

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i4.2491>

Sobre la existencia de las ciencias exactas y por qué reflexionar sobre su enseñanza

On the existence of the exact sciences and why reflect on their teaching

Gerardo Morales Jasso

gerardosansa@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2328-1143>

División de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.
México

Harold Méndez Almaguer

harold.mendez@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-0012-6029>

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
México

Graciela Luna Luna

luna_luna_g@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3847-0554>

Benemérita Universidad Autónoma de México
México

Itzel Alejandra Márquez Suárez

im.191294@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-7936-8047>

Universidad Nacional Autónoma de San Luis Potosí
México

Artículo recibido: 27 de julio de 2024. Aceptado para publicación: 12 de agosto de 2024.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

La clasificación sobre ciencias exactas se ha popularizado en los discursos educativos y científicos. El presente artículo cuestiona la idea de la existencia de unas "ciencias exactas" y su popularización en la educación en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés). Tales cuestionamientos se realizan a través de una aproximación multidisciplinaria que incluye a la semántica, la antropología, la filosofía, la metrológica y la matemática, específicamente, el cálculo y la estadística. Por lo tanto, el texto explora las limitaciones y contradicciones inherentes a la ciencia, su enseñanza, así como los sentidos de exactitud débil y fuerte, que son contradictorios. En el artículo se explora la noción de "exactitud" argumentando que incluso en campos considerados exactos, se utiliza un sentido débil de exactitud, en vez de uno fuerte. Por lo que, mediante *modus tollendo tollens*, el artículo promueve una comprensión más realista de la ciencia que fomente la interdisciplinariedad y permita que la enseñanza de las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas se haga críticamente, distanciándose del sintagma ciencias exactas. Concluyendo que no hay ciencias exactas, lo que hay son problemas con soluciones exactas y problemas con soluciones precisas.

Palabras clave: ciencias exactas, filosofía de la ciencia, lingüística, clasificación de las ciencias

Abstract

The classification of exact sciences has become popular in educational and scientific discourse. This article questions the idea of the existence of "exact sciences" and their popularization in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education. Such questioning is done through a multidisciplinary approach that includes semantics, anthropology, philosophy, metrology, and mathematics, specifically calculus and statistics. Thus, the text explores the limitations and contradictions inherent in science and its teaching, as well as the conflicting senses of weak and strong accuracy. The article explores the notion of "accuracy" by arguing that even in fields considered accurate, a weak sense of accuracy is used rather than a strong one. Thus, through *modus tollendo tollens*, the article promotes a more realistic understanding of science that encourages interdisciplinarity and allows the teaching of science, technology, engineering, and mathematics to be done critically, distancing itself from the syntagma exact sciences. It concludes that there are no exact sciences; what there are are problems with exact solutions and problems with precise solutions.

Keywords: exact sciences, philosophy of science, linguistics, classification of sciences

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons . 

Cómo citar: Morales Jasso, G., Méndez Almaguer, H., Luna Luna, G., & Márquez Suárez, I. A. (2024). Sobre la existencia de las ciencias exactas y por qué reflexionar sobre su enseñanza. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5 (4), 3197 – 3212.
<https://doi.org/10.56712/latam.v5i4.2491>

INTRODUCCIÓN

Las materias de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM por sus siglas en inglés) han sido priorizadas en las últimas décadas por la política educativa con el fin de enfrentar los retos del presente siglo (Yepes y Lee, 2022). Principal, pero no únicamente, en las materias y carreras STEM; la concepción de las “ciencias exactas” es una etiqueta que ha sido reproducida mediante el proceso de enseñanza de la ciencia. Problema que abordaremos a continuación.

Existen diversos centros, facultades y programas llamados de ciencias exactas en diversas universidades muestran que el sintagma “ciencias exactas” está suficientemente extendido. Además, hay bibliografía dedicada a ellas o que las menciona (Trabulse, 1994; Echeverría, 2003; Lara et al., 2009; Giannuzzo, 2010; Medel et al., 2017; Gisele et al., 2017; Schuck et al., 2017), incluso se han nombrado a áreas del conocimiento como de “ciencias exactas” en distintos países, cada uno con criterios propios para su caracterización. Para el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina “las ciencias exactas serían por definición una única ciencia, es decir, no reconocerían particularidad alguna en función de las circunstancias de enunciación de su discurso. Serían propiamente universales” (Gallardo, 2019: 186). Sin embargo, el área de ciencias exactas no está lo suficientemente conceptualizado como para que abarque las mismas disciplinas para todos los que lo significan. Lo que va de lo cuantitativo hasta lo que permite predecir matemáticamente, pasando por lo experimental; según la reputación de las disciplinas que abarcan su conjunto (Smart, 1959; Nemchinov, 1962; Kennedy, 1968; Murray, 1973; Reichenbach y Cohen, 1978; Csizmadia, 1991; Dompere, 2013; Barret et al. 2016).

