

## El binomio causalidad-azar: ¿principio explicativo del conocimiento científico en medicina?

Leonardo Viniestra-Velázquez

Departamento de Investigación Educativa, Unidad de Investigación en Medicina Basada en Evidencias, Hospital Infantil de México Federico Gómez, Ciudad de México, México

### Resumen

Este ensayo cuestiona las verdades matemáticas como principio explicativo del conocimiento científico médico. Se analiza, en primer término, el concepto de normalidad actual basado en una distribución de valores probabilísticos, y se destacan sus limitaciones y equívocos para captar la complejidad de la condición humana. Los sistemas cerrados (juegos de azar), origen de la teoría de las probabilidades y del binomio causalidad-azar, se comparan con los sistemas abiertos propios del proceso vital y se argumentan sus diferencias extremas. Se destaca el despropósito de depositar en el binomio causalidad-azar el significado de asociaciones entre sucesos propios de la complejidad de la vida humana en salud y enfermedad. Se confrontan las características de la causalidad mecanicista (puntual, lineal, unidireccional, homogénea y fija), que equipara al organismo con una máquina y es la única explicación científica aceptada del acontecer de la vida humana, con las de la causalidad contextual (difusa, heterogénea, jerárquica, multidireccional y cambiante), que especifica diversos órdenes causales interactuantes que dan forma a la condición humana: el histórico, el social, el político, el económico, el cultural o el biológico, que representa una mirada escrutadora y penetrante de la complejidad de los seres humanos. Se concluye la superioridad de la causalidad contextual sobre la mecanicista, que abre posibilidades explicativas de sucesos vitales que suelen arrumbarse como «efectos del azar». Esta aproximación integradora a la complejidad humana puede enriquecer y fortalecer el método clínico, hoy degradado y en riesgo de extinción.

**Palabras clave:** Normalidad estadística. Sistemas cerrados. Binomio causalidad-azar. Sistemas abiertos. Causalidad mecanicista. Causalidad contextual.

### The causality-chance binomial: explanatory principle of scientific knowledge in medicine?

#### Abstract

This essay questions mathematical truths as an explanatory principle of the medical scientific knowledge. It analyzes, in the first place, the current concept of normality based on a distribution of probabilistic values and its limitations and mistakes to capture the complexity of the human condition are highlighted. The closed systems (gambling) origin of the theory of probabilities and the binomial causality-chance are compared with open systems typical of the complexity of the vital process, and their extreme differences are argued. The nonsense of depositing in the causality-chance binomial the meaning of associations between events typical of the complexity of human life in health and disease is highlighted. The characteristics

#### \*Correspondencia:

Leonardo Viniestra-Velázquez

E-mail: leonardo.viniestra@gmail.com

1665-1146/© 2022 Hospital Infantil de México Federico Gómez. Published by Permanyer. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Fecha de recepción: 18-08-2022

Fecha de aceptación: 18-10-2022

DOI: 10.24875/BMHIM.22000119

Disponible en internet: 04-05-2023

Bol Med Hosp Infant Mex. 2023;80(2):94-104

[www.bmhim.com](http://www.bmhim.com)

*of mechanistic causality (punctual, homogeneous, linear, unidirectional and fixed), which equates the organism with a machine and is the only accepted scientific explanation of events of human life, are confronted with those of contextual causality (diffuse, heterogeneous, hierarchical, multidirectional and changing), which specifies various interacting causal orders that shape of human condition: the historical, the social, the political, the economical, the cultural or the biological that represents a scrutinizing and penetrating look at the complexity of human beings. It concludes the superiority of contextual causality over mechanistic causality that opens up explanatory possibilities of the vital events that are usually put away as "effects of chance". This integrative approach to the human complexity can enrich and strengthen the clinical method that is now degraded and at risk of extinction.*

**Keywords:** *Statistical normality. Closed systems. Binomial causality-chance. Open systems. Mechanistic causality. Contextual causality.*

«Recurrir al azar es "delegar" la explicación en lo inexplicable.»

El autor

## Introducción

En las revistas científicas médicas se describen los métodos y los procedimientos de observación y de experimentación, y el análisis y la interpretación de los datos, utilizando las matemáticas para describir, analizar, sistematizar y validar los hallazgos, donde entran en juego diversas herramientas: concepto de normalidad, escalas de medición, teoría de las probabilidades o pruebas estadísticas, entre las más destacables. Todo esto nos revela que los números poseen un poder de persuasión incontrastable y sui géneris: se asumen como realidades o verdades contundentes, incuestionables; en el fondo, se trata de la creencia ancestral de ubicar en las matemáticas —«las ciencias exactas»— el auténtico soporte de toda verdad científica. Este trabajo pretende sembrar dudas acerca del valor incuestionable de las «verdades matemáticas» como fundamento explicativo del conocimiento científico en medicina, en especial la teoría de las probabilidades con sus conceptos de *causalidad* y de *azar*, alusivos a dos formas de relación entre sucesos.

## El concepto de normalidad

Una vía de acceso a las entrañas del quehacer científico en medicina es el vocablo «normal», que tiene un uso extraordinariamente extendido, desde el lenguaje más vernáculo («es normal que así suceda») hasta sus acepciones técnicas más precisas («este resultado es anormal porque se encuentra dos desviaciones estándar por debajo de la media de la población estudiada»). Esta polisemia de lo «normal» plantea la necesidad de rastrear su significado a fin de especificar su utilización

y así aproximarse a la *teoría de las probabilidades*, a la *causalidad* y al *azar*.

En la investigación médica, el concepto de normalidad representa el núcleo que da apoyo y fundamento a numerosas ideas, enfoques y métodos. Designa, de manera genérica, la dispersión de los valores de conjuntos de mediciones de moléculas, metabolitos, especímenes, pacientes, grupos o poblaciones, dentro de un cierto patrón de distribución o norma. Conviene precisar, de inicio, que el concepto *normal* con sus implicaciones modernas proviene de la noción de norma (jurídica), que se originó en parajes muy apartados del ámbito científico. En efecto, desde un punto de vista estricto, fue con el advenimiento de la Revolución Francesa y la aparición en el escenario histórico de un «nuevo sujeto jurídico» que surgieron las leyes y las normas en su sentido moderno y no como privilegios, directos o indirectos, de la divinidad<sup>1</sup>. La legislación tiene el fin de regular la convivencia entre personas en un marco de igualdad y libertad; son esas nociones de ley y de norma las que se diseminaron a diferentes campos de conocimiento, incluyendo las matemáticas y la biología.

