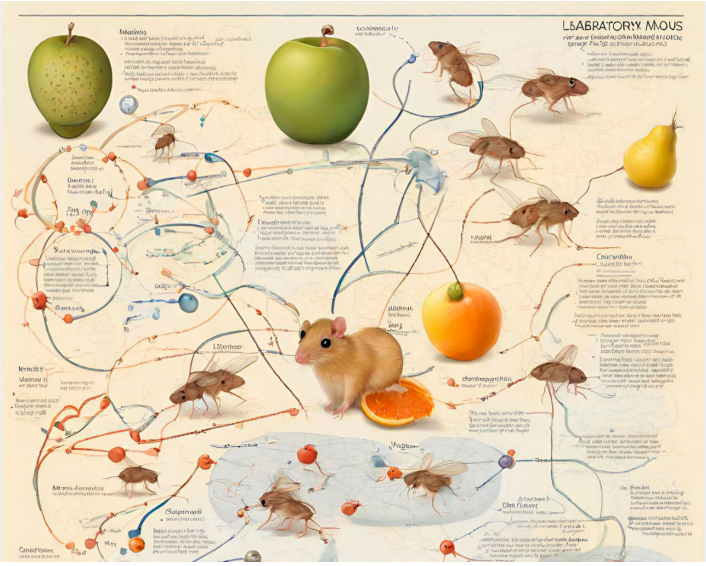
SOBRE EL USO DE MODELOS EN CIENCIA

Posted on 13 mayo, 2024 by Moisés Santillán Zerón



Category: Ciencia
Tag: Ciencias Exactas

1. Introducción

La ciencia busca comprender los sistemas naturales que componen nuestro mundo. Si se trata de células, clima o evolución de la vida, los fenómenos investigados involucran incontables componentes en interacción que operan a través de múltiples escalas.

Para abordar dicha complejidad, los científicos emplean modelos que son representaciones simplificadas destinadas a destilar los rasgos clave del sistema estudiado, al tiempo que ignoran los

detalles menos importantes. Los modelos toman formas diversas, que van desde organismos vivos y construcciones físicas hasta ecuaciones matemáticas y diagramas conceptuales. A pesar de sus distintas representaciones, todos los modelos buscan condensar la complejidad en formas comprensibles para la mente humana.

El desarrollo de modelos es fundamental en varias disciplinas científicas. Entre otras aplicaciones, los modelos facilitan las pruebas de hipótesis y el desarrollo teórico cuando la experimentación directa resulta difícil. Incluso se podría argumentar que las propias teorías científicas son, en sí, modelos que proporcionan marcos simplificados para explicar y predecir los fenómenos naturales.

Este artículo explora los fundamentos conceptuales y funciones del modelado en ciencia. Detalla los diversos tipos de modelo e indaga sus cimientos filosóficos. Las ideas presentadas sintetizan la información extraída de las fuentes citadas al final.

2. Categorías de modelos científicos

Los modelos científicos simplifican la complejidad de los sistemas naturales a través de diversas formas de representación diseñadas para cumplir propósitos específicos. De manera general, los modelos pueden clasificarse en cuatro categorías ordenadas de menos a más abstractas:

A. Organismos vivos como modelos

Algunos organismos vivos como roedores, peces cebra, moscas de la fruta, bacterias y otras especies, se usan como modelos para simular aspectos clave de la biología humana o de otras especies de interés y mecanismos subyacentes a las enfermedades. Dado que involucran organismos vivos, estos modelos capturan la complejidad sistémica inherente a la vida que no puede replicarse a través de otros tipos de modelos.

Los modelos vivientes ofrecen beneficios como permitir el estudio, en condiciones controladas y de manera longitudinal, de procesos biológicos dinámicos y complejos como el desarrollo, la fisiología y la progresión de las enfermedades. Esto permite comprender dichos procesos en el contexto funcional multisistémico del organismo vivo. Asimismo, las pruebas con animales posibilitan evaluar previamente la eficacia, seguridad y regímenes óptimos de dosificación de fármacos, antes de llevar a cabo ensayos clínicos con sujetos humanos. De esta forma, se garantiza en la medida de lo posible la protección de la salud y el bienestar de los participantes en investigaciones con seres humanos.

Sin embargo, también presentan ciertas limitaciones. La complejidad propia de los organismos vivos dificulta aislar y estudiar variables moleculares o fisiológicas individuales, dificultando el establecimiento de vínculos de causa-efecto directos. Además, las diferencias biológicas entre

especies requieren extrapolar los datos animales a los humanos, ya que no todos los mecanismos de enfermedad pueden ser directamente comparables por la divergencia evolutiva.

En síntesis, aunque ofrecen una aproximación más holística de la biología humana, o de especies de interés comercial, que otros modelos deben evaluarse según limitaciones intrínsecas y factores éticos, para garantizar que continúen contribuyendo significativamente al avance de la biomedicina.