Aunque, en este artículo partimos de la hipótesis de que la idea de que existen “ciencias exactas” surge de una concepción que implica una idealización y mitificación de la labor del científico; de modo que, la idea de que hay ciencias exactas choca con otras imágenes de la ciencia más adecuadas, como que debe ser falsable y no dogmática.

Ahora bien, este artículo no constituye una crítica posmoderna a las ciencias o a los científicos. Al contrario, mantiene la distinción platónica entre doxa y episteme y concuerda en que, en la biología y las ciencias sociales, “las leyes concernientes a las relaciones numéricas nunca permiten la predicción de resultados con precisión comparable a la Ley de Ohm” (Richards, 1987: 20). Más bien, este artículo, se basa en la idea de que “la única forma de evaluar el conocimiento es examinándolo” (Snow, 2017: 34).

En vez de enfocarse en cómo se enseñan las ciencias exactas o en cómo mejorar su enseñanza (Dorce, 2019), este artículo tiene como objetivo profundizar en los principios que hay detrás de la existencia de las “ciencias exactas” y su enseñanza, así como por qué hay que matizarlos. Especialmente, porque la rigurosidad con la que la ciencia se enseña debe ser tanta como la que el científico usa para investigar sus objetos de estudio (Richards, 1987).

METODOLOGÍA

Para probar la idea anterior, el texto apela a una metodología cualitativa falsacionista en la que hay una aproximación a los significados de diccionario sobre la exactitud (abordar el concepto ciencia excedería los alcances de este artículo), un abordaje semántico-morfológico sobre el concepto “exacto” en contextos matemáticos, así como una perspectiva antropológica y filosófica. Además, se hace un acercamiento a las bases teórico-filosóficas de la estadística, la metrología, el cálculo. A partir de esto se busca comprobar, lógicamente, por *modus tollendo tollens*, es decir, mediante proceso de falsación, si las ciencias exactas existen (Ortiz, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Semántica de exacto

“Exacto” proviene de *exactus*: que es ‘pesado con exactitud’, que a su vez tiene relación con *exigere* en la acepción de ‘pesar’. El Diccionario de la Real Academia Española (RAE, 2014) cuenta con 11 acepciones para la palabra “exacto”. Entre ellas, que es “igual o que se asemeja en un grado muy alto a algo o alguien tomado como modelo”; así como lo rigurosamente cierto o correcto, lo literal, una actuación con precisión y rigor, lo que no tiene exceso. Además, indica, específicamente, sobre una operación matemática, que “tiene como resultado un número sin parte decimal”, y sobre un instrumento de medida “que se ajusta lo más posible al valor real de una magnitud”.

Se detectan dos campos semánticos a) lo literal, lo perfecto, lo igual y sin fracción y b) lo que se asemeja a la agrupación de acepciones anterior. El problema es que lo que es exacto para el primer sentido, no lo es para el segundo, pero lo que es exacto para el segundo también aplica a lo primero.

a y b es exacto desde b

b no es exacto desde a

El sentido a no admite grados y lo llamaremos la concepción exacta del término exactitud o su concepción fuerte; mientras que el sentido b es su concepción vaga o débil, la cual permite hablar de aproximaciones más exactas que otras, es decir, de grados de exactitud. Allí radica el uso de la palabra “exacto”, en su inexactitud y en su potencial uso como obstáculo epistemológico (Bourdieu, 2002, Bachelard, 2003).

En la literatura se pueden encontrar ambos sentidos, incluso a través del mismo autor. El matemático Godfrey Harold Hardy (2005) expresó en 1967 que “there are 50,847,478 primes less than 1,000,000,000; but that is as far as our exact knowledge extends” (Hardy, 2005: 28) y “I do not know what is the highest degree of accuracy ever useful to an engineer—we shall be very generous if we say ten significant figures.” (23). En su versión en español (Hardy 2017) “exact knowledge” se traduce por “conocimiento exacto” y “degree of accuracy” (2005: 118) por “conocimiento exacto” (2017: 108). También, indica que los ingenieros trabajan “únicamente con aproximaciones, y todas las aproximaciones son racionales” (109). Esto muestra que es posible que se traduzca *accuracy* y *exact* del mismo modo, aunque *accuracy* también pueda ser traducido como precisión. Por tal razón, apelaremos a la versión en inglés cuando dice:

Applied mathematicians, mathematical physicists, naturally take a different view, since they are preoccupied with the physical world itself, which also has its structure or pattern. We cannot describe this pattern exactly, as we can that of a pure geometry, but we can say something significant about it. We can describe, sometimes fairly accurately, sometimes very roughly, the relations which hold between some of its constituents, and compare them with the exact relations holding between constituents of some system of pure geometry (2005: 36, 37).

