



REVISTA DE DIFUSIÓN ACADÉMICA

ISSN 2718-6318

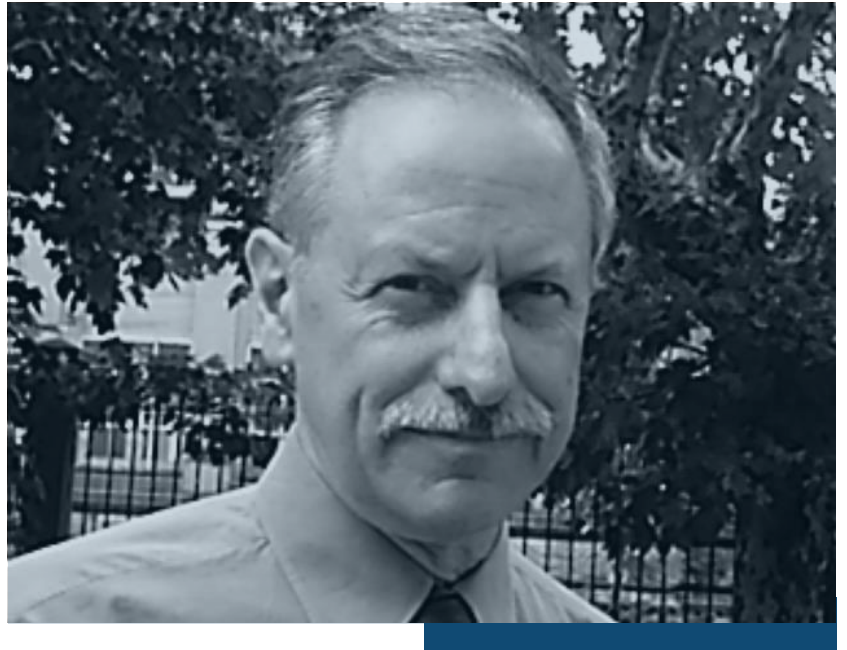
Año I | Número 2 | Octubre 2020

Modelización y prospectiva

Pablo M. Jacovkis ¹

¹ Licenciado y doctor en matemáticas por la Universidad de Buenos Aires. Su especialidad es modelos matemáticos computacionales interdisciplinarios. Tiene una larga trayectoria académica y científica como profesor de las Facultades de Ciencias Exactas y Naturales y de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires; ha publicado numerosos artículos científicos y tecnológicos en revistas y congresos internacionales y locales; ha dirigido también tesis de doctorado interdisciplinarias en computación, matemática, ingeniería, física y química, así como tesis de maestría y de licenciatura. Fue Director del Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, y Director del Instituto de Cálculo, Secretario Académico y Decano durante dos períodos (1998-2002 y 2002-2006) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la misma Universidad. Fue además Presidente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y Miembro del Directorio de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Actualmente es Secretario de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de Tres de Febrero, Director del Centro Interdisciplinario de Estudios Avanzados CIEA UNTREF y profesor emérito de la Universidad de Buenos Aires.

Los intelectuales (o, para usar un término más históricamente abarcativo, los pensadores) siempre se interesaron en el futuro de sus sociedades, o se preocuparon por dicho futuro. A veces imaginaron sociedades ideales, como Platón en su *República* o Tomás Moro en su *Utopía*. En otras oportunidades, algunos intelectuales



describieron el futuro de la humanidad desde una perspectiva profundamente pesimista y siniestra, como Huxley en *Un mundo feliz*, Zamyatin en *Nosotros*, Orwell en *1984*; entre los escritores de ciencia ficción se encuentran tanto optimistas como pesimistas. Marx era muy optimista respecto de una sociedad ideal (socialista) futura, pero su visión de tal sociedad es mucho menos detallada y precisa que las visiones “apocalípticas” de los pensadores antes mencionados; las escasas consideraciones que dedicó a dicho futuro pueden consultarse por ejemplo en Ollman (1977). Concretamente, Marx se dedicó implacablemente a criticar la sociedad de su tiempo, y nunca dudó de que una sociedad socialista sería la solución, sin preocuparse demasiado de “detalles técnicos”.²