B. Modelos físicos

Los modelos físicos son representaciones materiales concretas de elementos estructurales biológicos. Algunos ejemplos históricamente relevantes son los prototipos físicos de la doble hélice del ADN y diversos complejos proteicos. Estos modelos describen atributos clave como la geometría molecular y los cambios conformacionales de una manera tangible y visualizable.

Los modelos físicos ofrecen ciertas ventajas para la investigación y la educación. Su naturaleza práctica facilita la visualización y conceptualización de organizaciones biomoleculares abstractas. Esta característica interactiva inspira nuevas hipótesis y experimentos a medida que los investigadores manipulan las réplicas. Además, transmiten efectivamente conceptos estructurales a estudiantes y audiencias amplias.

No obstante, también presentan limitaciones inherentes a su naturaleza. Las réplicas necesariamente simplifican y omiten características a pequeña escala. En consecuencia, ofrecen una representación simplificada que puede oscurecer interacciones sutiles, pero biológicamente relevantes.

C. Modelos conceptuales

Los modelos conceptuales utilizan diagramas, analogías y otros marcos visuales y verbales para representar sistemas de forma cualitativa. Incluyen descripciones de estructuras biológicas como el sistema circulatorio o el atómico. Las conceptualizaciones también abarcan ilustraciones descriptivas de procesos y redes dinámicas.

Las principales ventajas de los modelos conceptuales residen en su capacidad de destilar relaciones y propiedades emergentes abstractas en formas mentalmente comprensibles. Los diagramas visuales y las abreviaturas verbales comunican principios funcionales generales de manera accesible. Esta habilidad los convierte en herramientas altamente efectivas para el intercambio interdisciplinario y la construcción de bases conceptuales.

Sin embargo, la abstracción cualitativa conlleva a limitaciones. Estos modelos omiten mecanismos

específicos y datos numéricos, lo que puede limitar su aplicabilidad para responder preguntas de carácter cuantitativo. Su generalidad facilita la comunicación, pero existe el riesgo de caer en sobre simplificaciones o propagar conceptos erróneos sin elaboración técnica. En general, su poder explicativo depende de la naturaleza del problema de investigación y la disponibilidad de enfoques complementarios.

D. Modelos matemáticos

Los modelos matemáticos expresan relaciones a través de ecuaciones simbólicas y fórmulas que cuantifican fenómenos naturales. Algunos ejemplos son las ecuaciones que describen el crecimiento poblacional, la propagación de enfermedades y la cinética de reacciones bioquímicas.

Una ventaja clave es su capacidad de caracterizar sistemas de manera rigurosa mediante parámetros y funciones numéricas. Cuando se parametrizan con datos experimentales, permiten realizar análisis predictivos y pronósticos comprobables experimentalmente. Su naturaleza cuantitativa también facilita pruebas de hipótesis a través de simulaciones numéricas. Además, permiten integrar diversos conjuntos de datos e implementar modelado jerárquico a múltiples escalas.

No obstante, la precisión cuantitativa depende del establecimiento de formas funcionales adecuadas y la estimación empírica de los parámetros. Las brechas o incertidumbres en los datos disponibles pueden reducir su poder predictivo o requerir suposiciones simplificadoras. El enfoque cuantitativo también requiere acotar el alcance para evitar complejidades analítica o numéricamente intratables. Como resultado, funcionan mejor cuando se enfocan en subsistemas bien definidos.

Cuando se construyen y aplican correctamente, los modelos matemáticos constituyen una herramienta poderosa. Pero su capacidad para representar la realidad depende del conocimiento empírico del sistema a estudiar y la incorporación de idealizaciones que los hagan manejables analítica o numéricamente.

En conjunto, las categorías de modelado aquí delineadas, desde modelos animales a formalismos matemáticos, capturan las formas diversas pero complementarias en que la abstracción científica busca comprender fenómenos naturales intrincados. Cada paradigma ofrece beneficios al tiempo que posee limitaciones inherentes que delimitan su aplicabilidad.

III. Filosofía del modelado científico

Si bien los modelos toman diversas formas, comparten una perspectiva filosófica común respecto a la simplificación de la realidad. A continuación, analizaremos algunos principios clave que sustentan el modelado científico.

A. Los modelos como idealizaciones

El desarrollo de modelos supone un proceso de abstracción cuyo fin es destilar la esencia de la complejidad a través de la simplificación y la interpretación. Como expresaron Rosenblueth y Wiener, replicar perfectamente un sistema requeriría que el modelo sea idéntico al objeto, perdiendo su utilidad.