Allí, Hardy diferencia entre descripciones toscas y “con bastante precisión” que pueden ser comparadas con “relaciones exactas” de la geometría pura (2017: 130). Con lo que acepta que las matemáticas pueden tener resultados aproximados.

El problema tiene otras dimensiones de análisis, entre ellas, las siguientes.

Una lectura antropológica y filosófica

Sean las ciencias, formales, naturales o sociales, “hay controversias en todas las ciencias” (Bunge 1998). ¿Por qué? La ciencia es parte de la cultura, y los científicos son una particular subcultura de las sociedades, por lo que no carecen de “sus propias normas, valores, folklore y mitología” (Fortes y Lomnitz, 2005: 74). “Un mito es, después de todo, una racionalización comúnmente creída (y aun automáticamente expresada) para el comportamiento en un grupo” (Bernard y Killworth en Fortes y Lomnitz, 2005: 74). Entre los mitos que aún se reproducen dentro de la comunidad científica está el de que el lenguaje del universo es la matemática, es decir, que la matemática es descubierta, no inventada. A esta idea subyace una metafísica teísta a la que se le opone que en la historia de las matemáticas no sólo hay matemáticas descubiertas, también las hay inventadas. La supervivencia de ese particular mito dentro y fuera de la comunidad científica contemporánea muestra que los científicos no están exentos de la propensión a usar expresiones de naturaleza retórica y reproducir ideología (Knorr-Cetina, 1996).

De hecho, muchos científicos “se aferran a una concepción idealizada de su profesión y propagan una opinión de la “verdad científica” que implica absoluta certeza, objetividad y desprendimiento” (Richards, 1987: 172), lo que muestra un desconocimiento en la filosofía de la ciencia que ha sido desarrollado recientemente, principalmente, por científicos. Pues, “el científico no busca, ni pregunta por, cualquier verdad absoluta, ya que éste es un concepto que se encuentra más allá de los confines de la ciencia” (164). Especialmente, tras la diferenciación de la ciencia realizada por Thomas Kuhn (2013) en etapas y su hallazgo de que cuando se enseñan, los profesores actúan como si la etapa fuera de ciencia normal (Núñez, 1999).

Por su parte, Feyerabend (2007: 253) ahondó en que “no existe una sola ciencia [...] que sea útil y progresiva, y que al mismo tiempo esté de acuerdo con las exigencias lógicas”. Toda ciencia contiene teorías que, analizadas en detalle, incluyen contradicciones lógicas, pues “la ciencia está siempre llena de lagunas y contradicciones” (254). Por su parte, Lakatos (1970: 99, 100), destaca algo de la lógica que pocos aún hoy entienden, que las “proposiciones factuales no pueden ser probadas de experimentos”, sólo de otras proposiciones, por lo que los experimentos no simplemente derrocan teorías, con lo que remarca que en la ciencia pueden encontrarse inconsistencias: “todas las proposiciones de la ciencia son teóricas e, inevitablemente, falibles” y si las ciencias son falibles, ¿pueden ser exactas?

Una lectura desde la estadística y la metrología

La estadística, con base en parámetros (como μ y σ), estiman estadísticos (como \bar{x} y s), los cuales se pretende sean insesgados de un parámetro. Esto supone conocer el tipo de distribución de la población, pero también supone confiabilidad y precisión. Donde la confiabilidad es “una afirmación del error o precisión de una estimación” (Spiegel, et al., 2013: 153, 154, 195, 214), y la precisión está dada por la dispersión de los resultados que es aceptable. Es convencional elegir un nivel de significancia de 95% ($\alpha=0.05$), es decir, un nivel de confianza de 95% de que se toma la decisión correcta (Spiegel, et al., 2013: 214).

“A partir del error estándar se construye el intervalo de confianza de la medida correspondiente”. El error estándar de la media “cuantifica las oscilaciones de la media muestral alrededor de la media poblacional”. Así que, aunque depende de ella no es un índice de variabilidad, “sino una medida del error que se comete al tomar la media calculada en una muestra como estimación de la media de la población”. Aunque no sólo existe el error estándar de la muestra, “sino de todas las medidas que se obtienen en las muestras” (Abraira, 2002: 622).