Dada la relación entre el concepto de normalidad actual y la teoría de las probabilidades, en primer término se analizarán las condiciones de surgimiento de esta en el ámbito de las matemáticas, y a continuación algunas de sus aplicaciones en el campo de la medicina a través de los conceptos de causalidad y de azar. El propósito es incitar la reflexión y el debate sin pretender agotar el tema ni resolver todas las interrogantes. Los destinatarios de estas reflexiones son los que no están «tan seguros de sus certezas metodológicas», habida cuenta de que, en cuestiones conceptuales, la evidencia es más teórica que empírica.

Los prolegómenos de la teoría de las probabilidades pueden ubicarse en el siglo xvii, cuando la curiosidad de los matemáticos por los llamados «juegos de azar» inicia un largo devenir que llega hasta nuestros días.

Los nombres de Pascal, Fermat, Buffon, Huyghens, Bernoulli, Bayes, Laplace, Gauss, Poincaré, Frécher o Bourbaki<sup>2</sup> dejaron su impronta en ese derrotero, donde ocurrieron sistematizaciones, correcciones y reacomodos conceptuales, sin los cuales sería inconcebible la moderna teoría de las probabilidades. En lo tocante a «lo normal», hace su aparición en el continente de las matemáticas —sin olvidar que es una «exportación» jurídica— como resultado de la búsqueda incesante que, entre otros logros, desarrolla la teoría del azar y aporta criterios para la *predicción* de diferentes tipos de acontecimientos físicos, con base en la teoría de las probabilidades<sup>3</sup>.

En contra de lo que se piensa, la curva normal gaussiana designaba, en un principio, la distribución que exhibían las mediciones repetidas de un mismo objeto, adoptándose el término «normal» para calificar ese patrón específico de distribución; es decir, los «errores» de medición se distribuían de un modo característico y simétrico<sup>4</sup>. Conforme se extendió la aplicación de ese patrón de distribución a las mediciones en otras ramas del saber, lo «normal» se empezó a utilizar para calificar la distribución de mediciones únicas de conjuntos de objetos; en otras palabras, el concepto originario que aludía a la forma de distribución de los valores de las mediciones de un mismo objeto fue sustituido por el de la distribución de los valores de las mediciones de múltiples objetos, y más aún, la distribución normal se consideró atributo de la medición de conjuntos de objetos de una misma clase. Así las cosas, esta «normalidad» se tomó como base de sustentación para entender los fenómenos biológicos, complementada con la estadística y la teoría de las probabilidades. Tal situación fue un poderoso impulso para que la mirada epidemiológica alcanzara predominio metodológico en detrimento de lo clínico o cualitativo, que ahonda en la individualidad.

En el campo de la medicina, lo «normal» era de uso corriente antes de su aparición en las matemáticas; en efecto, puede afirmarse que la noción de normalidad, con sus variantes, era equiparable a sano, y anormalidad a enfermo. Tales acepciones han persistido, si bien han sufrido diversas modificaciones para llegar a nuestros días; los cambios ocurridos se deben, en buena medida, a la introducción creciente de los conceptos matemáticos antes referidos en la investigación médica.

El concepto de normal está ahora asentado sobre bases estadísticas y probabilísticas; de esta manera, la anormalidad biológica es equiparable con una

medición que se ubique fuera del rango de distribución que incluye el 95% de una muestra representativa de «sanos». En otros términos, el criterio de normalidad se hizo cada vez más dependiente del resultado de una medición; se concretó así el reduccionismo matemático como concepto clave de la práctica médica que, por lo mismo, ha perdido su carácter propiamente biológico. Este reduccionismo facilita la tarea de condensar, describir y precisar en números las observaciones (estadística descriptiva), pero funciona como cortina de humo si pretendemos una inteligibilidad profunda de las cualidades distintivas del proceso vital (ver más adelante).

Si en un principio se tenía una idea clara de que los métodos de cuantificación entrañaban variaciones que se distribuían normalmente, muy pronto tal evidencia dejó de representar un criterio relevante al interpretar los resultados de las mediciones. Así, la dispersión de los resultados de la medición de algún rasgo o molécula en un grupo de individuos se interpreta como variabilidad atribuible solo a los individuos; se pierde de vista que el cálculo de la media, la desviación estándar y la varianza del grupo estudiado incluyen no solamente las diferencias interindividuales, sino también las variaciones del método de medición. ¿Cómo arribar a conclusiones, sin la menor sombra de duda, a partir de ciertos resultados, sin haber considerado las variaciones del método utilizado? La literatura biomédica está saturada de datos, disquisiciones, discusiones, proposiciones o extrapolaciones que desestiman lo relativo a la precisión y la exactitud del método empleado\*.

La investigación en el campo de la salud recurre, casi con exclusividad, al método epidemiológico, dejando cada vez más de lado el estudio a profundidad de los casos (método clínico). El uso generalizado de baterías de exámenes de laboratorio como principal recurso de detección de problemas potencialmente curables o prevenibles enfrenta la situación paradójica de que «la normalidad» de base probabilística y estadística fija un rango que engloba el 95% de los integrantes de cierto universo poblacional, y según este porcentaje, un sujeto normal (verdadero) tendrá solo una oportunidad de tres de tener resultados uniformemente normales en una rutina de 20 pruebas diferentes<sup>5</sup>, debido a que el rango normal se determina independientemente para cada prueba ( $0.95^n$ ). Así, suponiendo la aplicación a sanos de una sola prueba de laboratorio, el 95% será considerado normal; con

\* Si bien esta variabilidad ha disminuido considerablemente con las actuales tecnologías de cuantificación, se trata de un fenómeno inherente a los métodos de medición.

cinco pruebas, el 77% (0.95<sup>5</sup>); con diez determinaciones diferentes, el 60% (0.95<sup>10</sup>), y con 20 solo el 35% (0.95<sup>20</sup>) estará incluido dentro de la normalidad en todas las mediciones<sup>6</sup>. A tales equívocos cabe agregar la observación de la escasa utilidad del uso *rutinario* (independiente de lo sugerido por el estudio clínico) de los exámenes de laboratorio para detectar problemas nuevos no sospechados clínicamente<sup>7</sup>.

