas residuales de diversas localidades de Francia y también en Barcelona (España), en muestras datadas en 2019, y algunas en 2018.

¹ Instituto de Biología y Medicina Experimental, (IBYME), CONICET

² Instituto del Ambiente (IA), Academia Nacional de Ingeniería

La predicción de una nueva observación tiene un error aleatorio, y será más acertada cuantas más variables se incluyan. Las variables utilizadas pueden ser cuantitativas (indicadores biológicos, susceptibles de medición) o cualitativas (comportamiento humano, confinamiento, movilidad y transporte, fatiga social e impacto económico) [2]. A los efectos de este capítulo, los casos observados C , se expresan como la suma de individuos: Infectados (I); Susceptibles (S); Recuperados (R); y Fallecidos (D): $C=I+S+R+D$. Cada una de las 4 variables son funciones del tiempo (t), que se rigen por una tasa de infección α , una tasa de recuperación β , una tasa de mortalidad γ y su interacción con grupos de susceptibles e infectados. Aunque los individuos de todas las edades y sexos son susceptibles al COVID-19, parecería que las personas mayores con una enfermedad crónica de base tienen más probabilidades de infectarse gravemente; los individuos con infección asintomática actúan como fuente de contagio para las personas susceptibles. La experiencia sugiere que el modo de transmisión es principalmente de persona a persona por contacto directo, gotitas y fómites. El análisis de los conjuntos de datos disponibles sugiere que el tiempo de incubación previsto más largo es de 14 días.

1.1 Indicadores biológicos

Pueden variar por región y están influenciados por el volumen de testeos, la calidad del sistema de salud, las opciones de tratamiento, el tiempo transcurrido desde el brote inicial, las características de la población tales como edad, sexo y salud general. Un indicador es la tasa de letalidad (L) el cual refleja el porcentaje de individuos diagnosticados que mueren por la enfermedad. Otro es la tasa de mortalidad por infección (M), que mide el porcentaje de personas infectadas (diagnosticadas o no) que mueren por la enfermedad. La curva de velocidad de aumento de casos y el índice de contagiosidad, R_0 , son dos factores que suelen tenerse en cuenta para evaluar la evolución de la pandemia. Cuando la velocidad de aumento disminuye significa que el problema está controlado. El R_0 indica la cantidad de personas que contagia a diario un individuo infectado por COVID, cuando el $R_0 < 1$ significa que el número de contagios tiende a disminuir, independientemente de la cantidad de infectados de ese día en particular.

1.2 Diagnóstico

Las pruebas de ARN permiten diagnosticar el COVID-19 utilizando la técnica de RT-PCR en tiempo real en muestras de hisopado nasofaríngeo. Los niños infectados experimentan en la mayoría de los casos solo una forma leve de enfermedad y se recuperan rápidamente, aunque recientemente se ha detectado un síndrome inflamatorio en pacientes pediátricos ya recuperados de esta patología.

1.3 Etiopatogenia

La proteína viral Spike (S) es una de las llaves que utiliza el virus SARS-CoV-2 para infectar células epiteliales del pulmón usando como receptor a la enzima convertidora de angiotensina-2 (ACE2), una proteína transmembrana que se expresa en células epiteliales del aparato respiratorio y otros órganos. Una vez que el virus interactúa con la proteína S, ésta es procesada por distintas enzimas del huésped, entre las cuales se encuentra la serino-proteasa TMPRSS2, la cual facilita la entrada del virus a células blanco. Una vez instaurada la infección, el virus desencadena diferentes tipos de respuestas inmunológicas a los fines de controlarla en la mayoría de los pacientes. De hecho, se estima que el 80-85% de la población infectada es asintomática o con una patología leve [4].

La respuesta inmune innata, responsable de controlar la infección en etapas tempranas, involucra la liberación de mediadores solubles como interferones tipo 1, citoquinas pro-inflamatorias (factor de necrosis tumoral, interleuquina (IL)-1 β , IL-18 e IL-6) y mediadores celulares como neutrófilos y macrófagos, que actúan en forma coordinada activando programas antivirales. Sin embargo, el SARS-CoV-2 ha generado diversos mecanismos de evasión de la respuesta inmune temprana. Posterior a estos eventos tempranos, se desencadena la respuesta inmune adaptativa a partir de células presentadoras de antígeno, particularmente células dendríticas, que al encontrarse con el virus SARS-CoV-2, lo procesan y presentan a linfocitos T vírgenes en ganglios linfáticos. Los linfocitos T activados se dirigen luego a tejidos inflamados a los fines de cumplir su función efectora. Mientras que linfocitos T CD8+ cumplen una función citotóxica eliminando células infectadas por SARS-CoV-2, linfocitos T CD4+ son los responsables de cooperar con linfocitos B que al diferenciarse a células plasmáticas producirán anticuerpos de tipo IgM, IgG e IgA. Estos anticuerpos, con la potencialidad de neutralizar el virus, pueden ser detectados por enzimoimmunoensa-

yo (ELISA). Estos tests serológicos poseen, al momento, sólo valor epidemiológico, permitiendo identificar poblaciones infectadas y articular estrategias de control y salud pública adecuadas. Sin embargo, son temas aún en debate el valor pronóstico, la duración y la capacidad protectora de anticuerpos específicos luego de erradicada la infección. Finalmente, un grupo de linfocitos T y B específicos adquirirán un fenotipo de memoria, que cumplirá un rol clave ante el posible reingreso de este coronavirus, activando de una forma más eficiente y rápida los mecanismos de protección. En efecto, este es el objetivo central de los diferentes esquemas de vacunación: generar una respuesta protectora segura, efectiva y específica mediada capaces de prevenir o atenuar infecciones futuras con el mismo virus. En este contexto, se ha demostrado que pacientes recuperados presentan en circulación linfocitos T y B de memoria específicos contra diferentes proteínas, tanto estructurales como regulatorias del SARS-CoV-2 (5). Más aún, se ha observado que individuos no expuestos al SARS-CoV-2, que han sido infectados a lo largo de su vida con otros coronavirus estacionales, experimentan cierta protección al SARS-CoV-2 a partir del reconocimiento por parte de linfocitos T de memoria de fragmentos similares en otros coronavirus, fenómeno denominado “memoria cruzada”. Si los mecanismos de inmunidad innata y adaptativa se desarrollan de una manera sincronizada y regulada, estos procesos resuelven la infección en un lapso de 2 a 3 semanas. Sin embargo, pacientes que evolucionan desfavorablemente desarrollan un proceso inflamatorio caracterizado por una “tormenta de citoquinas” mediada por las interleuquinas mencionadas y monocitos/ macrófagos activados que migran desde el torrente sanguíneo hacia el parénquima pulmonar. De este modo, pacientes críticos que experimentan un deterioro progresivo de su estado clínico presentan como patrón común la dificultad de resolver de una manera exitosa la respuesta inflamatoria asociada a la infección. Esta limitación, producto de un desbalance entre la respuesta inmune innata y adaptativa, conlleva además de la activación sostenida de monocitos y la liberación de mediadores pro-inflamatorios, una dramática disfunción de linfocitos T en sangre periférica. Los mecanismos subyacentes a fenómenos paradójicos de inmunosupresión e inflamación descontrolada son objeto de un gran número de investigaciones actuales. Estudios recientes demuestran que en forma concomitante a la respuesta inflamatoria se manifiestan fenómenos trombóticos y de disfunción endotelial. En este escenario, ha cobrado reciente protagonismo la bradiquinina, péptido responsable de fenómenos vasculares. Se propuso que, una vez que el virus ingresa al organismo, éste afecta el sistema renina-angiotensina-aldosterona, regulando la presión sanguínea y modulando los niveles de bradiquinina en sangre. Los niveles de este péptido aumentan la permeabilidad de los vasos sanguíneos, generando severas lesiones vasculares [4].

Sin embargo, no obstante los esfuerzos realizados, aún no se han develado los mecanismos precisos que subyacen a las diferencias clínicas entre pacientes que desarrollan infecciones asintomáticas, leves, moderadas o severas. En este sentido se ha propuesto que condiciones inflamatorias, vasculares o metabólicas previas (cardiopatías, obesidad, diabetes, etc), predisposición genética, y cierta inmunidad pre-existente a virus relacionados podrían contribuir a las diferentes presentaciones clínicas de esta enfermedad. En este contexto se ha especulado que, además del fenómeno de memoria inmunológica cruzada, ciertos individuos poseen un sistema inmune innato más entrenado, como consecuencia probable de la exposición a ciertas vacunas (ej. BCG) o a patógenos relacionados [3,4].

La pandemia del SARS-CoV-2 desafía a inmunólogos en diferentes frentes:

- Diagnóstico a través del desarrollo de tests específicos y sensibles, accesibles a toda la población;
- profilaxis asociada al desarrollo de vacunas efectivas y seguras;
- diseño de nuevas terapias que permitan prevenir síndromes inflamatorios y vasculares y evitar desenlaces fatales y
- investigación profunda y rigurosa de mecanismos inmunopatogénicos asociados a la evolución clínica de la enfermedad.

Según los últimos informes difundidos a agosto de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) contabilizó 165 ensayos de vacunas para COVID-19 en todo el mundo, de los cuales 140 aún están en la etapa preclínica y 26 avanzaron hacia las pruebas clínicas en humanos. De esas 26, al menos 7 proyectos transitan la fase 3, etapa en la que se evalúa la seguridad y la eficacia clínica a nivel masivo antes de ser aprobada por las entidades regulatorias. Las diferentes plataformas de vacunas propuestas incluyen:

- vacunas a RNA de la proteína Spike o restringido al dominio RBD de dicha proteína;

vectores virales inocuos, por lo general adenovirus humanos o de primates no humanos, que contienen en su interior genes de la proteína Spike;

- la proteína Spike recombinante; y
- el virus SARS-CoV-2 inactivado. Cada una de estas plataformas presenta ventajas y desventajas asociadas a su seguridad, capacidad inmunogénica, costos y factibilidad de desarrollo en países con distinta infraestructura.