Ahora bien, los impresionantes avances científicos y tecnológicos, sobre todos a partir de la segunda guerra mundial, provocaron que incluso sectores

² Gottfried Leibniz, uno de los mayores genios de todos los tiempos, resolvió implícitamente el problema de otro modo: consideraba que el mundo era el mejor de los mundos posibles, lo que puede interpretarse como una visión optimista (de la cual se burló Voltaire con su personaje Pangloss), aunque en realidad también se podría llegar a pensar que, por el contrario, Leibniz era terriblemente pesimista: si éste es el mejor de los mundos posibles, es que los otros mundos posibles son todavía peores. Según cualquiera de las dos posiciones, no vale la pena idear un mundo mejor (y, con la ciencia y tecnología actuales, modelizarlo) porque no es posible.

Merece recordarse también (aunque su análisis fue cualitativo, pero basado en las funciones matemáticas exponencial y lineal, o sea con cierto atisbo de modelización matemática), el famoso Ensayo sobre el principio de población, en el cual Thomas Robert Malthus pesimísticamente auguraba que, dado que la población crece exponencialmente, y la producción de alimentos crece linealmente, se llegaría a una catástrofe (apropiadamente llamada “malthusiana”). En este caso, su enfoque “futuroológico” era pesimista.

tradicionalmente conservadores comenzaran a pensar en sociedades futuras en las cuales nadie sería pobre, pero no gracias a revoluciones o cambios sociales disruptivos (que a dichos sectores conservadores por supuesto no les causaban ninguna gracia), sino gracias a la aplicación de la ciencia y de la tecnología. Es decir, el progreso científico y tecnológico “imbuyó” en ciertos sectores de la sociedad de muchas naciones (y no necesariamente sectores conservadores) un optimismo particular (y, en el caso de los sectores conservadores, conveniente). Este enfoque se vio reflejado, por ejemplo, en muchos escritores de ciencia ficción de la década de 1950, cuya confianza en la ciencia y en la tecnología era de este tipo. Y sin embargo, la ciencia y la tecnología, por sí solas, no pueden abolir la pobreza y las desigualdades; por otra parte, las sociedades actuales (ha pasado más de medio siglo desde la década de 1950) no se parecen a las imaginadas por muchos escritores de ciencia ficción.

Dada la creciente omnipresencia e impacto de las computadoras, y de las tecnologías y aparatos relacionados con ellas en el mundo moderno, no es para nada sorprendente que, no demasiado tiempo después del surgimiento de la informática, se diseñaran modelos matemáticos que usaran computadoras para estudiar, predecir o recomendar el futuro de las sociedades, tanto a nivel nacional como regional y global.³ Curiosamente (o no tan curiosamente), los logros en estos temas originados en América Latina no se conocen demasiado fuera de la región. En la década de 1960 se prepararon unos cuantos modelos bajo la dirección de Oscar Varsavsky, o inspirados por sus ideas y sus enfoques. Algunos de estos modelos tenían objetivos estrictamente teóricos, tales como el modelo matemático de la Utopía de Moro (ver Domingo y Varsavsky, 1967); otros tenían un carácter más “normativo”, como puede verse en Varsavsky y Calcagno (1971) y en las referencias allí indicadas. Estos modelos no tuvieron ninguna influencia fuera de América Latina, pero permitieron la creación de una red regional (una valiosa red de contactos, poco usual -sobre todo en esa época- en América Latina, donde, en general, los científicos tienden -y sobre todo tendían- a trabajar solamente con colegas de países desarrollados).

³ Es útil recordar que incluso una computadora analógica se usó en macroeconomía en Londres en 1949: la fascinante computadora hidráulica MONIAC, construida por Bill Phillips; al respecto, puede consultarse por ejemplo Bissell (2007).