Lo anterior revela lo inconveniente de la realización rutinaria de baterías de exámenes de laboratorio para «chequeos del estado de salud», que suelen arrojar datos «anormales» sin ninguna base clínica y que estrictamente corresponden a «ficciones de laboratorio». El desconocimiento de tales eventualidades obliga a repetir estudios o solicitar otros nuevos —igualmente innecesarios— para finalmente concluir, en el mejor de los casos, que no hay alteración alguna, con el consecuente desperdicio de tiempo y de recursos, y el malestar físico y psicológico de la persona que se somete a estos rituales estresantes para «cuidar de su salud».

Otro aspecto que se ha desestimado es la existencia de variaciones intraindividuales reales en la concentración de ciertas sustancias que no son atribuibles al método de medición<sup>8-10</sup>. El conocimiento de que los ritmos biológicos (ultradianos, circadianos, infradianos), la edad, el sexo o la etnia se asocian con diferentes patrones de fluctuación de diversas variables fisiológicas planteaba, desde mucho tiempo atrás, la necesidad de ponderar y reinterpretar algunos de nuestros supuestos que consideramos incontrovertibles; además, tal conocimiento constituye un motivo de peso para reorientar algunos de nuestros esfuerzos hacia el entendimiento de la individualidad biológica, psicológica y cultural que representa toda persona, sana o enferma. El asunto se vuelve más intrincado si consideramos que la medición de ciertas variables no tiene una distribución normal<sup>11,12</sup>, lo que representa otra objeción al constructo de normalidad que ha sido soslayada en detrimento de los pacientes.

Lo argumentado pone en entredicho ese criterio rector del proceder médico. Si el interés es profundizar en el conocimiento de cada individualidad, es preciso reconocer que el criterio de normalidad que traza una línea de demarcación entre la salud y la enfermedad es inapropiado; en ausencia de una comprensión penetrante de la vida individual, difícilmente avanzaremos hacia mejores interpretaciones del significado de las mediciones en un sujeto o una población, y tomar decisiones pertinentes.

## Causalidad y azar

El componente de las matemáticas que tiene una influencia decisiva en el devenir de las ciencias naturales y de la medicina es la teoría de las probabilidades, con los conceptos de *causalidad* y de *azar* que la acompañan. La teoría de las probabilidades constituye una poderosa herramienta de utilización universal; es difícil imaginar un campo del conocimiento en que no se utilicen las probabilidades, sin dejar de reconocer que los matemáticos, desde tiempo atrás, convencidos de la naturaleza impredecible de muchos fenómenos naturales, han desarrollado las «matemáticas del caos» (ver más adelante)<sup>13</sup>.

Para entrar en materia, consideremos esta definición de *azar*: «fuerza de naturaleza desconocida u oscura a la que, por exclusión, se atribuye la aparición de ciertos sucesos». Recíproco de esta se encuentra la de *causalidad*, que alude a «un tipo de vínculo entre sucesos, con ocurrencia y secuencia temporal consistentes, que permite atribuir a uno la aparición del otro». Advertimos cómo, indefectiblemente, la aceptación del azar lleva aparejada la de causalidad, y viceversa: en todo fenómeno en el que no se «comproban» relaciones causales se invoca al azar, y este se disipa en cuanto la causalidad se verifica.

Todas las modalidades de investigación en medicina que utilizan métodos cuantitativos y estadística inferencial sustentan el significado de sus observaciones en los conceptos antes mencionados; es decir, en esta herramienta matemática se deposita el poder explicativo de los sucesos de la vida humana en salud y enfermedad. Sin embargo, un concepto no es un hecho, y *causalidad* y *azar* son ideas acerca del porqué y el cómo de fenómenos, al igual que existen otras al respecto, o sea, la dualidad causa-azar no es la única concepción posible ni la más penetrante (ver más adelante); lo que es obvio es que constituye la «explicación» que goza de exclusividad en este campo de indagación.

La primera objeción a tal exclusividad es que las leyes del *azar* se desarrollaron a partir de los juegos de azar, creados con la intención deliberada de suprimir la causalidad en su dinámica interna. Estos juegos pueden equipararse con lo que termodinámicamente se designa como *sistemas cerrados* —a cualquier intercambio de energía con el exterior—, que en los juegos de azar alude al cierre a cualquier influencia externa al sistema que pueda modificar su forma de operar. Son características de los juegos de azar:

- La supresión de la causalidad: «el azar en su máxima expresión».
- Su funcionamiento y posibilidades se establecen de antemano. Se anula así toda posibilidad de que surjan contingencias espontáneas no previstas que modifiquen su dinámica.
- Son heterónomos. Es decir, su movimiento no es espontáneo, depende de la intervención del exterior, y de ahí la tentación y la posibilidad de hacer «trampas» por parte del operador.
- Todo cambio intrínseco está excluido, y si llega a ocurrir es consecuencia de una acción humana exterior.
- Obviamente, carecen de lo que denominamos «medio ambiente». Son sistemas virtuales que existen cuando un operador externo los pone en funcionamiento.
- Son una creación humana, lo cual significa, entre otras cosas, que tienen una finalidad.

Estos sistemas, con características opuestas a los seres vivos, son los que dieron fundamento a la teoría de las probabilidades y a la moderna herramienta matemática de hoy día. Dicha teoría, en su complejidad y refinamiento actuales, conservó sus bases originarias: *el comportamiento del azar propio de los sistemas cerrados*. En cuanto a las pruebas estadísticas modernas aplicadas a la investigación médica, si bien no se derivaron de los juegos de azar, basan el criterio de *significación causal* en esa relación recíproca entre causalidad y azar<sup>†</sup>. El valor *p* expresa la probabilidad de que los resultados obtenidos al aplicar una prueba estadística sean atribuibles al efecto del azar. Convencionalmente este valor se ha fijado en 0.05, o sea, cinco probabilidades entre cien de que esos valores obtenidos se expliquen por el azar; tal proporción se considera con suficiente solidez para sostener que la relación causal es real. Así las cosas, se piensa que las leyes del azar propias de los sistemas cerrados tienen la misma aplicabilidad y análogo «poder explicativo» de sucesos del orden biológico, psicológico o social. Lo endeble de tal razonamiento se hará ostensible al caracterizar el proceso vital que equiparamos, para efectos comparativos, con los «sistemas abiertos», a sabiendas de que el concepto de sistema es de estirpe física.