No obstante, el horizonte es alentador, teniendo en cuenta la baja tasa mutacional que presenta el SARS-CoV-2 y la potente inmunogenicidad de sus proteínas claves [5]. Sin embargo, y aún cuando las tan esperadas vacunas logren prevenir o atenuar la patología en un gran porcentaje de la población, deberemos aprender a convivir con este nuevo virus. Es por esto, que otro gran desafío es el desarrollo de terapias anti-virales y anti-inflamatorias, que logren atenuar el amplio espectro de síntomas clínicos asociados a esta patología. En este sentido han cobrado especial interés drogas anti-inflamatorias como la dexametasona, antivirales como el remdesivir, anti-coagulantes que disminuyen el riesgo trombótico y la administración de plasma de pacientes convalecientes (o anticuerpos anti-SARS-CoV-2 purificados) los cuales han demostrado resultados alentadores en protocolos de uso expandido [4].

Finalmente, a los desafíos de generar herramientas diagnósticas, profilácticas y terapéuticas efectivas y seguras, se agrega el importante compromiso de la comunidad científica de evaluar el impacto social y humano de la pandemia, y brindar herramientas claves que preserven fundamentalmente a las poblaciones más vulnerables.

2. Ejemplos de modelado matemático: ¿Qué y para qué?

ANA BIANCO³, ALICIA DICKENSTEIN^{4,5,*}, MARINA VALDORA^{3,4}, VÍCTOR YOHAI^{3,4,*}

Estamos en un momento clave en la historia en el que distintos modelos matemáticos colaboran con la toma de decisiones políticas a distintos niveles. Una gran parte de la comunidad científica reorientó durante los últimos meses sus capacidades, conocimientos y recursos frente a la crisis global causada por la pandemia de

2 Instituto de Cálculo (IC), FCEN, UBA-CONICET

3 Departamento de Matemática, FCEN, UBA.

4 Instituto de Investigaciones Matemáticas Luis A. Santaló (IMAS), UBA-CONICET

COVID-19 para colaborar en la comprensión de esta enfermedad, estrechando la colaboración con instancias de gobierno nacionales, provinciales y municipales. Presentaremos una descripción breve de algunas de las instancias de modelado para ayudar con esta problemática en Argentina y señalaremos cómo el poder del razonamiento matemático permite demostrar no solo el alcance sino también las limitaciones e incertezas inherentes a los modelos.

El objetivo fundamental del modelado matemático de un fenómeno es describirlo y cuantificarlo para prever su comportamiento futuro. Hay múltiples factores que hacen que modelar esta pandemia sea muy complejo, debido a características de la enfermedad causada por un virus que era totalmente desconocido, características del contagio, la acción del sistema de salud a través del seguimiento de los casos, la definición de caso (que cambia dinámicamente con el mayor conocimiento de esta enfermedad), la gran heterogeneidad de la transmisión, etc. Los modelos son inherentemente de gran complejidad y deben esquematizar la realidad mediante una elección adecuada de parámetros clave que conserven las características esenciales. Esto requiere una comprensión de los procesos físicos, biológicos y sociales. Es además crucial contar con datos fiables que provengan de la realidad o poder manejar razonablemente datos que se tomen y divulguen en forma desigual e imprecisa. El modelado pone a interactuar distintos aspectos del problema y muchas veces, aunque no se logre contestar la pregunta original, surgen conexiones o emergen comportamientos no obvios a priori que ayudan a entender mejor la situación.

2.1 Modelado de la propagación de los contagios

Previo a la aparición de COVID-19 existían en la Argentina grupos interdisciplinarios nucleados desde 2013 en la “Red de modelización de enfermedades infecciosas” y que están abordando diversos aspectos de la problemática de COVID-19. La complejidad de estos modelos hace que en general sus resultados sean numéricos. Los modelos simples sirven para realizar análisis cualitativos, estudiar propiedades esenciales del problema aislándolas de todas las demás o explorar determinados efectos, pero no poseen la capacidad de describir adecuadamente el proceso de transmisión en una situación tan compleja como la actual. Por otra parte, muchas veces admiten una resolución analítica que permite ganar intuición sobre el problema. Los modelos epidemiológicos compartimentales se basan en una clasificación de los individuos en clases epidemiológicas (por ejemplo: Sus-

ceptibles, Infectados y Recuperados (SIR)) y describen la evolución en el tiempo de las poblaciones de los grupos. En el caso de los métodos estocásticos, aún para un modelo simple como el SIR, se puede comprobar que en torno al umbral de propagación epidémica existe una gran impredecibilidad respecto al tamaño esperado de una epidemia, que no es causada por la complejidad del modelo sino por las fluctuaciones que existen cuando el sistema está en torno al umbral de propagación. Para poblaciones de tamaño finito es complicado estimar asintóticamente la probabilidad de tener una epidemia si entra un infectado en una población donde todos son susceptibles. En [6] se obtuvo una aproximación analítica para esta probabilidad, estimando el máximo tamaño de una epidemia así como su valor medio. Estas leyes después se verificaron numéricamente, no solo para el modelo SIR clásico, sino para un modelo SIR que incluye contactos locales y globales [7]. El problema principal que poseen estos modelos en la situación actual es que se basan en la hipótesis de “mezcla homogénea” que no es válida en una situación altamente heterogénea, como la de la cuarentena. En [8] los autores consideran una variante de un modelo SIR con confinamiento reversible de individuos susceptibles, que ilustra cómo las medidas de bloqueo inhiben la propagación de la infección por arriba de un umbral que calculan. Es posible estimar parámetros del modelo dentro de un rango relativamente estrecho utilizando los datos disponibles de la pandemia de COVID-19. Sin embargo, existe un horizonte corto para una predicción confiable, que persiste en conjuntos de datos sin errores. Es decir que solo es posible dar con seguridad probabilidades de resultados diferentes.

2.2 Modelado estadístico

El Grupo de Estadística Aplicada a COVID convocado por el Instituto de Cálculo, FCEN, UBA ha realizado distintas tareas de modelización, por un lado con centro en el análisis de los datos y por otro lado en el análisis y simulación de escenarios posibles. La predicción de una pandemia en base a métodos estadísticos es particularmente difícil además de las dificultades que ya enunciamos, porque es necesario saber cómo la predicción afecta al mismo proceso que uno intenta pronosticar [9]. Este punto es crucial porque en base a las estimaciones y predicciones que se hacen, se realizan intervenciones sobre el proceso que se quiere predecir, tales como las cuarentenas y sus distintas fases. Además de esto, está la aceptación o el respeto a estas normas por parte de la población, que también van modificando al proceso en sí mismo.

Cuando comenzaron a aparecer los primeros casos en Argentina, se trabajó en la predicción a corto plazo de la evolución del número de casos totales para nuestro país mediante distintas técnicas estadísticas en base a la información reportada por otros países afectados por la pandemia con un historial más largo y la identificación de grupos de países con comportamiento similar y con seguimiento temporal. Se predijo la evolución del número de infectados utilizando el método de componentes principales dinámicas desarrollado en [10], al que luego se aplicó un modelo de regresión lineal basado en estimadores robustos que no son mayormente afectados por la presencia de una proporción pequeña de puntos atípicos [11]. Si bien para los primeros 20 días el ajuste obtenido es muy bueno, para los últimos 10 días las predicciones estuvieron por encima de los valores observados hasta un 20,3%. Esta diferencia es probablemente debida a que comenzó a tener efecto la cuarentena total (que no existía cuando se hizo el ajuste), mientras que en muchos de los países que se usaron para obtener el índice no hubo cuarentena o solo fue parcial. Asimismo, a partir de datos sujetos a un acuerdo de confidencialidad, se ha estudiado cómo afectan los diferentes factores de riesgo a la probabilidad de que un enfermo de COVID-19 necesite cuidados intensivos. Entre las comorbilidades que más influyen en esta probabilidad se encuentran sexo, edad, diabetes, hipertensión arterial y obesidad. En la actualidad se está trabajando en el desarrollo de una herramienta de visualización de la evolución de la pandemia en nuestro país en lo referido a número de casos, número de fallecimientos según sexo y rango etario, utilización de camas de terapia intensiva, comparando provincias y edades, mediante distintos indicadores y técnicas exploratorias y descriptivas [12]. Estas herramientas son de acceso libre y permiten visualizar de forma actualizada, diferentes datos públicos de COVID-19 publicados por el Ministerio de Salud de la Nación.