Esto se ilustra de forma cómica en el relato de Borges acerca de un imperio ficticio en el que la ciencia de la cartografía se vuelve tan exacta que termina elaborando un solo mapa a escala del imperio mismo. Estas ideas enfatizan que los modelos evitan ser réplicas perfectas para poder ser representaciones manejables de los sistemas bajo estudio.

El objetivo es, entonces, la abstracción mediante la cual se condensa lo esencial en construcciones simplificadas cognoscibles. El modelado busca revelar la esencia subyacente a través de la idealización, no la mera imitación de detalles.

Lo anterior podría resumirse la siguiente afirmación de George Box: “Aunque todos los modelos son incorrectos, algunos resultan ser útiles”. El estándar no es la precisión en todo sino la capacidad de arrojar luz sobre las preguntas científicas mediante la abstracción y simplificación estratégicas.

B. El arte de la simplificación productiva

Desarrollar un modelo útil requiere discernir qué detalles pueden omitirse y cuáles deben incluirse para responder preguntas científicas específicas. Demasiada abstracción puede generar modelos no informativos, mientras que escasa abstracción dificulta el análisis.

Existe un "arte" de la idealización selectiva, según Rob Phillips: “Incorporar simplificaciones que preserven comportamientos y mecanismos centrales, reduciendo detalles accesorios, puede inspirar nuevas perspectivas.” Phillips distingue entre errores de idealización, al omitir factores no esenciales, y errores objetivos, al caracterizar erróneamente el fenómeno. Los primeros pueden ser aceptables si no afectan las funciones del modelo; los segundos son menos permisibles.

La prueba de las simplificaciones radica en si estas respaldan la comprensión y capacidad

predictiva de los modelos, más que en su similitud estricta con la realidad. No existe una metodología precisa para determinar cuáles simplificaciones son aceptables y cuáles no, ya que este juicio depende de la experiencia e intuición del modelador.

C. Los modelos como herramientas epistémicas

Debido a su naturaleza simplificada y abstracta, los modelos científicos sirven como herramientas epistémicas más que como representaciones definitivas de la realidad. Es mejor entenderlos como marcos operativos que impulsan la investigación científica.

Al condensar la complejidad, los modelos configuran la investigación empírica y apuntan a nuevas líneas de trabajo. Su valor reside más en el estímulo preguntas científicas novedosas que en el cierre definitivo de un proyecto. En este sentido, catalizan el refinamiento iterativo del conocimiento a lo largo del tiempo.

En el contexto de los modelos matemáticos, éstos pueden ser explicativos o predictivos. Los primeros formalizan relaciones causales, representando y probando dinámicas para profundizar la comprensión a través de predicciones que puedan ser probadas experimentalmente. Los segundos se enfocan en proporcionar pronósticos precisos integrando patrones y tendencias.

Ambos tipos de modelos desarrollan el conocimiento de formas distintas pero complementarias. Los explicativos brindan perspectivas mecanicistas. Cuando sus predicciones se sustentan con resultados experimentales, ayudan a consolidar marcos teóricos. Los predictivos brindan pronósticos fiables, aunque no ayuden a establecer causalidad. En conjunto, estos enfoques impulsan la comprensión a través de hipótesis, síntesis teórica, interrogantes y decisiones basadas en evidencia.

V. Conclusiones

Este documento ha examinado los fundamentos y roles del modelado científico. En síntesis, la elaboración de modelos requiere pericia para crear simplificaciones productivas que preserven su funcionalidad explicativa o predictiva. Esto implica un equilibrio entre arte y ciencia: los datos sustentan, pero la abstracción sigue siendo un proceso interpretativo.

De cara al futuro, el modelado será aún más importante a medida que las tecnologías revelen mayores detalles de los sistemas. El progreso dependerá de la interacción entre simplificación, experimentación y refinamiento teórico iterativo.

Los modelos garantizan que la investigación científica permanezca como un proceso empirista y

mentalmente abierto. Al establecer entendimientos provisionales, invitan al diálogo y extensión de teorías ante realidades emergentes. Esto sustenta el rol central del modelado en ciencia.

Aunque los misterios naturales superan la comprensión humana, el modelado asegura el avance perpetuo a través de niveles de abstracción. Revelando paulatinamente los diseños intrincados de la naturaleza, impulsa tanto el descubrimiento como un mayor entendimiento de la complejidad natural a través de diversas escalas espacio temporales. C^2

Referencias

1. Rosenblueth and N. Wiener (1945) The role of models in science, *Philosophy of Science* **12(4):** 316-321
2. Phillips (2012) Physical Biology of the Cell, Garland Science, 2nd edition
3. L. Borges (1982) Del rigor en la ciencia, en *El hacedor,* Emecé Editores SA, 16ª edición
4. E.P. Box (1976) Science and statistics, *Journal of the American Statistical Association* **71(356):** 791–799