† Debe diferenciarse la causalidad que incluye todo aquello que no pueda ser explicado por las leyes del azar de la que constituye un criterio metodológico clasificatorio. Por ejemplo, en los diseños de investigación clínico-epidemiológica, el experimento, la cohorte y los casos y controles, en este orden, se consideran de mayor a menor fuerza para sustentar relaciones causales.

Son características de los procesos vitales como «sistemas abiertos»:

- Una complejidad apenas imaginable, resultado de una dilatada filogenia donde lo aleatorio debió ser forzosamente neutralizado en gran medida para posibilitar el surgimiento de estructuras moleculares inéditas por su estabilidad antientrópica y poder replicante, que hicieron posible su persistencia, diversificación y evolución.
- Su cualidad autopoiética: se producen a sí mismos y se transforman por sí mismos<sup>14</sup>.
- Sus posibilidades son mayores que todas las suposiciones teóricas sobre ellos: «hay en nosotros, en cada instante, muchas más posibilidades fisiológicas que las que dice la fisiología, pero se necesita la enfermedad para que se nos revelen»<sup>15</sup>.
- Poseen su propio entorno: espacio de intercambio selectivo con los objetos significativos del medio ambiente que es, al propio tiempo, condición de su existencia y cualidad vital por excelencia<sup>16</sup>; es decir, están en perpetua interacción con el exterior, y de ahí su carácter «abierto».
- Permanentemente sufren cambios y oscilaciones cíclicas en su dinámica interna y en su organización, que son efecto de las características de sus interacciones (entorno), de los ciclos ambientales y de sus distintas fases etarias.
- Toda pretensión de controlar desde el exterior su funcionamiento es, las más de las veces, un esfuerzo insuficiente y en buena medida ilusorio.
- Su finalidad, el *para qué*, son suposiciones subjetivas propias de ideologías.

Esta caracterización destaca las diferencias de raíz entre los sistemas cerrados y los sistemas abiertos; no obstante, las ciencias médicas reconocen a la teoría de las probabilidades y a sus conceptos de causalidad y azar igual aplicabilidad, validez y poder explicativo en ambos sistemas. ¡Es como equiparar la dinámica de la ruleta o la lotería con los aconteceres vitales! Asumir que las leyes del azar propias de los sistemas cerrados son las mismas en los sistemas abiertos es un ejemplo típico de *reduccionismo* (matemático) que, lejos de aproximarnos al entendimiento de la complejidad, propicia la simplificación y oscurece su comprensión.

## Hacia otra causalidad

La relación recíproca entre causalidad y azar, que son los cimientos de la teoría de las probabilidades, prefigura una forma de *causalidad mecanicista* propia

de los sistemas cerrados (máquinas), donde destacan varios atributos:

- Es *puntual*, con efectos muy circunscritos en el espacio y en el tiempo; evidente en investigaciones que buscan identificar la mayor cantidad posible de «factores» causales. Esta concepción fragmentaria, atomizada e inconexa del proceso vital propicia que los investigadores consideren que pueden aproximarse a la complejidad asociando uno a uno los diversos y minúsculos fragmentos identificados.
- Es *homogénea*. No existen jerarquías entre las diferentes causas posibles: los factores biológicos, los psicológicos o los sociales tienen, en principio, el mismo peso explicativo (causal). Aun los llamados análisis multivariados, que pueden asignar valores numéricos diferentes a las distintas variables estudiadas, hacen recaer en el número el criterio para diferenciar entre ellas. Si se obtienen valores similares, se considera que los diversos factores tienen la misma influencia, y se puede llegar al absurdo, por ejemplo, de atribuir a un factor psicológico cuatro veces más influencia que a uno social porque el riesgo calculado fue de 6.0 vs. 1.5.
- Es *lineal*. Las matemáticas que se utilizan se basan en relaciones lineales: los coeficientes de correlación, las regresiones lineales o las logísticas, son pruebas estadísticas sustentadas en las matemáticas lineales.
- Es *unidireccional*. Invariablemente, el sentido de la influencia se considera en una sola dirección: de la causa al efecto. Ni por asomo se plantea que los términos de esa relación se puedan invertir. El que en ocasiones se cambie de dirección al indagar del efecto a la causa (estudios de casos y controles, o *ex postfacto*), en nada cambia lo anterior: la causa y el efecto seguirán considerándose tales.
- Es *fija*. Una vez establecida la evidencia de una relación causal, suele permanecer y tomarse como supuesto para futuras indagaciones.

El concepto de *azar* también se inscribe en ese tipo de pensamiento de corte mecanicista, típico del empirismo reduccionista. Para este empirismo solo existe la explicación causal o por azar de los hechos observados; desestima las grandes teorías explicativas porque no son susceptibles de reducirse a esa causalidad de tipo puntual, lineal y unidireccional, y a las leyes del azar de los sistemas cerrados. Se infiere de lo dicho que para este empirismo tampoco tiene lugar la investigación teórica en la ciencia (como el presente ensayo), la cual consiste, de manera sucinta, en indagar en el universo de las ideas, confrontar planteamientos

teóricos, sopesar sus alcances y limitaciones a fin de optar por el punto de vista más penetrante y esclarecedor, o proponer alternativas promisorias.

Para ejemplificar lo que la investigación teórica puede aportar y lo restrictivo del mecanicismo expresado en la teoría de las probabilidades, analicemos las llamadas «enfermedades de la pobreza», como la desnutrición, las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales o la tuberculosis, que son estigmas de la miseria y la marginación que, a su vez, son efecto de la desigualdad social imperante que se genera porque los intereses de las minorías, en cada etapa histórica, han predominado sobre los de las mayorías. Este predominio persiste, a través de las épocas, porque los valores, las tradiciones, los hábitos y las costumbres que han tenido mayor presencia en los sucesivos escenarios sociales resultan permisivos para la preponderancia de esos intereses dominantes, manteniendo la desigualdad. En los tiempos modernos, ese predominio no ocurre por coerción física, como antaño, sino por medio de las diferentes instituciones estatales —las leyes, los tribunales, las dependencias del poder ejecutivo, las instancias del poder legislativo, las instituciones educativas, los medios de (des)información masiva— cuyos efectos ideológicos hacen aparecer el interés de pocos como el interés general de la sociedad. Ante tal perspectiva de causalidad —condensada por razones de espacio—, la explicación causal mecanicista aportaría más confusión que esclarecimiento.