2.3 Diseño de tests con agrupamiento anidado de muestras

El método de referencia para identificar a las personas infectadas por el SARS-CoV-2 es determinando la presencia del ARN del virus en muestras tomadas de secreciones respiratorias, usando la prueba de PCR (reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa). Esta metodología es de baja procesividad y requiere reactivos importados difíciles de conseguir. Es importante reducir tiempo y costo en reactivos, sin sacrificar la realización de pruebas confiables, cruciales para decidir tratamientos médicos y medidas de control de la epidemia. Una posibilidad propuesta por Dorfman en 1943 es formar grupos de n individuos y reali-

zar un único test a cada muestra agrupada. Si el resultado del test es negativo, se concluye que los n individuos están sanos. En caso contrario, cada uno de ellos es testeado separadamente, en este caso son necesarios $n+1$ tests para evaluar a los n individuos. Una extensión natural del método consiste en subdividir los grupos que dieron positivo en subgrupos menores y repetir el procedimiento. Este esquema es adaptativo, porque los grupos de cada etapa dependen de los resultados obtenidos en etapas previas. Llamemos p a la probabilidad de que un individuo esté infectado. En el trabajo [13] se determina la estrategia óptima, es decir, aquella que minimiza el número medio de tests de laboratorio necesarios para evaluar a todos los individuos. Por ejemplo, para $p = 0,02$, la estrategia óptima tiene 3 etapas con grupos de 9 individuos en la primera etapa, 3 individuos en la segunda etapa y 1 individuo en la tercera etapa. En este caso, el número medio de tests de laboratorio a ser aplicados es el 20% del número de individuos evaluados. El Ministerio de Salud de la provincia de Santa Fe ha puesto en marcha un proyecto para la instalación de un laboratorio de detección digital, masiva y ultrasensible de coronavirus mediante la técnica de PCR en el Hospital Escuela Eva Perón, Granadero Baigorria, donde se aplicarán estrategias de agrupamiento de muestras como las estudiadas en [13]. La técnica de testeos masivos podrá luego ser usada para la detección de otras enfermedades como dengue o leptospirosis.

2.4 El comportamiento social incorporado a los modelos epidemiológicos

En [14] se presenta un marco de modelado novedoso para incorporar en la modelación de la dinámica de la enfermedad dos parámetros de comportamiento social frente a la epidemia: el miedo a la infección y la frustración con el distanciamiento social. Se muestra que el modelo SEIR de percepción de comportamiento resultante tiene tres modos principales de comportamiento cualitativo: sin brote, brote controlado y brote no controlado. Este modelo puede producir ondas de infección transitorias y sostenidas consistentes con brotes secundarios y permite sacar conclusiones interesantes.

Los modelos matemáticos no predicen el futuro, que depende de lo que hagamos. En cambio, nos permiten explorar la conexión entre determinadas acciones y los escenarios que podrían emerger de las mismas, unos mejores que otros. Es decir que el éxito de un modelo puede medirse en el grado en que haya contribuido a evitar los peores escenarios.

Agradecimientos:

Agradecemos la generosa colaboración de Inés Armen- dáriz, Gabriel Fabricius y Pablo Ferrari para la redacción de este artículo.

3. Control de cuarentena por COVID19 en AMBA

D. GARCÍA-VIOLINI⁵, M. MOSCOSO-VÁSQUEZ⁶, F. GARELLI⁷, R. SÁN-CHEZ-PEÑA^{6,*}

Las secciones anteriores de este capítulo han hecho una detallada descripción de la aparición de este virus en el mundo y en particular en la República Argentina. Como se mencionó antes, el ciudadano común se enfrenta a una verdadera “infodemia” que le genera una gran incertidumbre. La cura se logra con información científica basada en datos de la realidad, como por ejemplo la aplicación *Confiar* desarrollada por investigadores de CONICET, <https://confiar.telam.com.ar/>. En esta sección por lo tanto nos centraremos en el uso de modelos dinámicos, en la identificación y validación de los mismos frente a datos experimentales y en la atenuación de los efectos de la pandemia mediante el control automático.

3.1 Modelos de propagación de la enfermedad

Los modelos matemáticos de propagación de enfermedades, sea que se utilicen para simular, predecir o controlar sus efectos, siempre deben validarse frente a los datos de la realidad. Para ello, deben identificarse ciertos parámetros para que el modelo se ajuste a los datos experimentales. En una segunda etapa, el modelo validado puede utilizarse para el diseño de estrategias de control que mitiguen los efectos del virus.

5 Universidad Nacional de Quilmes

6 Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) y CONICET

7 Universidad Nacional de La Plata y CONICET

En este trabajo nos centramos en la zona del AMBA, el foco principal de la pandemia en nuestro país, y se busca reducir el porcentaje de ocupación de Unidades de Cuidados Intensiva (UCI), considerando incluso el efecto de la donación de plasma de pacientes recuperados. Para ello, nos basamos en modelos de propagación de enfermedades [15] que luego dieron paso al conocido modelo SIR [16], cuyas siglas indican el número de pacientes Susceptibles (S), Infectados(I) y Recuperados (R), como se mencionó anteriormente. Este modelo a su vez fue adaptado para el caso del COVID19 y expandido al modelo SEIR en Japón [17] donde se agregan los Expuestos (E), y a otras extensiones del mismo, *e.g.* en Argentina [18]. En nuestro trabajo utilizamos el modelo anterior incluyendo los fallecidos (D), resultando el modelo SEIRD, como se referencia en la bibliografía mundial por sus siglas en inglés.

3.2 Identificación y Validación del modelo

Este modelo cuenta con varios parámetros, pero uno de ellos es particularmente importante ya que indica la probabilidad de infección por unidad de tiempo: β . En muchos trabajos se toma este parámetro como constante de acuerdo a la región, lo que de alguna forma significa tomar un valor promedio que se mantiene todo el tiempo igual, equivalente a no haber tomado ninguna medida de prevención. Aquí $\beta(t)$ es variante en el tiempo y se ajusta diariamente de acuerdo a los datos oficiales de AMBA, como puede verse en la curva de la izquierda de la figura 1. Esto indica que el modelo SEIRD con el parámetro variante $\beta(t)$ se ajusta al control que realizan los gobiernos nacional, provincial y de la ciudad de Buenos Aires.

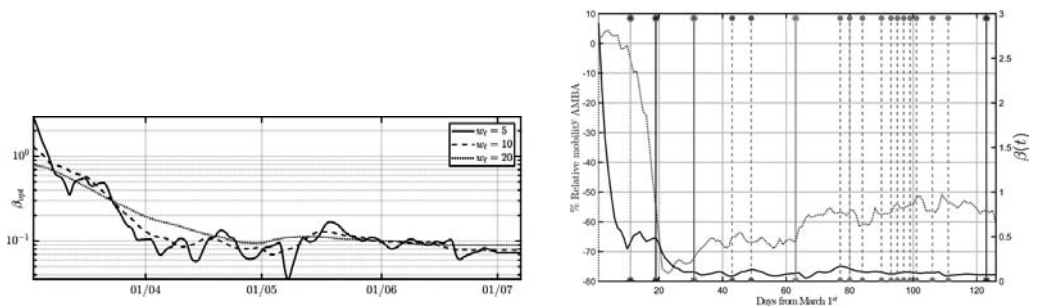


Figura 1. (izq) Ajuste de $\beta(t)$ de acuerdo a distintos intervalos w_1 (en días) entre marzo y julio del 2020.(der) Relación $\beta(t)$ (línea llena) y movilidad en AMBA (línea punteada), una vez declarada la cuarentena.

El valor de este parámetro es el que regula la inestabilidad o estabilidad del modelo, en otras palabras, el crecimiento o disminución de infectados y fallecidos. La estimación del mismo, día a día, permite ajustar muy bien el modelo SEIRD a los datos oficiales [19]. El $\beta(t)$ refleja los niveles de contagio de la población, como puede verse en las curvas de la derecha de la figura 1, que asocia ese valor con la movilidad indicada en la línea de puntos. Se observa que al inicio de la cuarentena en AMBA el día 20/3/20, bajan los niveles de movilidad y en consecuencia el $\beta(t)$. Incluso, luego de esa primera caída en dicha fecha, pareciera relajarse la movilidad aunque el $\beta(t)$ sigue bajo. Esto se debe a que la población comenzó a cumplir con ciertas normas como la distancia social y el uso de barbijo.

Otro dato importante que se debe ajustar a los datos diarios es el porcentaje de ocupación de UCI, ya que este será el objetivo que el sistema de control automático deberá minimizar. Esto se hace a través de otro parámetro que también depende del tiempo, denominado σ_{UCI} y que se utiliza en la realimentación del controlador, como se indica en la figura 2.

3.3 Control de cuarentenas

Con el modelo anterior validado, se puede diseñar un control que básicamente mide los porcentajes oficiales de UCIs y controla las infecciones mediante 2 elementos: (a) cambios en las fases de cuarentena, (b) niveles de donación de plasma de recuperados⁸. El sistema de control se indica de forma simbólica en la figura 2, donde la realimentación se basa no sólo en el efecto de la cuarentena sino de la donación de plasma. La cuarentena y la menor movilidad reducen el porcentaje de ocupación de camas σ_{UCI} y el efecto de donación de plasma (σ_{pl}) también logra el mismo efecto ya que evita que pacientes en estado crítico tengan que utilizar UCIs.

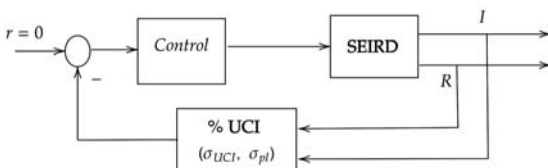


Figura 2. Sistema realimentado (lazo cerrado) que permite la disminución de ocupación de camas de UCI.

⁸ No se incluye el proyecto del Dr. Goldbaum de recuperación por plasma equino, que se desarrolla en Argentina, lo cual podría mejorar aun más la performance de este control. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/covid-19-por-que-el-suero-de-equinos-promete-ser-mas-potente-que-el-plasma-de-pacientes>).

En la figura 3 se muestran las comparaciones de ocupación de UCIs con y sin el sistema de control, indicadas como CL y OL respectivamente, donde uno equivale al 100%. La fecha inicial es 28/5/20 y queda clara la efectividad del sistema controlado. El modelo sin control indicado como OL- $\beta(t)$ coincide con los datos diarios, indicados como AMBA, ya que han sido ajustados con datos oficiales y llegan al 60% de ocupación.