Como se sabe perfectamente, el primer modelo de prospectiva que tuvo impacto global fue el modelo World3, popularizado en Meadows *et al* (1972). Su enfoque fue muy controvertido, tanto desde el punto de vista técnico como ideológico; sin embargo, el modelo fue extremadamente importante y muy valioso, porque permitió tanto una discusión a nivel mundial sobre su metodología como la formulación de varias cuestiones significativas (y, como bien saben los epistemólogos, a veces el planteo de la pregunta es más importante que la respuesta). A World3 lo siguieron varios modelos diferentes, incluso uno argentino que lo objetaba, el Modelo Mundial Latinoamericano, que proponía una estrategia “normativa” para llegar, de una manera factible, a sociedades igualitarias (Herrera *et al*, 1976). Este modelo, a diferencia de los modelos latinoamericanos de la década anterior, sí tuvo repercusión mundial. Lamentablemente, la situación política en Argentina, sobre todo a partir del golpe militar de 1976, obligó a varios de sus participantes a exiliarse, con lo cual el grupo que lo preparó se disgregó.⁴

Claramente, los modelos matemáticos son una herramienta poderosa para estudios de prospectiva, sean éstos nacionales, regionales o globales. Castro y Jacovkis (2015) presentan una retrospectiva histórica de esta clase de modelos y de cómo dichos modelos fueron cambiando su objeto de estudio. Hasta un cierto punto, todos los modelos computacionales de sistemas complejos son herramientas poderosas en este tipo de investigación, que muchas veces se lleva a cabo en “think tanks” o en universidades (o en instituciones relacionadas con universidades). Esto es especialmente cierto en los modelos de cambio climático que describen escenarios futuros que, salvo que se tomen con urgencia medidas drásticas, tendrán consecuencias catastróficas a nivel mundial.

Ahora bien, ¿cuándo los modelos matemáticos son una herramienta poderosa para estudios de prospectiva? ¿Cómo, y bajo qué condiciones pueden ser útiles? Es necesario explicar cuáles son las hipótesis subyacentes, las premisas y

⁴ En la actualidad, un grupo argentino, conducido por Rodrigo Castro y Hugo Scolnik (quien fue el subdirector del Modelo Mundial Latinoamericano), recuperó dicho modelo, que está migrando a un lenguaje computacional de modelización matemática moderno y eficiente. De este modo, se podrán diseñar fácilmente nuevos experimentos, y se podrá correrlos por computadora con datos actualizados y nuevas hipótesis, adecuadas a la situación mundial del comienzo de la tercera década del siglo XXI, bastante distinta de la que existía medio siglo atrás.

suposiciones (a menudo implícitamente ideológicas), la elección de las variables a emplear y las relaciones entre ellas (o sea, su estructura), y, en el caso (bastante habitual) de no tener valores reales de ellas (o calculados a partir de datos primarios medidos u observados) plantear estimaciones razonables y justificables.

Cualquier modelo, independientemente de su diseño o de la ideología de sus modelistas, es útil, siempre y cuando uno conozca sus supuestos. Todo supuesto oculto es peligroso, pues nos puede convencer de ciertas conclusiones sin tener en cuenta que cambiando el supuesto tal vez las conclusiones podrían ser completamente diferentes. Un modelo matemático puede ser sobresaliente desde el punto de vista tecnológico, puede reflejar con la mayor precisión posible las complejas relaciones políticas, sociales, económicas y culturales que existen en la sociedad modelizada, pero está basado, inevitablemente, en premisas y suposiciones que deberían ser claramente establecidas, y a veces no lo son. Las hipótesis, suposiciones, datos iniciales, parámetros y relaciones deben ser explicados y justificados, de tal modo que puedan ser razonablemente modificadas en base a una explicación y justificación alternativa. Es decir, en base a una modificación de la “teoría” subyacente. Además, deben definirse con precisión y sin ambigüedad las condiciones de contorno del modelo, o sea las variables que influyen en la simulación del modelo a lo largo del tiempo y que representan o bien acciones factibles de agentes capaces de afectar el resultado (sobre los cuales uno tiene control, o sea que en algún sentido indican eventuales políticas alternativas), o bien factores externos fuera de control. Y por último el modelo debe permitir la introducción de variables aleatorias (o sea, impredecibles) de tal manera que la reacción del modelo a dichas variables aleatorias pueda ser estimada. En particular, la introducción de estas variables aleatorias puede servir de ejercicio para comprobar la sensibilidad del modelo ante eventuales cambios.