Antes de abordar la *causalidad contextual*, una breve digresión. La ciencia moderna ha degradado la *causalidad*, soslayando el pensamiento fundacional aristotélico que reconocía su diversidad (causas eficiente, material, formal y final) al simplificarla y pulverizarla instituyendo la *causalidad mecanicista* como la única aceptable; de ahí lo inconveniente de recurrir a la *causalidad* para referirse a procesos diversos en tiempo y cualidad, intermitentes, que interactúan y originan *contextos*. Sin embargo, se conserva para facilitar su contrastación con la *causalidad mecanicista*.

La *causalidad contextual* reconoce las diferencias cualitativas que existen entre los diversos órdenes o esferas de la existencia humana: lo histórico, lo social, lo político, lo económico, lo cultural o lo técnico; estos, en interacción perpetua, configuran *contextos* en incesante cambio. Son características de la *causalidad contextual*:

- Es *difusa* y *diversa* en el espacio-tiempo. Sus influencias se deben a cierto tipo de atmósferas, de ambientes o de procesos, no a factores circunscritos. Las

influencias de lo histórico, lo social o lo cultural de ninguna manera son puntuales; sus efectos configuran formas de división del trabajo, ambientes de convivencia, tradiciones y costumbres, creencias, convicciones, sentimientos o ideas inveteradas.

- Es *heterogénea*. Al coexistir órdenes causales cualitativamente diferentes (social, psicológico o biológico), los efectos son también cualitativamente distintos. Los efectos biológicos no son equiparables a los psicológicos, y mucho menos a los sociales o a los históricos. Esto significa que las expresiones numéricas no pueden dar cuenta de la especificidad diferencial de los efectos de cada orden causal.
- Es *jerarquizada*. Como complemento de la heterogeneidad, se reconoce que algunos órdenes causales tienen efectos más penetrantes o de mayor duración, lo cual les confiere poder de subordinación sobre otros. Por ejemplo, el orden social subordina al psicológico o al biológico matizando sus expresiones. En la situación del médico que se esfuerza para que su paciente modifique ciertos hábitos y costumbres indeseables para su salud, el orden causal cultural (tradiciones arraigadas, que se resisten tenazmente al cambio) tiene mayor efecto que el técnico (recomendaciones para que cambie sus hábitos cual si se tratara de decisiones sobre las que el paciente tiene pleno control), para explicar los precarios resultados que suelen acompañar a este proceder del médico.
- Es *no lineal*. Cada orden causal es envolvente, serpenteante, y tiene, además de características singulares que lo especifican y lo hacen cualitativamente diferente de otros, su propia temporalidad. Las implicaciones del tiempo para un cambio histórico son distintas de las modificaciones en el orden biológico o técnico. Se entiende de lo anterior que las interacciones de diferentes órdenes causales no tienen relaciones lineales entre sí, ni en el espacio ni en el tiempo; de ahí la incongruencia de relacionar con matemáticas lineales lo social con lo biológico o lo psicológico.
- Es *multidireccional*. La influencia que va de la causa al efecto se invierte del efecto a la causa. Por ejemplo, los efectos del orden causal psicológico, modificados por poderosas tendencias del orden causal social, se revierten e influyen a su vez, matizando los efectos de lo social; de igual manera, un orden causal subordinado a otros de mayor jerarquía (el biológico vs. el social) modifica o matiza, al propio

tiempo, los efectos del orden causal superior en la escala jerárquica. Por ejemplo, la resistencia o la menor susceptibilidad genética a ciertas enfermedades crónicas propias de la modernidad provocan efectos diferenciales (sujetos no afectados) en presencia de una atmósfera social que condiciona una alta prevalencia de aquellas.

- Es *cambiante*. Los efectos pueden volverse causas, y viceversa. Por ejemplo, la internalización temprana de sólidos principios morales (efecto) se convierte en causa en la adultez al influir en cierto contexto por una forma consistente de proceder ético. Además, constantemente surgen, en todo contexto, nuevas tendencias que influyen y modifican la constelación de causalidades interactuantes que conforman *contextos*. Por ejemplo, el surgimiento de una organización no gubernamental influye y es influida por el orden causal social, político y económico, contribuyendo a cambiar los efectos de la *causalidad contextual*.

Cuando una perspectiva de conocimiento incorpora diversos órdenes causales, constituye una aproximación transdisciplinaria a la inteligibilidad de una situación problema. En el ejemplo citado de las enfermedades de la pobreza se integran lo histórico, lo social, lo político, lo cultural y lo biológico en el entendimiento de una problemática de salud: la desnutrición y el cortejo que la acompaña. ¿Qué ocurriría si, en vez de una aproximación transdisciplinaria, nos ciñéramos a la *causalidad mecanicista* afincada en la teoría de las probabilidades? Encontraríamos que los efectos históricos, sociales, políticos o culturales serían prácticamente imposibles de encajonar en los estrechos moldes de esta causalidad, y por ende no podrían considerarse como causas «científicamente comprobables o comprobadas». En el mismo sentido, imagine el lector cómo operacionalizar variables como «sociedad pasiva», «ideología dominante», «división social del trabajo», «población redundante», «masificación», «burocratismo médico», «colonialismo», etc., para probar sus efectos y valorar su grado de asociación; aun en la remota posibilidad de construir variables complejas de cierta relevancia teórica, cómo pretender valorar, sin la menor sombra de duda, las influencias entre ellas con base en una idea de causalidad puntual, homogénea, unidireccional, lineal y fija para, posteriormente, ¡dar significado estadístico a los hallazgos por medio del binomio causalidad-azar! El absurdo de subordinar un enfoque epistemológico *transdisciplinario* al *meanicista* y *reduccionista* salta a la vista.