Se indican además otras dos curvas, ambas con β constante. Una con control (CL) que no refleja los valores reales y la otra sin control (OL) que indica una ocupación total de camas (>1) en menos de 20 días (línea punteada, eje de la derecha).

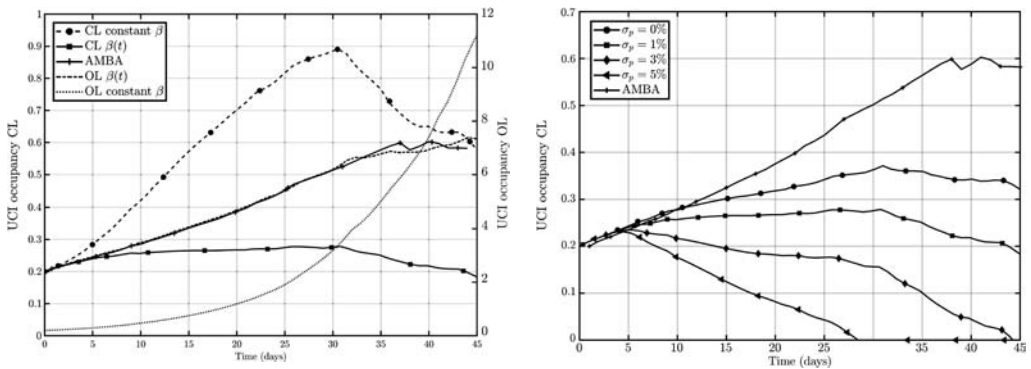


Figura 3. (izq) Comparativo de ocupación de UCI con (lazo cerrado) y sin (lazo abierto) el sistema de control realimentado y con β constante y variable (con 1% donación plasma). (der) Comparación para distintos porcentajes de donación de plasma de recuperados.

Asimismo, en la misma figura a la derecha se compara el efecto del sistema controlado a lazo cerrado para distintos niveles de donación de plasma por parte de recuperados. Aquí los valores han sido muy conservadores y se asumen porcentajes de efectividad del plasma del 0 al 5% sobre la cantidad de recuperados, ya que la donación es voluntaria y además no todos los recuperados tiene la cantidad de anticuerpos necesarios.

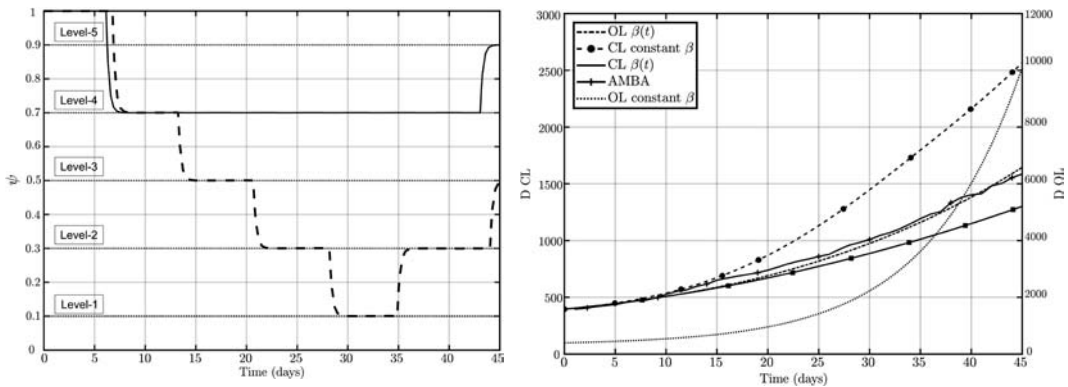


Figura 4.(izq) Propuesta del controlador para acrecentar o disminuir las fases de cuarentena con β constante (línea punteada) y variable (línea llena).(der) Comparativo de fallecidos con (CL) y sin (OL) controlador y con β constante y variable.

Finalmente, la figura 4 muestra el resultado de la propuesta del sistema de control. Se proponen 5 fases que parten de las que ya implementa el Gobierno nacional. Esto se debe a que oficialmente ya se está aplicando un control mediante cuarentena y normas de contacto social, que aunque no está basado en un modelo, ha sido bastante efectivo desde la perspectiva epidemiológica. El controlador propuesto aquí mejora esto y lo hace intensificando o relajando la cuarentena actual, siendo el nivel-1 la más estricta y el nivel-5 la más relajada, respecto de la que ya está en marcha. En las curvas de la derecha pueden verse los efectos de este control en la cantidad de fallecidos en AMBA. Nuevamente, el modelo sin control OL- $\beta(t)$ coincide con los datos oficiales indicados como AMBA, debido al ajuste mediante $\beta(t)$ y da poco más de 1500 muertos al 12/7/20. En cambio el caso sin ningún control y con el β constante hubiera significado unos 10 mil fallecidos en esa fecha (línea punteada, eje de la derecha). Como se indicó anteriormente estos valores de las curvas de ocupación de UCI (figura 3) y de fallecidos (figura 4) con OL- β es equivalente a no haber realizado ninguna prevención, ni desde el gobierno ni con nuestro sistema de control.

Finalmente se observa la efectividad del sistema de control con el ajuste del modelo con $\beta(t)$ variante en el tiempo, i.e. CL- $\beta(t)$, ya que la ocupación de UCIs baja de casi 60% a poco más del 30%, aun sin donación de plasma. En cuanto al número de fallecidos se reduce en al menos 300 muertes. Esto podría mejorar de forma efectiva la performance de las políticas oficiales respecto de las normas de convivencia en cuarentena y da buenos argumentos para promover la donación de plasma por parte de pacientes recuperados.

4. La revolución de la computación móvil, desaprovechada

Por qué la computación móvil no “resolvió” la pandemia

DIEGO GARBERVETSKY⁸, FERNANDO SCHAPACHNI^{8,9} Y SEBASTIÁN UCHITEL^{8,*}

Ante una pandemia global, con un virus difícil de detectar y de alta movilidad, la disponibilidad de una población mundial armada con teléfonos celulares y conectividad pareciera ser una herramienta de alta potencia para pelear contra el COVID 19. La computación móvil es una herramienta que permitiría sensar globalmente y accionar coordinadamente estrategias defensivas que hace apenas una década sería impensable. Sin embargo, este potencial no se ha visto realizado hasta el momento por problemas estructurales determinados por quienes son los actores dominantes de las tecnologías de cómputo móvil, el Estado y el vínculo que la sociedad tiene con ellos.

Una de las promesas que rápidamente pasó a cautivar a muchos fue la posibilidad de hacer detección y rastreo de contactos estrechos mediante teléfonos celulares y tecnología *bluetooth* (ej., [20]). Las dificultades técnicas de lograr mecanismos digitales de detección de contactos estrechos no son menores. Realizar estimaciones consistentes de distancia usando *bluetooth* en un parque de teléfonos sumamente fragmentado es extremadamente complejo [21]. Se suma a esto una proporción no menor del parque de teléfonos que se encuentra avejentado, con baterías de capacidades muy reducidas, cuyos usuarios son extremadamente selectivos en las aplicaciones que utilizan en función de su consumo energético. Finalmente, está el tema de la preservación de la privacidad de datos y las preocupaciones de los usuarios sobre potenciales usos indebidos de los contactos estrechos. Todos estos factores socio-técnicos impactan sobre la calidad de las soluciones que se han desarrollado, la adopción y por ende el impacto que han tenido. Pero también se ha visibilizado fuertemente un fenómeno geopolítico.

⁸ Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales e Instituto de Ciencias de la Computación (CONICET), Universidad de Buenos Aires, Argentina

⁹ Fundación Sadosky, Argentina

Las empresas Apple y Google, que controlan el software de prácticamente el 100% de los teléfonos móviles a través de sus sistemas operativos, impulsaron fuertemente su criterio sobre cómo debía hacerse el rastreo de contactos (un protocolo distribuido donde la responsabilidad social del aislamiento preventivo queda solo a criterio de cada usuario) y en la práctica impidieron abordajes alternativos restringiendo el acceso de aplicaciones a las capacidades *bluetooth* de baja energía. No solo hoy es el caso que todos los abordajes nacionales existentes se han montado sobre la estrategia y las bibliotecas de Apple y Google, sino que además han sido condicionados en los términos y condiciones de su uso [22]. Uno de los condicionamientos más importantes es la imposibilidad de integrar aplicaciones nacionales que utilizan sus bibliotecas con funcionalidades adicionales que permitirían integrar estas aplicaciones con políticas sanitarias centralizadas definidas por los estados nacionales [23].

Las restricciones impuestas por estas empresas han sido no menores también en la implementación de soluciones informáticas no vinculadas a rastreo de contactos. El despliegue de una aplicación requiere la aprobación de éstas por parte de Apple y Google para que puedan ingresar a sus “*stores*”. Estas aprobaciones han sido lentas y condicionadas, implicando retrasos inadmisibles en un contexto de urgencia y teniendo en cuenta el carácter iterativo que tiene la entrega de funcionalidad en software aplicativo. Claro, tanto Apple y Google se paran en un rol de defensa del consumidor, protegiéndolos de aplicaciones fraudulentas que se hacen pasar por aplicaciones gubernamentales o protegiendo su privacidad de la recolección injustificada (¿determinada por quién?) de datos.