Supongamos que en enero de 1914 hubieran existido modelos matemáticos de prospectiva de este tipo. Entonces la pregunta que surge es “¿podría algún modelo de este tipo haber predicho que en agosto de dicho año, o sea apenas siete meses después, Europa estaría inmersa en una guerra horrorosa?” Es

plausible que la ausencia de hipótesis “riesgosas” tenga que ver con una falta de imaginación por parte de los modelistas, y no sea un defecto técnico. Este punto merece ser analizado con cuidado y detenimiento. Una cierta falta de osadía imaginativa puede impedir la formulación de escenarios que pueden parecer demasiado utópicos o distópicos, pero que podrían convertirse en una inesperada realidad.⁵

Para dar otro ejemplo: la tecnología del “fracking” en la extracción de petróleo pasó a ser económicamente competitiva en la década de 1990. En este caso la pregunta sería: ¿cuánto tiempo tardaron los (inmensos) efectos geopolíticos del fracking en los Estados Unidos en ser registrados en modelos de simulación? O, enfocado desde otro punto, ¿cuán criticado hubiera sido, en la década de 1980, un modelo matemático prospectivo que hubiera predicho que Estados Unidos recobraría el autoabastecimiento en petróleo?⁶ Es crucial entender los prejuicios y certidumbres que van de la mano de la construcción de un modelo matemático. Y, a la inversa, las incertezas tienden a ser extremadamente útiles en la preparación y discusión de un modelo matemático. Si uno no se anima a pensar en alternativas que parezcan imposibles, uno no las incluye en el modelo.⁷

Un tercer ejemplo: durante muchos años, la mayor parte de los especialistas (y de los modelistas) pensaron que era imposible que un país comunista pudiera retornar al capitalismo.⁸ Ninguno de los modelos matemáticos más importantes elaborados incluían esa posibilidad entre las alternativas factibles; pero *sin*

⁵ Sería interesante tratar de averiguar cuántos de los modelos matemáticos globales o mundiales existentes en diversas instituciones fueron corridos bajo la hipótesis de una grave pandemia como la que está afectando actualmente a la humanidad.

⁶ Por supuesto siguen existiendo discusiones acerca de la posibilidad o verosimilitud de la independencia energética de los Estados Unidos, pero esta alternativa está ahora claramente sobre la mesa.

⁷ Herman Kahn, que usó herramientas de teoría de juegos, investigación operativa y análisis de sistemas, pero no modelos matemáticos prospectivos del tipo de los aquí analizados, fue un firme sostenedor, a partir de la década de 1950, de la idea de que hay que pensar en alternativas impensables, es decir, “pensar lo impensable”. Si bien su “impensable” es sumamente siniestro (que una guerra termonuclear podía ser ganada por un país, a pesar de su monstruoso costo en vidas y destrucción material) -y convirtió a Kahn en uno de los posibles modelos del Dr. Insólito de la famosa película de Stanley Kubrik-, en algún sentido fue un “adelantado” en cuanto a animarse a “pensar lo impensable” (a mi juicio, su imaginación, aunque me causa escalofríos, permitió discusiones muy valiosas). Una interesante reseña sobre este personaje, que tuvo inmensa fama sobre todo en la década de 1960, puede verse en Menand (2005).

⁸ Naturalmente, acá se está planteando un país con un régimen comunista consolidado, o sea no tiene sentido pensar como contraejemplo a esta aseveración a la Hungría de 1919 que volvió al capitalismo después de cuatro meses de gobierno comunista. Este caso se podría considerar más bien una revolución comunista fracasada.

modelos matemáticos Amalrik (1970), Todd (1976) y Carrère d'Encausse (1978) predijeron la caída del comunismo, aunque no necesariamente la dinámica de dicha caída: lo que ellos habían observado -y los modelistas no- era que el sistema estaba totalmente podrido.

Ningún modelo nos ofrecerá un futuro determinado seguro, por más experimentos numéricos que se lleven a cabo bajo diferentes hipótesis. Lo que sí nos podrá ofrecer son escenarios con diferentes posibles configuraciones en el futuro, cada una de ellas con su propia justificación causal. Esto permitirá, por un lado, ver la factibilidad de ciertas políticas sujetas a distintas circunstancias y, por otro lado, cuando los resultados obtenidos no concuerdan con lo que uno esperaría, analizar cuidadosamente las relaciones matemáticas y las hipótesis empleadas, a fin de ver si es necesario corregir ligeramente (o no tan ligeramente) dichas relaciones, datos o hipótesis, o modificar el modelo, parcial o globalmente.