Para abundar en lo anterior, analicemos un ejemplo: la búsqueda de relaciones causales lineales entre baja escolaridad y desempleo. Tal pretensión pierde de vista que la escolaridad es efecto, principalmente, de dos órdenes causales distintos: el cultural, que determina, entre otras cosas, el valor que se asigna al conocimiento, y el político, que explica la desigualdad y el nivel de ingresos. El desempleo, por otra parte, es fundamentalmente efecto de un orden causal económico globalizado, que determina la forma en que se organizan y desarrollan la producción y la comercialización de bienes y servicios, altamente tecnificadas —para competir por los mercados—, que requieren del trabajo intensivo de pocos y convierten en redundantes a crecientes contingentes de la población económicamente activa. Aun soslayando las consideraciones anteriores, es muy probable que en un estudio de esa índole se encuentre una asociación significativa entre baja escolaridad (causa) y desempleo (efecto), de lo que podrían derivarse recomendaciones y acciones para elevar el nivel de escolaridad en la población y disminuir el desempleo. Tal situación ha ocurrido y se trataría de acciones que, por sí mismas, tendrían escasa incidencia en el nivel de empleo (esto no supone desconocer la prioridad universal de elevar los niveles de escolaridad).

Es preciso insistir en que la lógica intrínseca de órdenes causales como el histórico (tradiciones), el social, el político y hasta el biológico es ajena al *mecanicismo* erigido como orden causal único. Incluso los matemáticos convencidos de la imposibilidad de predecir incontables sucesos de la naturaleza, no por limitaciones del conocimiento actual, sino por una cualidad intrínseca de dichos sucesos, han desarrollado alternativas como la teoría de las relaciones no lineales, las matemáticas del caos o de las catástrofes, y la geometría fractal<sup>17-20</sup>. No obstante, llevar estos desarrollos para entender la vida conllevaría el vicio de origen: matematizar un mundo cuya lógica intrínseca está en el otro polo del mecanicismo. El monopolio de la *causalidad mecanicista* deriva de su papel clave en la esfera de actividad humana instrumental y técnica de acciones deliberadas y controladas con fines predeterminados; fuera de tal ámbito resulta en una metáfora simplificadora que oscurece la inteligibilidad de la vida.

## El evanescente concepto del azar

Ahora toca el turno del *azar*: «fuerza desconocida u oscura que provoca ciertos sucesos», que asociada

a la de *causa* dio forma al binomio causalidad-azar. Si se confirman los criterios causales, se descarta el azar; en cambio, si no se cumplen, se invoca el azar como responsable. Este razonamiento que atribuye al azar un poder explicativo, que por supuesto no tiene, debe cuestionarse así se trate de la visión científica actual de los hechos «evidentes por sí mismos». Para tal efecto, primero especificaremos los contrastes entre los sistemas cerrados y los sistemas abiertos:

- En los sistemas cerrados, las leyes del azar (mecanicistas) no pueden ser subvertidas por influencias exteriores (salvo por un operador tramposo que manipula la causalidad a su favor en un proceso en el que está excluida).
- En los sistemas abiertos, ámbitos de la *causalidad contextual*, coexisten e interactúan diversos *órdenes* y *subórdenes causales*. La dinámica de algún orden es trastocada incesantemente por las influencias «exteriores» de otros órdenes; es decir, las perturbaciones («inexplicables») son inherentes al contexto de cada quien.

Deriva de lo previo que, al investigar una enfermedad bajo la óptica de la *causalidad mecanicista*, ante la presencia de sucesos «inexplicables» surgirá la necesidad de invocar el azar. Por el contrario, si al investigar se proyecta la *causalidad contextual*, los mismos sucesos pueden interpretarse como efectos de las interacciones de órdenes causales. Así, si nuestra perspectiva de aproximación e interpretación de sucesos es transdisciplinaria, lo atribuido al azar son «perturbaciones» provocadas por las interacciones incesantes de los órdenes causales involucrados. En otros términos, el azar propio de la *causalidad mecanicista* corresponde, en la visión transdisciplinaria de la *causalidad contextual*, a efectos provocados por esas interacciones de *órdenes causales* diversos. Unos ejemplos al respecto:

- Los médicos que se enfrentan a cierta enfermedad y disponen de estimados pronósticos sobre la esperanza de vida promedio pueden encontrar grupos de pacientes, semejantes en edad, factores de riesgo, apego al tratamiento y a las medidas higiénico-dietéticas, en los que unos fallecen prematuramente por la enfermedad y otros rebasan ampliamente la media de supervivencia, para lo que solo encuentra la «explicación» del azar según la *causalidad mecanicista*; sin embargo, si considera el *contexto* de esos pacientes, en particular el entorno psicosocial, puede aproximarse al esclarecimiento. En los de curso clínico desfavorable puede

«descubrir» un ambiente psicosocial adverso, con estresores intensos y persistentes, y soportes o apoyos precarios; en el caso opuesto, puede hallar estresores semejantes, pero soportes de bienestar robustos, diversos y consistentes. Lo anterior revelaría, según la perspectiva de la *causalidad contextual*, que un orden causal de mayor jerarquía, el *orden cultural* en su expresión psicosocial, influyó sobre el *orden causal biológico* en dos sentidos: 1) como ambiente deletéreo desencadenante o situación agravante de la enfermedad, o 2) como circunstancia protectora y atenuante de los estresores, que explicaría la evolución diferencial de la enfermedad y los contrastes observados entre los grupos.

- La observación de resultados contrastantes de intervenciones farmacológicas en pacientes con paralelismos en cuanto a edad, tiempo de evolución, gravedad y ambiente psicosocial. De un lado, el médico que suele propiciar atmósferas de empatía y respeto, al suscitar en ellos gran confianza y esperanza de mejoría, incita el *efecto placebo*, cuyos beneficios se suman a los farmacológicos (orden causal fisicoquímico) o contrarrestan los secundarios. Del otro, el médico reservado y escueto, que elude el plano afectivo de intercambio y se limita a los aspectos técnicos de la consulta, al «silenciar» el efecto placebo tendrá resultados menos efectivos, con mayores efectos secundarios y hasta contraproducentes<sup>21</sup>. Lo anterior ilustra cómo pacientes en análogas circunstancias (salvo el médico tratante) y que reciben el mismo tratamiento pueden tener efectos contrastantes en virtud de la ausencia o presencia del *efecto placebo* (orden causal psicobiológico).
- El último ejemplo alude al error en medicina, específicamente el que se atribuye a una negligencia. Podemos encontrar situaciones disímiles: unas donde el error sea particularmente frecuente y otras donde su incidencia sea sensiblemente menor aun en circunstancias análogas. La primera situación se favorece cuando en una institución de salud la actividad técnico-médica está subordinada al control impersonal, cuantitativo y burocrático impuesto por la administración<sup>22</sup>; en tales condiciones, cada acción debe justificarse con «un papel» aunque sea simulada. Así, cuando lo prioritario es cumplir con «el papeleo», los intereses de los pacientes pasan a un plano secundario, y de esta manera se propicia el descuido y se favorece la mala práctica. En tal situación, el orden causal institucional configura