Es sabido que la movilidad de la ciudadanía es un factor de alto impacto en la propagación del virus. La posibilidad de refinar este conocimiento mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial que estudien de manera combinada información de movilidad con información sanitaria es enorme. Sin embargo, este camino no ha sido abordado principalmente por preocupaciones sobre privacidad. El problema no es técnico. Es posible garantizar la privacidad de movimientos de ciudadanos mediante técnicas de *fuzzing*, anonimización, encriptación y *data brokering*. De hecho, hay un negocio billonario donde empresas llamadas *data brokers* ofrecen hacer integración de datos de dos fuentes independientes de manera tal que la información privada de cada una sea preservada pero el análisis relevante de la combinación de información sea posible (aunque no ponemos las manos en el fuego por la utilización de buenas prácticas por parte de estas empresas). Estas empresas, entre otras cosas, combinan información detallada de movimiento de celulares brindada por compañías de telefonía móvil (de infraestructura y de

software de móviles) con información diversa. ¿Cuáles son los impedimentos para avanzar con estudios de movilidad y sanidad con información detallada entonces? Principalmente, una percepción de desconfianza que podría tener la sociedad a que los estados nacionales accedan a información privada de movilidad. Aquí está claro que necesitamos un acuerdo social que debería partir de un entendimiento que estas compañías tienen actualmente más información y poder que los estados nacionales y que sin embargo son los estados nacionales los responsables de resolver situaciones de crisis global como las pandemias.

El problema de integración de datos no se reduce solamente a la información en manos de empresas privadas, ni tampoco a datos de movilidad: nuestra experiencia de trabajo reciente con múltiples jurisdicciones ha puesto de manifiesto que existen serios obstáculos para el intercambio de información que de combinarse con facilidad permitiría armar la foto completa a partir de las piezas de un rompecabezas. Un ejemplo de esto es determinar a qué sectores de la economía pertenecen los y las trabajadoras que cruzan por cierto puesto de peaje en la entrada o salida a una ciudad o municipio. De manera agregada, ¿esos trabajadores se contagian más o menos que otros? Si su actividad se suspende, ¿qué porcentaje del PBI local se compromete? Esa información podría obtenerse con precisión cruzando bases de datos de las que disponen distintos organismos públicos de distintas jurisdicciones, utilizando técnicas que preserven el anonimato mediante *brokerage* de datos. Sin embargo, las leyes de protección de datos personales, un logro de la humanidad que defendemos y que debe profundizarse aún más, hacen que estos cruces sean extremadamente difíciles, laboriosos, y principalmente, lentos, y que muchas veces las decisiones deban tomarse en base a estimaciones. Es necesario un marco normativo que proteja efectivamente la privacidad de la ciudadanía pero que facilite al Estado explotar la información con la que cuenta de manera desperdigada en sus múltiples instituciones. Es necesario a su vez contar con equipos técnicos y legales que permitan sintetizar estos reportes con velocidad. Un modelo de *data brokering* con un organismo como el CONICET de *broker* podría ser el camino.

Otro factor no menor tiene que ver con la falta de especialistas en tecnología informática en la mesa de toma de decisiones en las distintas jurisdicciones. La falta de ese conocimiento puede llevar a depositar expectativas desmedidas en las promesas tecnológicas de (los departamentos de marketing de) las grandes compañías, a un optimismo injustificado sobre los tiempos de desarrollo de los productos, y también a considerar a la tecnología como un aspecto meramente operativo de una propuesta de política pública, o en este caso, sanitaria. Postulamos que hoy en día eso ya no es así. Que cualquier proyecto de magnitud, en el que mucha información

deba intercambiarse, ordenarse y jerarquizarse, donde se planteen circuitos y procesos no puede especificarse y luego “condimentarse” con un poco de tecnología esperando que ésta pueda adaptarse en cualquier plazo o a cualquier definición. La tecnología debe pensarse en conjunto con la política de manera tal que los programas ideados cuenten con un soporte tecnológico realista y viable, y que no sufran de problemas de implementación debido a que la tecnología “no llegó” o “no acompañó en tiempo y forma”. Es importante no entender esta reflexión como una crítica. Lejos de eso, somos conscientes del esfuerzo y compromiso que hombres y mujeres de todos los niveles jerárquicos en todas las jurisdicciones pusieron para enfrentar el mayor desafío de la Humanidad en décadas, para el que nadie estaba preparado. Sin embargo, creemos que vale la pena destacar la oportunidad de mejora sistémica.

La pandemia nos fuerza a exprimir la empatía, la paciencia y también las ideas. La búsqueda de soluciones creativas a los grandes problemas a los que el coronavirus nos hace enfrentarnos está a la orden del día. Es un desperdicio de energía inútil que tecnólogas y tecnólogos piensen por su lado tratando de especular con qué medidas serían políticamente viables, así como también lo es que funcionarias y funcionarios desarrollen lineamientos sin considerar qué puede aportar (y qué no) la tecnología como para que estos le saquen el máximo provecho a la eficientización, automatización y sistematización, que es en definitiva donde el software más tiene para aportar.

5. Energía y calidad de aire en las grandes ciudades

MIGUEL A. LABORDE^{10,*} Y RUBÉN D. PIACENTINI^{11,*}

5.1 Introducción

Las ciudades se están expandiendo a un ritmo tal que ya en el 2007, su población había superado a la rural y Naciones Unidas proyecta que será un 68 % mayor hacia el 2050. Esta expansión poblacional va de la mano de mayores requerimientos energéticos, porque sin energía prácticamente no existiría todo lo que hoy es habitual en nuestras vidas cotidianas. Por otra parte, en general cualquier acción que

10 Instituto de Tecnologías del Hidrógeno y Energías Sostenibles (ITHES). UBA-CONICET, Buenos Aires, Argentina

11 Instituto de Física (CONICET) y Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina

realice el hombre para generar energía afecta en mayor o menor medida al ambiente, principalmente si se emplean combustibles fósiles para producirla. Uno de los mayores impactos ambientales es la contaminación atmosférica. Es de señalar que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha informado que la contaminación del aire exterior e interior es la responsable de unos 7 millones de muertes prematuras (que ocurren antes de la esperanza de vida), siendo la mayor causa de efectos sobre la salud humana, de todas las producidas por la degradación ambiental [24]. Para tratar de reducir estos efectos negativos, la OMS ha establecido una Guía con valores máximos aceptables de la concentración de los principales contaminantes atmosféricos a nivel de la superficie terrestre: el material particulado micrométrico (también denominado *aerosol*), simbolizado con las siglas PM y los gases Ozono, O₃, Dióxido de Nitrógeno, NO₂ y Dióxido de Azufre, SO₂. Estos valores se encuentran detallados en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores máximos aceptables de la concentración de los principales contaminantes atmosféricos (expresados en cantidad de masa dividida por la unidad de volumen m³): material particulado micrométrico PM2.5 (de dimensiones efectivas iguales o menores de 2,5 micrones) y PM10 (de dimensiones efectivas iguales o menores de 10 micrones) y gases Ozono (O₃), Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y Dióxido de Azufre (SO₂). Valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud [24].

Contaminante	PM2.5	PM10	O ₃	NO ₂	SO ₂
Concentración máxima aceptable (microgramo/m ³)	10 (promedio anual) 25 (promedio diario)	20 (promedio anual) 50 (promedio diario)	100 (promedio de 8 horas)	40 (promedio anual) 200 (promedio de 1 hora)	20 (promedio diario) 500 (promedio de 10 minutos)

5.2 Calidad de aire y salud humana

En muchas grandes ciudades del mundo los valores límite de concentración de contaminantes atmosféricos son largamente sobrepasados. Diversas investigaciones han demostrado la relación existente entre la calidad del aire que respiramos y el que se encuentra a mayores alturas (en la tropósfera, la capa atmosférica de menor altura) y el desarrollo de enfermedades. Detallamos a continuación algunas de estas investigaciones.

5.2.1 Efectos sobre el sistema respiratorio y cardiovascular

Estudios realizados por Brugge y colaboradores [25] determinaron que los niños tienen un riesgo elevado de desarrollar asma y función reducida del pulmón, si viven cerca (a menos de unos 200 metros) de autopistas, por las emisiones contaminantes del intenso tráfico (ver ítem 5.3).

En un artículo de revisión, Hoek y colaboradores [26] presentaron evidencias, a partir de investigaciones sobre exposiciones a largo plazo de aerosoles, NO₂ y Carbono elemental, sobre el riesgo de mortalidad por enfermedades debidas a todas las causas y a enfermedades respiratorias y cardiovasculares. También la calidad de aire puede deteriorarse significativamente por eventos externos a las ciudades, tal como ha ocurrido con la llegada del material particulado *humo* producido por los incendios en las islas del delta del Paraná en el 2008, documentado en detalle por Ipiña y colaboradores [27], y en el 2020, a las ciudades de la costa de este río, afectando a millones de personas.

Otro grave problema generado por la contaminación ambiental, principalmente por material particulado y por NO₂, es el aumento del número de casos de la enfermedad pandémica COVID 19, generada por el coronavirus SARS-CoV-2. Diversos artículos publicados muestran esta relación y la explican por la acción de los contaminantes sobre los sistemas respiratorio e inmunológico, debilitándolos y dando así mayor chance a la invasión del coronavirus. En particular, Yao y colaboradores [28] determinaron que por cada 10 microgramos por m³ de aumento en la concentración de material particulado en la región alrededor de la ciudad de Wuhan, China, núcleo inicial de la pandemia, la proporción de casos fatales debidos a COVID-19 se incrementó entre 0,24% y 0,26%, respectivamente.