Con este enfoque, un modelo matemático es una herramienta poderosa para analizar escenarios futuros, factibilidad de políticas (independientemente de si esas políticas nos gustan o no), y consecuencias plausibles. Además, la necesaria interacción interdisciplinaria entre los especialistas que preparan el modelo y aquéllos que lo usarán lo enriquecerán aún más. De hecho, ésta es su mayor potencialidad: el propio proceso de formulación, desarrollo, análisis de datos e interpretación de resultados puede discutirse bajo distintas hipótesis alternativas (y opuestas las unas a las otras); de esta manera, se puede obtener una mejor comprensión del sistema en su estado actual, y de escenarios futuros, bajo distintas circunstancias,⁹ lo cual por supuesto no es poco. Eso sí: no esperemos que el modelo prediga *exactamente* el futuro.

⁹ En cierto sentido, Collins y Pinch (1998) eligieron un enfoque de estas características cuando discutieron la utilidad del modelo econométrico británico usualmente denominado “de los siete sabios”. Además, como Collins y Pinch escriben (1998: 152) “[s]ocial science has its own methods and not all of these are quantitative by any means”.

Bibliografía

Amalrik, Andrei (1970). *Will the Soviet Union survive until 1984?*, New York: Harper & Row.

Bissell, Chris (2007). Historical perspectives - The Moniac. A hydromechanical analog computer of the 1950s. *IEEE Control Systems Magazine* 27(1): 59-64. <<http://oro.open.ac.uk/7942/1/04064850.pdf>>.

Carrère d'Encausse, Hélène (1978). *L'empire éclaté*, Paris: Flammarion.

Castro, Rodrigo y Jacovkis, Pablo M. (2015). Computer-based global models: from early experiences to complex systems, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 18 (1) 13. <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/1/13.html>>.

Collins, Harry y Pinch, Trevor (1998). *The Golem at large: what you should know about technology*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Domingo, Carlos y Varsavsky, Oscar (1967). Un modelo matemático de la Utopía de Moro, *Desarrollo Económico* 7 (26): 3-36. Reproducido en Varsavsky y Calcagno (1971), pp. 164-190.

Herrera, Amílcar O; Scolnik, Hugo D.; Chichilnisky, Graciela; Gallopin, Gilberto G.; Hardoy, Jorge E.;

Mosovich, Diana; Oteiza, Enrique; Romero Brest, Gilda L. de; Suárez, Carlos E. y Talavera, Luis (1976). *Catastrophe or new society? A Latin American World Model*, Ottawa: International Development Research Center, 1976. Segunda edición: *¿Catástrofe o nueva Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano 30 años después*, Buenos Aires: International Development Research Center - Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, 2004.

Meadows, Donella H.; Meadows, Dennis L.; Randers, Jorgen y Behrens II, William W. (1972). *The limits to growth*, New York: Universe Books. Hay traducción al castellano: *Los límites del crecimiento*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1972, y ediciones sucesivas. Existen dos actualizaciones: Donella H. Meadows, Dennis Meadows y Jorgen Randers, *Beyond the limits*, White River Junction, VT:

Chelsea Green Publishing, 1992; y Donella H. Meadows, Jorgen Randers y Dennis L. Meadows, *Limits to growth: the 30-year update*, White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing / London: Earthscan, 2004.

Menand, Louis (2005). Fat man. Herman Kahn and the nuclear age, *The New Yorker*, 27 de junio de 2005: 92-98.

Ollman, Bertell (1977). Marx's vision of communism: a reconstruction, *Critique: Journal of Socialist Theory* 8 (1): 4-41.

Todd, Emmanuel (1976). *La chute finale*, Paris: Laffont. Hay traducción al castellano: *La caída final*, Buenos Aires: Emecé (1978).

Varsavsky, Oscar y Calcagno, Alfredo E. (comps.) (1971). *América Latina. Modelos matemáticos*, Santiago de Chile: Editorial Universitaria.