un orden técnico-médico proclive al error, lo que suele coincidir con un orden causal *social pasivo* ante la calidad de los servicios que recibe la población, lo que da lugar a una atmósfera social de impunidad ante las consecuencias, en este caso del error médico, que mantiene el burocratismo y un orden técnico-médico desvirtuado. Por contraste, en condiciones laborales y sociales análogas, algunos médicos con sólidos principios morales (interiorizados en etapas tempranas) pueden resistir el burocratismo y priorizar el cuidado del paciente, disminuyendo considerablemente la incidencia del error médico; aquí, el orden causal moral emerge para conferir reciedumbre al médico, lo que explica la «sobrevivencia» de comportamientos éticos a favor de la vida y de los intereses de los pacientes, en circunstancias adversas.

Estos ejemplos relativos al proceder de los médicos (tenues esbozos de la *complejidad* que entraña toda situación concreta) revelan, por contraste, la *simplicidad* y la pobreza explicativa de la *causalidad mecanicista*, de la teoría de las probabilidades y del binomio *causalidad-azar*; empero, permanecen como el único orden causal que considera el saber científico en medicina, inmerso en el *empirismo reduccionista* que propicia certidumbres engañosas y visiones cada vez más fragmentarias del organismo; de ahí el desinterés por captar la complejidad y por incursionar en el universo de las ideas explicativas y comprensivas<sup>‡</sup>, todo lo cual implica «renunciar» al esclarecimiento de la condición humana, referente obligado de toda pretensión de penetrar las enfermedades crónicas que, salvo excepciones, no son desviaciones de «lo normal», sino acompañantes indefectibles de tal condición<sup>23</sup>.

‡ Resulta paradójico que, por un lado, las ciencias médicas afirmen que su mayor aspiración es el entendimiento cabal del organismo y, por el otro, se afanen en «desmenuzar» *ad infinitum* lo que existe integrado, profundicen en el *micro* y el *nano* cosmos generando miríadas de hechos científicos comprobados, donde depositan «la verdad sobre la vida humana», soslayando la *complejidad* que es condición de tal entendimiento y marco interpretativo necesario para dar significado biológico a sus hallazgos. Cabe precisar que la *complejidad* no es un *problema empírico* que se resuelva asociando infinidad de variables simples; es un *problema teórico* cuya concienciación puede significar, para científicos sensibilizados, un reto ineludible que los lleve a la búsqueda de ideas explicativas y comprensivas con poder esclarecedor de la condición humana, que es el objeto de conocimiento prioritario que se ha extraviado en el reduccionismo.

## Epílogo

Lo precedente nos permite dar respuesta a la interrogante que encabeza el ensayo: es inconveniente que el binomio *causalidad-azar* sea el *principio explicativo* exclusivo al validar y dar significado a los «hechos científicos» sobre las causas de las enfermedades, porque ha relegado o vedado la búsqueda de la complejidad integradora, vía de acceso para desentrañar *quiénes somos*.

Contrapuesta a la *causalidad mecanicista*, que equi-para la *simplicidad* de las máquinas con la *complejidad* de los organismos y detenta el monopolio explicativo de los hechos científicos, se propuso la teoría de la *causalidad contextual*, que reconoce la gran diversidad de *órdenes y subórdenes causales* (perspectiva transdisciplinaria), en perpetua interacción, que configuran los contextos de existencia propios de cada persona en «salud y enfermedad», que se expresan como procesos entrelazados con influencias difusas, heterogéneas, jerarquizadas, multidireccionales y cambiantes que configuran cada individualidad.

Antes de seguir, una precisión: la *causalidad mecanicista* y su binomio *causalidad-azar*, como marco analítico e interpretativo que valida el tipo de relación existente entre conjuntos de sucesos, donde la individualidad está diluida o es irrelevante, opera *a posteriori*. En cambio, la *causalidad contextual*, como mirada escrutadora y penetrante de individualidades, opera *a priori*, y al juzgar el significado biológico<sup>24</sup> de las asociaciones validadas con el binomio *causalidad-azar* opera *a posteriori*.

El concepto de *causalidad contextual* nos permite apreciar que la ocurrencia de sucesos de origen oscuro, que desde el *mecanicismo* son «efectos del azar», puede entenderse como manifestación de las *interacciones incesantes y cambiantes de órdenes causales cualitativamente distintos*. Al respecto, cada persona es un enclave singular de interrelaciones, donde se condensan e interactúan los más diversos *órdenes causales*: físico, químico, biológico, psicológico, político, económico, ecológico, histórico, moral y jurídico, configurando el *contexto* privativo de cada quien. Esta complejidad es aún mayor si consideramos que dentro de cada orden causal coexisten e interactúan subórdenes que amplifican, casi al infinito, la multiplicidad de influencias de la *causalidad contextual* que configura una inmensa variabilidad interindividual, a lo que se agregan las variaciones que surgen constantemente en el contexto de cada individuo en su devenir.

La construcción —así sea esquemática y simplificada— de una perspectiva transdisciplinaria de la *causalidad* permite captar que el azar opera como obstáculo epistemológico<sup>25</sup> al propiciar la convicción-ilusión de que ya probamos que se trata de «eventos debidos al azar», soslayando la búsqueda de auténticas explicaciones; el azar no explica, sino que encubre lo que deberíamos indagar y esclarecer. La *causalidad contextual*, con sus características, abre posibilidades explicativas de los acontecimientos vitales de cada individualidad (las enfermedades crónicas, por ejemplo), en especial los inusuales que suelen atribuirse al azar. Esta mirada integradora podría enriquecer y fortalecer el método clínico, hoy degradado y en riesgo de extinción, al ampliar considerablemente su perspectiva de aproximación al doliente que lo lleve a diversificar sus ámbitos de indagación con fines de esclarecimiento, aproximando al clínico a captar la integridad compleja que tiene ante sí, a fin de incitar pertinentemente el cambio de ciertos hábitos deletéreos, jerarquizar e individualizar sus prescripciones, con mayor beneficio potencial.