5.2.2 Efectos sobre la piel

La calidad de aire puede modificarse no sólo en su composición química sino en su temperatura. Esta modificación se ha registrado con mayor intensidad en las últimas décadas y el Panel Gubernamental de Expertos sobre Cambio Climático de Naciones Unidas pronostica que se incrementará aún más en el presente y el próximo siglo. Una investigación del posible aumento en los cánceres de piel no-melanoma (baso y espino-celulares) debido a un incremento en la temperatura ambiente, además del conocido efecto de la radiación ultravioleta solar, ha sido realizada por Piacentini y colaboradores [29].

5.2.3 Efectos sobre el trastorno autista

La contaminación del aire urbano se ha relacionado con enfermedades neurológicas y trastornos del desarrollo. Una revisión sistemática reciente informó que existe una asociación entre la exposición a material particulado y el trastorno del espectro autista (TEA). Estudios recientes en animales encontraron que la exposición temprana a partículas ambientales causaba comportamientos similares al autismo en los hombres y que el efecto era más fuerte en los niños [30].

5.3 Consumos de energía estacionaria y del transporte

La energía en el mundo es consumida esencialmente en forma *estacionaria*, en sistemas fijos tales como edificios, industria y comercio y en el *transporte*. Proviene en gran medida de fuentes fósiles (petróleo, gas natural y carbón, de alta contribución a la contaminación atmosférica) y otras fuentes. El mayor organismo relativo al tema energético, la Agencia Internacional de Energía, informó que, en el 2017 (año del último dato disponible), sobre un total de energía producida en el mundo de 14.034 millones de toneladas equivalente petróleo, lo que implica que las demás fuentes se convierten a petróleo, la contribución de estas fuentes fósiles fue de 81,3 %, siguiéndole las nuevas energías renovables (solar, eólica, biocombustible, residuos, etc) con un 11,3 % y luego las energías nuclear (4,9 %) e hidroeléctrica (2,5 %).

La generación de energía depende de la fuente y de la tecnología que se empleen. Dado que la matriz energética de Argentina es mayormente dependiente de combustibles fósiles (principalmente petróleo y gas), el ambiente se verá afectado de distintas maneras y con diferente intensidad. Por citar un ejemplo, los molinos que generan energía eléctrica aprovechando la velocidad del viento, modifican el paisaje y reducen esta velocidad luego de atravesar las aspas, alterando el ecosistema del lugar, pero las usinas térmicas que queman combustibles fósiles para generar esa misma energía eléctrica emiten Dióxido de Carbono, CO₂ a la atmósfera, siendo este compuesto el mayor contaminante entre los gases de efecto invernadero, responsables principales del calentamiento global [31]. Además, dado que la combustión no es 100% eficiente, se emite material particulado a la atmósfera, además de muchos gases contaminantes, más conocido como *hollín*. Las usinas térmicas no son las únicas responsables de contaminar el ambiente, también lo hacen las industrias que queman combustible para obtener la energía calórica que requieren sus procesos o los medios de movilidad en sus motores de combustión interna. Y también las personas cuando encienden la cocina, el calefón o la estufa

a gas, pero por supuesto en mucho menor medida, por los volúmenes que se manejan. Son los países industrializados (como Estados Unidos y la Unión Europea) y los de gran población (como China e India) los que emiten las mayores cantidades de CO₂, aunque sus efectos los tenga que sufrir todo el planeta. En este sentido el aporte que Argentina hace al calentamiento global es pequeño, en comparación a otros países importantes (de 0,56 % en el 2016, según datos de la Tabla 2 y referencia [32]), pero la contribución per cápita es importante, más de 8 toneladas de CO₂ equivalente por año, donde *equivalente* indica que incluye todos los demás gases relativos al CO₂ (<https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>). Esta cantidad emitida anualmente es una 100 veces mayor que el peso promedio de un adulto.

En la Tabla 2 se comparan las emisiones de CO₂ debidas al uso de combustibles fósiles y a la producción de cemento, generadas por países desarrollados, de gran cantidad de población y de Sudamérica (Argentina y Brasil), observándose que las mayores emisiones de este tipo, en 2016 se debieron a China (27,4 %), seguida por Estados Unidos (13,9 %), la Unión Europea (7,97 %) e India (6,66 %).

Tabla 2. Comparación de las emisiones de CO₂ de diferentes países del mundo, en el año 2016, debidas al uso de combustibles fósiles y producción de cemento [32]. Las emisiones mundiales son de 36138 TnCO₂eq.

País	Emisiones en 2016 (Millones TnCO ₂ eq)	Porcentaje respecto de las emisiones mundiales	País	Emisiones en 2016 (Millones TnCO ₂ eq)	Porcentaje respecto de las emisiones mundiales
Argentina	201,3	0,56 %	Unión Europea	2882	7,97 %
Brasil	462,3	1,28 %	Estados Unidos	5006	13,9 %
India	2408	6,66%	China	9893	27,4%

Por otra parte, la reducción del transporte vehicular en las grandes ciudades provocada por el aislamiento social dispuesto por la pandemia de COVID 19, ha mejorado sensiblemente la calidad de aire en las grandes ciudades de Argentina. La Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de la Argentina publicó

una serie de mapas de estas ciudades, con datos de la concentración de los gases contaminantes NO y NO₂ (denominados NOx en conjunto), los cuales fueron obtenidos por el equipo TROPOMI a bordo del satélite Sentinel 5P de la Agencia Espacial Europea, con el objetivo de comparar la calidad del aire entre dos periodos, anterior y durante la cuarentena que comenzó el 20 de marzo 2020: 27 febrero-20 marzo 2020 y 20 marzo-10 abril 2020. Estos gases resultan de la reacción entre el Nitrógeno(N₂) y el Oxígeno (O₂) del aire a altas temperaturas, como las que imperan durante la combustión.

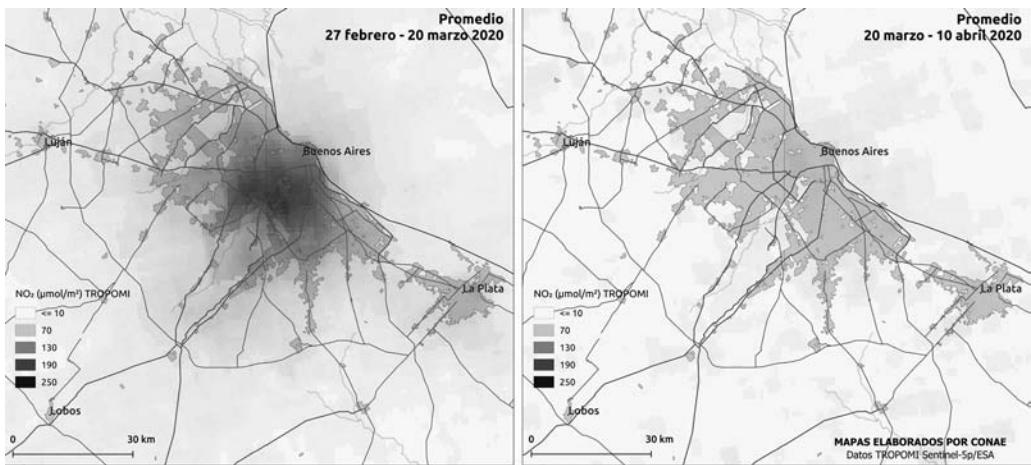


Figura 1. Mapa satelital de la ciudad de Buenos Aires antes (izquierda) y después (derecha) del 20 de marzo del 2020. La intensidad del color está directamente relacionada con la concentración de NOx. Fuente CONAE, en base a datos registrados por el equipo TROPOMI, a bordo del satélite Sentinel 5P de la Agencia Espacial Europea.

El gas NO₂ en la atmósfera se combina con el vapor de agua y genera, del mismo modo que los compuestos de Azufre, lo que se conoce como *lluvia ácida*. El NOx se emplea en conjunto para monitorear la calidad del aire, debido a que su abundancia está muy relacionada al tránsito vehicular y aéreo. Cuando se comparan los valores en aire de estos gases (NO y NO₂) para la ciudad de Buenos Aires y alrededores en los dos periodos, se comprueba que estos valores disminuyeron en una alta proporción, de un periodo al otro (ver Figura 1). Gráficos similares existen para Rosario, La Plata, Córdoba, Tucumán y Mendoza, que por falta de espacio no son mostrados.

Pero no sólo gases contaminantes NOx emiten los motores de combustión. Al igual que las usinas térmicas, también generan, dado que la combustión no es totalmente eficiente, material particulado (especialmente si son motores diesel), Monóxido de Carbono y compuestos volátiles orgánicos, algunos de los cuales son cancerígenos.

Según la International Renewable Energy Agency (IRENA), el sector del transporte representó en el año 2019 un tercio de la demanda mundial de energía y el 14% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero; también es el sector con el nivel más bajo de uso de energía renovable. Este experimento no deseado del aislamiento social impuesto por la pandemia COVID 19, ha demostrado de manera contundente la necesidad de un cambio de paradigma en el sector vehicular. Se requiere una transformación en el uso de energía en este sector para que el mundo cumpla con sus objetivos climáticos, mejore la sostenibilidad de los entornos urbanos, incremente la seguridad energética y reduzca la dependencia de los combustibles fósiles. Los motores de combustión interna deben ser reemplazados, gradualmente, por motores eléctricos. En este sentido las baterías de litio y el Hidrógeno como combustible o en asociación con pilas de combustible, son las tecnologías que se avicinan. El Hidrógeno, cuando se lo quema produce vapor de agua, aunque también genera NOx. Una pila de combustible es un dispositivo muy similar a las baterías, solo que es alimentada en forma continua por Hidrógeno y aire. Transforma la energía química de la formación de agua, sin necesidad de que sea una combustión que implica altas temperaturas, en energía eléctrica (en alta proporción) y calor remanente. Por esta razón, la combinación Hidrógeno + pila de combustible resulta en una alternativa limpia y más eficiente que los motores de combustión, incluidos aquellos alimentados directamente con Hidrógeno.

Los vehículos a batería son ya una realidad y los vehículos a Hidrógeno o Hidrógeno y pilas de combustible son el futuro inmediato. Camiones, autos, ómnibus y trenes a Hidrógeno ya funcionan en Europa y Japón. Solo hay que entrar a los buscadores en internet para enterarse de los modelos y las regiones donde ya están funcionando. El Hidrógeno y la pila de combustible también se los puede utilizar para generar energía y calor en viviendas, hospitales, escuelas, etc. En Uruguay y Chile ya han comenzado a trabajar sobre la *economía del Hidrógeno*. Las autoridades de Argentina y de otros países donde no se analiza aún en detalle este tema, deberían tomar nota y comprender que el reemplazo de los combustibles fósiles debe hacerse, no sólo porque se agotan, sino fundamentalmente para preservar el ambiente y la salud. Entre las principales alternativas están las baterías de litio, el Hidrógeno y las pilas de combustible.

Realizamos a continuación algunas propuestas para reducir la contaminación del aire que respiramos y del aire en las alturas:

- sustituir lo antes posible los combustibles fósiles por fuentes renovables de energía,
- usar eficientemente la energía, tanto la convencional como la renovable,
- considerar las 3 R (reducir, reusar, reciclar),
- aplicar criterios de sustentabilidad ambiental en los procesos industriales.

En conclusión, es de fundamental importancia cuidar la calidad de aire que respiramos y del que está a mayores alturas, para cuidar la vida de los seres vivientes en su conjunto.

Agradecimientos: a CONAE por la provisión de la Figura 1 y al Equipo TEA/UBA (Director Dr. N. Loyacono).

6. Detección del virus SARS-COV-2 en aguas residuales y su valor como método de vigilancia epidemiológica

GABRIEL IGLESIAS¹², VIVIANA MBAYED¹³, DANIELA CENTRÓN¹⁴, LEONARDO ERIJMAN¹⁵, CAROLINA VERA^{16,*}

12 Universidad Nacional de Quilmes, CONICET

13 Universidad de Buenos Aires, IBAViM, CONICET

14 Universidad de Buenos Aires, IMPaM (UBA-CONICET)

15 INGEBI, CONICET, Universidad de Buenos Aires

16 Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y Universidad de Buenos Aires, CIMA (UBA-CONICET)

6.1 Introducción

Para la vigilancia epidemiológica de COVID-19, un abordaje complementario a los diagnósticos de infección basados en la detección del material genético del virus en el tracto respiratorio y la detección de anticuerpos directamente del paciente es la búsqueda y caracterización del genoma viral en muestras de aguas residuales, ya que permite evaluar en pocos ensayos la presencia del virus a nivel poblacional.

En base a numerosas referencias que reportaban la presencia de SARS-CoV-2 en aguas residuales de diferentes ciudades del mundo [33-37], la Organización Mundial de la Salud emitió un documento, señalando los potenciales usos de la detección de SARS-CoV-2 en aguas residuales, tales como:

- la advertencia temprana de la circulación del virus en una población;
- un complemento de la vigilancia clínica cuando ésta es de alcance limitado,
- el monitoreo de la circulación de SARS-CoV-2, midiendo prevalencia y tendencias temporales, y finalmente,
- para dilucidar la dinámica de propagación del virus y la diversidad genética viral.

6.2 Análisis de detección

6.2.1 Metodologías y estrategias de muestreo

La obtención de una muestra representativa de la población a la cual se quiere analizar es imprescindible para conseguir un resultado de certeza. Cada muestra de residuos cloacales representa a una determinada población y dependiendo del punto de muestreo en la cuenca del sistema cloacal, la muestra representará a un conjunto más grande o acotado de individuos ya sea que se trate de una planta de tratamiento cloacal de toda una localidad o bien de una cámara de inspección que abarque la población servida de varias manzanas en una ciudad o incluso una cámara de un edificio.

Idealmente se debe tomar una muestra compuesta de residuos cloacales durante 24 horas, de manera tal de poder obtener resultados comparables entre las distintas muestras a lo largo del tiempo. Debido a la infraestructura existente esto en general no es posible. En ese caso se puede tomar una muestra compuesta a menor intervalo de tiempo, incluyendo varias muestras en el momento de mayor flujo. O también se puede tomar una muestra simple, es decir en un determinado momento por única vez.

6.2.2 Metodologías y estrategias de detección

Una vez obtenida la muestra de líquidos cloacales se debe proceder a la concentración viral para poder determinar posteriormente la presencia de material genético de SARS-CoV-2. Los virus que comúnmente se estudian en muestras de aguas residuales y ambientales son virus desnudos, cuya cubierta externa está formada únicamente por proteínas virales. En cambio, los coronavirus son virus envueltos, que poseen una bicapa lipídica con proteínas virales integradas que conforma la cubierta externa de la partícula viral [38]. En ausencia de una metodología estandarizada para la concentración y detección del SARS-CoV-2, se debieron establecer cuáles eran las metodologías existentes para adaptar y utilizar en muestras con muy alta variabilidad, en términos de sólidos suspendidos, contenido de materia orgánica y otros contaminantes.

Las metodologías más utilizadas para la concentración de virus a partir de estas muestras son: ultracentrifugación, ultrafiltración, precipitación con PEG, floculación, y adsorción sobre partículas positivamente cargadas y posterior elución [39]. Generalmente, se parte de unos pocos mililitros de muestra, entre 50 y 250 ml. Una vez concentrada la muestra, se deben purificar los ácidos nucleicos presentes, teniendo un foco especial en el ARN que constituye el material genético del virus. Una estrategia es la extracción química utilizando tiocianato de guanidinio-fenol-cloroformo, para lograr la extracción del ARN en una fase acuosa que posteriormente se concentra por precipitación alcohólica. Alternativamente se pueden utilizar columnas de sílica, o partículas magnéticas, generalmente comerciales, en las cuales el ARN es absorbido en presencia de un agente caotrópico y posteriormente es eluído con agua o distintos buffers. También se puede utilizar una combinación de ambos métodos. En el caso de las muestras de aguas residuales es fundamental obtener el ARN con la mayor pureza posible para después detectarlo con la sensibilidad y especificidad que se requiere; infinidad de inhibidores presentes en este tipo de muestras pueden interferir con la detección y es necesario asegurar su eliminación.

Una vez obtenido el ARN puro se procede a la detección específica y cuantificación del material genético del virus. La técnica comúnmente empleada es la PCR en tiempo real (RT-qPCR), que tiene como blanco de la detección distintas regiones del genoma viral, para lo que se siguen protocolos internacionalmente avalados.

6.3 Caso de aplicación en el Conurbano Bonaerense

Mediante la colaboración de diversos actores nacionales, provinciales, Universidades Públicas, instituciones científicas e investigadores, Argentina se sumó rápidamente a la detección de material genético de SARS-CoV-2 en aguas residuales, específicamente en la provincia de Buenos Aires. El 3 de marzo se confirmó el primer caso en el país y a fines de mayo se realizaron las primeras detecciones en aguas residuales en la provincia de Buenos Aires.

Desde el inicio de la pandemia varios grupos de diversos lugares del país presentaron proyectos en las convocatorias de la Unidad Coronavirus del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCyT) [40], y comenzaron a trabajar en la puesta a punto de los métodos de detección mediante la conformación de un grupo de trabajo dentro de esta Unidad. A su vez el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) y la Autoridad del Agua (ADA) establecieron contacto con los grupos de investigación para realizar estas detecciones en la Provincia de Buenos Aires. Con la coordinación del MINCyT se estableció un equipo de trabajo integrado por la Universidad de Quilmes, Universidad de Buenos Aires y el INGE- BI en colaboración con las instituciones provinciales. El OPDS junto con la ADA tomaron muestras de aguas residuales en diversos puntos de la provincia de Buenos Aires que luego fueron analizadas por los grupos de investigación. El OPDS junto con el Organismo Provincial de Integración Social y Urbana (OPISU) concentró su muestreo en barrios populares del conurbano mientras que ADA en plantas de la empresa ABSA (Aguas Bonaerenses S.A.). Se priorizaron las muestras de aguas residuales en barrios populares dado la vulnerabilidad a la cual está expuesta su población. El Ministerio de Salud de la provincia de Buenos Aires colaboró en la selección de los sitios de muestreo. Dadas las carencias en la infraestructura cloacal de estos barrios, la participación del OPISU resultó muy importante para determinar la infraestructura y las posibilidades de muestreo en cada barrio. La implementación de esta metodología en el país es un gran desafío porque no se cuenta con la infraestructura de sistemas cloacales de los países desarrollados. Entonces, hubo que determinar la utilidad de la metodología, las posibilidades de detección, etc., en cada uno de los sitios de muestreo. La información resultante de estos análisis se aportó al Ministerio de Salud de la provincia como una herramienta adicional dentro del sistema de vigilancia epidemiológica. Al inicio de la pandemia, se seleccionaron sitios de muestreo con pocos o ningún caso reportado con el fin de detectar el inicio de la circulación viral. Al avanzar la epidemia se sumó el desafío de la cuantificación del material genético del virus con el fin de establecer la dinámica de la circulación viral en líquidos cloacales y estudiar su relación con el aumento o disminución del número de infecciones en los diferentes sitios de muestreo.