Estos planteamientos están lejos de la añeja pretensión de un mundo determinista donde se encuentren las causas de todos los sucesos relevantes y sean predecibles; todo lo contrario, penetrar la inefable complejidad de la vida abre posibilidades de aproximación novedosas a todo aquel comprometido con su esclarecimiento. El carácter irreversible e impredecible de la vida, en todas sus formas y manifestaciones, no es óbice para una inteligibilidad profunda que dé bases más sólidas a una práctica médica empeñada en su superación y, por ende, en mayores beneficios a los pacientes, y dotarse de un marco interpretativo donde encuentren otros significados los hallazgos de sus investigaciones que lleven, en su caso, a replantear algunas prioridades de investigación impuestas por el orden dominante.

De regreso a la teoría de las probabilidades y su binomio *causalidad-azar*, que se estima como la quintaesencia de la explicación científica, podemos entrever que las matemáticas no son, necesariamente, el núcleo explicativo de todo campo de conocimiento. En la investigación médica, tales dogmas nos han llevado a ignorar la especificidad de efectos de lo histórico, lo social, lo económico, lo político, lo psicosocial y hasta lo biológico, obstaculizando el desarrollo de miradas transdisciplinarias<sup>8</sup> que representan aproximaciones superiores al proceso vital y brindan marcos

interpretativos apropiados para juzgar la relevancia de nuestras indagaciones que buscan penetrar tal proceso.

Ahora, respecto al propósito de este ensayo, «sembrar dudas acerca del valor incuestionable de las verdades matemáticas», el lector juzgará en qué medida, después de leer este texto, sus ideas al respecto han sufrido alguna modificación. Por nuestra parte, afirmamos que las teorías explicativas y comprensivas que desde diferentes enfoques tienen como referente a la vida no pueden ni deben ser suplantadas por las teorías matemáticas, so pena de empobrecer el pensamiento y alejarnos en nuestro propósito de profundizar en el entendimiento de la complejidad de la vida como condición de todo verdadero progreso del conocimiento en nuestro campo de reflexión e indagación.

Para concluir, unos aforismos alusivos al conocimiento:

«*No existen hechos, solo interpretaciones.*»

F. Nietzsche

«*Solo podemos conocer de los objetos lo que hemos depositado en ellos.*»

I. Kant

«*En el saber sobre la vida, no existen comprobaciones, solo aproximaciones.*»

El autor

## Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** El autor declara que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

§ Perspectivas teóricas de aproximación a la condición humana, que integran y jerarquizan aspectos teóricos de diversas disciplinas que disuelven su identidad, difuminan sus límites y dan lugar a nuevas síntesis que buscan penetrar y esclarecer el objeto de conocimiento (la *causalidad contextual* es una síntesis transdisciplinaria). No confundirlas con la *multidisciplina*, que es resultado de la conjunción de disciplinas donde cada una se suma para incrementar la comprensión del asunto en cuestión, ni con la *interdisciplina*, que consiste en puntos de contacto entre varias disciplinas que conservan su identidad, donde cada una aporta problemáticas o métodos para la resolución del problema identificado.

**Confidencialidad de los datos.** El autor declara que ha seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** El autor declara que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

## Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

## Financiamiento

No se recibió financiamiento externo.

## Bibliografía

1. Canguilhem G. Lo normal y lo patológico. México: Siglo XXI; 1978. p. 26-34.
2. Boursin JL. Las estructuras del azar. Barcelona: Martínez Roca; 1968. p. 5-19.
3. Boursin JL. Las estructuras del azar. Barcelona: Martínez Roca; 1968. p. 21-67.
4. Galen RS, Gambino SR. Beyond normality: the predictive value and efficiency of medical diagnoses. New York: John Wiley; 1975. p. 2-4.
5. Feinstein AR. Clinical biostatistics. St. Louis: Mosby; 1977. p. 229.
6. Sackett DL. The usefulness of laboratory test in health-screening programs. Clin Chem. 1973;19:366-72.
7. Lisker R, De Lascrain R, Viniestra L, Ponce de León S. Utilidad de los exámenes de laboratorio y gabinete realizados en forma rutinaria. Rev Invest Clin. 1980;32:281-6.
8. Mirkin G. Labile serum cholesterol values. N Engl J Med. 1968;279:1001-4.
9. Morley AA. A neutrophil cycle in healthy individuals. Lancet. 1966;2:1220-2.
10. Rubin RT, Plag JA, Arthur RJ, Clark BR, Rahe RH. Serum uric acid levels: diurnal and hebdomadal variability in normoactive subjects. JAMA. 1969;208:1184-8.
11. Eivenback LR, Guillier CL, Keating Jr FR. Health, normality, and the ghost of Gauss. JAMA. 1970;211:69-75.
12. Murphy EA. The normal, and the peril of the sylleptic argument. Perspect Biol Med. 1972;15:566-82.
13. Briggs J, Peat FD. Espejo y reflejo: del caos al orden. Barcelona: Gedisa-Conacyt; 1991. p. 19-52.
14. Maturana H. La realidad: ¿objetiva o construida? 1. Fundamentos biológicos de la realidad. Barcelona: Anthropos; 1995. p. 9-27.
15. Canguilhem G. Lo normal y lo patológico. México: Siglo XXI; 1978. p. 75.
16. Canguilhem G. El conocimiento de la vida. Barcelona: Anagrama; 1976. p. 151-81.
17. Woodcock A, Davis M. Teoría de las catástrofes. Madrid: Cátedra; 1989. p. 13-96.
18. Thom R. Estabilidad estructural y morfogénesis. Barcelona: Gedisa; 1987. p. 61-75.
19. Briggs J, Peat FD. Espejo y reflejo: del caos al orden. Barcelona: Gedisa-Conacyt; 1991. p. 89-112.
20. Capra F. La trama de la vida. Barcelona: Anagrama; 1998. p. 154-61.
21. Viniestra VL. El efecto placebo. Su dimensión teórica y sus implicaciones prácticas. Ciencia. 1987;38:131-46.
22. Viniestra VL. La nosología del error médico. Rev Invest Clin. 1998;50:505-16.
23. Viniestra VL. La historia cultural de la enfermedad. Rev Invest Clin. 2008;60:527-44.
24. Viniestra VL. Acerca de la significación biológica, en ciencia y filosofía: tres ensayos. México: Alhambra Mexicana; 1984. p. 55-116.
25. Bachelard G. La formación del espíritu científico. Barcelona: Siglo XXI; 1974. p. 15-26.