6.4 Conclusiones

A partir de la vinculación de actores locales y grupos de investigación con el apoyo del MINCyT, se logró contar con una herramienta para la detección del virus en aguas residuales en la provincia de Buenos Aires. La detección de SARS-CoV-2 en estas muestras resultó útil para la vigilancia epidemiológica, ya que unos pocos mililitros de aguas residuales permiten detectar la presencia y cuantificar el genoma del virus en una población de miles de personas. Sin embargo, la relación entre la cantidad de material genético viral en un efluente y el número de personas infectadas en la población está marcada por muchas variables de la biología de la infección por este virus, sobre las que aún falta aumentar el conocimiento. También se deberá tener en cuenta las variables funcionales y estructurales de los sistemas cloacales que impactan en esta relación.

La detección de la transmisión del SARS-CoV-2 en las aguas residuales de una localidad, ciudad o barrio, permite establecer variaciones temporales en la cantidad de casos con el fin último de contribuir en la toma de decisiones sanitarias [41].

Agradecimientos: En la realización de este trabajo han participado también los siguientes investigadores: María Dolores Blanco Fernández (UBA, IBaViM), Carolina Torres (UBA, IBaViM), Melina E. Barrios (UBA, IBaViM), Sofía M. Díaz (UBA, IBaViM), Diana Wehrendt (INGEBI), María Paula Quiroga (IMPaM), Mariana Massó (IMPaM), Adrián Gonzales Machuca (IMPaM), Gabriela Camicia (IMPaM), Ignacio Aiello (UNQ), Leopoldo Gebhard (UNQ) y Juan Carballeda (UNQ).

Referencias

- [1] Castle J., Doornik J. & Hendry D. (2020). *Short-term forecasting of the Coronavirus Pandemic 2020-07-27*, University of Oxford, UK, April 27.
- [2] He, S. Tang, L. Rong, (2020). A discrete stochastic model of the COVID-19 outbreak Forecast and control. *Mathematical Biosciences & Engineering*, vol 17, pp2792-2804.
- [3] Vabret, N. (2020). Immunology of COVID-19: Current State of the Science. *Immunity* 52(6):910-941. DOI: 10.1016/j.immuni.2020.05.002.
- [4] Osier, F. et al., (2020). The global response to the COVID-19 pandemic: how have immunology societies contributed? *Nat Rev Immunol*. DOI: 10.1038/s41577-020-00428-4.
- [5] Jeyanathan, M. et al., (2020). Immunological considerations for COVID-19 vaccine strategies. *Nat Rev Immunol.*, Sep 4:1-18. DOI: 10.1038/s41577-020-00434-4.
- [6] Martin Löf, A. (1998). The final size of a nearly critical epidemic and first passage time of a Wiener process to a parabolic barrier. *J. Applied Probability*. 35, 671-682.
- [7] Fabricius, G. & Maltz, A. (2020). Exploring the threshold of epidemic spreading for a stochastic

SIR model with local and global contacts. *Physica A*, 540, 123208.

[8] Castro, M., Ares, S., Cuesta, J. A., & Manrubia, S. (2020). Predictability: Can the turning point and end of an expanding epidemic be precisely forecast?<https://arxiv.org/abs/2004.08842>

[9] Hyndman, R. (2020). Forecasting COVID-19.<https://robjhyndman.com/hyndsight/forecasting-covid19/>

[10] Peña, D., Smucler, E., & Yohai, V. (2019). Forecasting Multiple Time Series with One-Sided Dynamic Principal Components. *J. Am Stat Assoc*, 114, 1683-1694.

[11] Yohai, V. (1987). High Breakdown-Point and High Efficiency Robust Estimates for Regression, *Ann. Statist.*, 15, 642-656.

[12] Herramientas de visualización de datos COVID-19 (2020).

<http://www.ic.fcen.uba.ar/institucional/herramientas/herramientas-de-visualizacion-de-datos-de-covid19>

[13] Armendáriz, I., Ferrari, P., Fraiman, D., Martínez, J. M. & Ponce-Dawson, S. (2020). Group testing with nested pools. <https://arxiv.org/abs/2005.13650>.

[14] Johnston, M. & Pell, B. (2020). A Dynamical Framework for Modeling Fear of Infection and Frustration with Social Distancing in COVID-19 Spread.<https://arxiv.org/abs/2008.06023>

[15] Daley D.J. & Gani J. (2001). *Epidemic modelling: an introduction*, Vol. 15 Cambridge University Press.

[16] Keeling M.J. & Rohani P. (2011). *Modelling infectious diseases in humans and animals*, Princeton University Press.

[17] Kuniya T. (2020). Prediction of the epidemic peak of coronavirus disease in Japan, 2020. *Journal of Clinical Medicine*, Vol. 9.

[18] Tagliazucchi E, Balenzuela P, Travizano M, et al. (2020). Lessons from being challenged by COVID19. *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 137.

[19] García-Violini D., Sánchez-Peña R., Moscoso-Vásquez M., Garelli F. (2020). *Non-pharmaceutical intervention to reduce COVID-19 impact in Argentina*, (en revisión) *ISA Transactions (Special Issue Modelling, Prediction, Control of COVID-19 Spreading Dynamics)*.

[20] <https://github.com/DP-3T>

[21] Douglas J.L. & Farrell S. (2020). *Coronavirus Contact Tracing: Evaluating the Potential of Using Bluetooth Received Signal Strength for Proximity Detection*, Trinity College Dublin, Ireland. https://www.scss.tcd.ie/Doug.Leith/pubs/bluetooth_rssi_study.pdf

[22] <https://www.washingtonpost.com/technology/2020/05/15/app-apple-google-virus/>

[23] <https://covid19-static.edn-apple.com/applications/covid19/current/static/contact-tracing/pdf/ExposureNotification-FAQv1.2.pdf>

[24] WHO/OEHT (World Health Organization, Occupational and Environmental Health Team), (2006). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/69477>

[25] Brugge D., Durant J.L. & Rioux C. (2007). Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: A review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks. *Environmental Health*. 6, 23, 1-12.

[26] Hoek G., Krishnan R.M., Beelen R., Peters A., Ostro B., Brunekreef B. & Kaufman J.D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health*. 12, 43.

[27] Ipiña, A., Salum G.M., Crinó E. & Piacentini R.D. (2012). Satellite and ground detection of

very dense smoke clouds produced on the islands of the Paraná river delta that affected a large region in Central Argentina. *Advances in Space Research*, 49 (5) 966-977.

[28] Yao Y., Pan J., Wang Weidong, Liu Z., Kan H., Qiu Y., Meng X. & Wang Weibing (2020). Association of particulate matter pollution and case fatality rate of COVID-19 in 49 Chinese cities. *Science of the Total Environment*, 741, 140396.

[29] Piacentini R.D., Della Ceca L. & Ipiña A. (2018). Climate change and it's relation with non-melanoma skin cancers. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 17, 1913-1917.

[30] Morales-Suarez-Varela M., Peralta Costa I. & Llopis Gonzalez A. (2017). Systematic review of the association between particulate matter exposure and autism spectrum disorders. *Environ. Res.*, 153, 151-160.

[31] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2018). *Special Report: Global warming of 1.5 degrees*. Publicado por la Organización Meteorológica Mundial y Cambridge University Press.

[32] ORNL (Oak Ridge National Laboratory, Carbon Information Analysis Center, Environmental Sciences Division), (2016). CO₂ emissions. All countries and economies.

[33] WHO (2020). *Status of environmental surveillance for SARS-CoV-2 virus*. Scientific brief.

[34] Ahmed W., Angel N., Edson J., Bibby K., Bivins A., O'Brien J.W., Choi P.M., Kitajima M., Simpson S.L., Li J., Tschärke B., Verhagen R., Smith W.J.M., Zaugg J., Dierens L., Hugenholtz P., Thomas K.V. & Mueller J.F. (2020). First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community, *Sci Total Environ*. <https://DOI.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>

[35] Medema G., Heijnen L., Elsinga G., Italiaander R. & Brouwer A. (2020) Presence of SARS-Coonavirus-2 in sewage. medRxiv <https://DOI.org/10.1101/2020.03.29.20045880>

[36] Wu F., Zhang J., Xiao A., Gu X., Lin Lee W., Armas F., Kauffman K., Hanage W., Matus M., Ghaeli N., Endo N., Duvallat C., Poyet M., Moniz K., Washburne A.D., Erickson T.B., Chai P.R., Thompson J., Alm E.J. (2020). SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases. *medRxiv*. <https://DOI.org/10.1101/2020.04.05.20051540>

[37] La Rosa G., Iaconelli M., Mancini P., Bonanno Ferraro G., Veneri C., Bonadonna L., Lucentini L. & Suffredini E. (2020). First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Sci Total Environ*. Sep 20;736:139652. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139652.

[38] David M. Knipe & Peter M. Howley (2013). *Fields Virology*. Sixth edition. Lippincott Williams and Wilkins.

[39] Rusiñol M., Martínez-Puchol S., Forés E., Itarte M., Girones R., Bofill-Mas S. (2020). Concentration methods for the quantification of coronavirus and other potentially pandemic enveloped virus from wastewater. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health*; 17:21-28. DOI: 10.1016/j.coesh.2020.08.002. Epub 2020 Aug 19. PMID: 32839746; PMCID: PMC7437508.

[40] Unidad Coronavirus del MINCYT (2020). <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/unidad-coronavirus>

[41] Peccia J., Zulli A., Brackney D.E., Grubaugh N.D. & Kaplan E.H., Casanovas-Massana A., Ko A.I., Malik A.A., Wang D., Wang M., Warren J.L., Weinberger D.M., Arnold W. & Omer S.B. (2020). Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics. *Nat Biotechnol*. DOI: 10.1038/s41587-020-0684-z.