Anteriormente se creía que invariablemente el agua se congelaba y ebullición con exactitud a 0 y 100° C respectivamente, posteriormente, se comprobó que cambios en la presión generan cambios en los puntos de congelación y ebullición de esta. De modo que podemos dejar por fuera factores que inducen a errores mínimos. (Richards, 1987: 20). El error experimental puede ser inherente a la muestra, a los instrumentos de medición o directamente relacionarse a discordancias realizadas por el investigador o investigadores, pero “en general, todo investigador reconoce la existencia del error experimental” e incluso hay técnicas generales para disminuir su incidencia (Guzmán, 1975: 121-123, 128).

Los experimentos suponen que en condiciones “esencialmente idénticas, se llegará a resultados básicamente iguales” (Spiegel et al., 2013: 3) y evalúan la probabilidad de que lo que hallemos pueda o no deberse al azar (Rivas, 1998: 292), por lo que buscan ser “suficientemente exactos o sin sesgos para satisfacer los requisitos de un problema particular” y “deben ser suficientemente precisos para ser adecuados en el diseño” de productos, procesos o experimentos (Chapra y Canale, 2007: 57).

Además de la estadística existe la metrología, que “es la ciencia de la medida cuyos objetivos más importantes son el resultado de la medición y la incertidumbre de medida. Estos aspectos están ampliamente tratados, homogeneizados y consensuados en este campo” (Ruiz, et al., 2010: 1). El International Vocabulary of Metrology (2007: 21-25) define, entre otros, measurement trueness, measurement precision, measurement error, systematic measurement error, measurement bias, donde exactitud de medida es “la cercanía entre la cantidad de un valor medido y la verdadera cantidad del mesurando” (aquello que se quiere medir), que se distingue de veracidad de medida. “Se dice que una medida es más exacta cuando ofrece un menor error de medida”. Por su parte, la precisión de medida como “la cercanía entre las indicaciones o los valores de la cantidad medida obtenida de medidas replicadas en el mismo u objetos similares bajo condiciones específicas.” La precisión de medida se expresa numéricamente “mediante medidas de imprecisión, como la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de variación” Lo anterior coincide con lo que indica Mook (2002: 159). Esto supone una distinción entre precisión y exactitud, pues “la exactitud puede determinarse con una sola medida, mientras que para evaluar la precisión se necesitan varias medidas (repetibilidad), no pudiéndose hablar de precisión para una sola medida” (Ruiz et al., 2010: 5). De manera que la confianza y la precisión son conceptos relacionados estrechamente que acotan la validez de la estimación. “El primero hace referencia a la probabilidad de acertar, y el segundo refleja los errores de muestreo, es decir, la distribución del estimador” (Rodríguez et al., 1991: 141). Por lo tanto, confianza y exactitud aparecen como intercambiables en metrología, pero la exactitud a la que se apela en metrología es la gradual, no la puntual.

El uso de las palabras con un sentido distinto al coloquial no es extraño en ciencias, por ejemplo, en ciencias de la salud mortalidad no significa lo que significa en el habla coloquial y para las ciencias ambientales, ambiente tiende a ser algo distinto a medio. Sin embargo, qué pasa con las medidas precisas y exactas en el sentido de la metrología si, cambiamos la definición del kilogramo (Tovar, 2016), como de hecho, sucedió en 2018, al cambiar el patrón. Desde la nueva definición, las vieja medidas “exactas” se basaron en constante de la naturaleza y no en objetos físicos. Esto ya había sucedido antes para otras medidas, por ejemplo, para el metro (Grelling 1928).

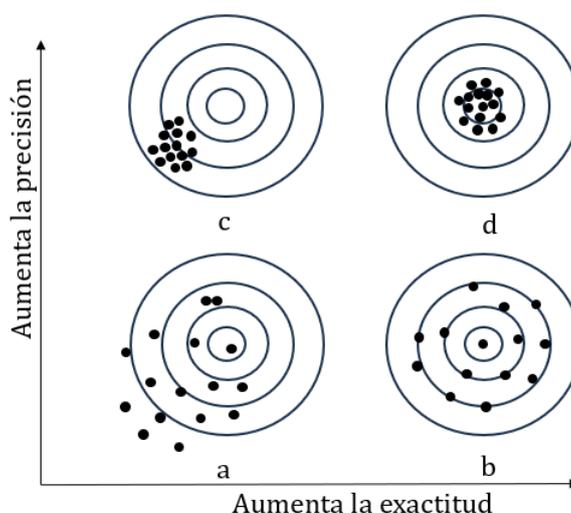
Sin embargo, se ha extendido una concepción de precisión y exactitud, desde la cual, “la exactitud se refiere a qué tan cercano está el valor calculado o medido del valor verdadero”, la precisión “a qué tan cercanos se encuentran, unos de otros, diversos valores calculados o medidos”, la inexactitud (también conocida como sesgo) “se define como una desviación sistemática del valor verdadero” y la imprecisión (también nombrada incertidumbre) “se refiere a la magnitud en la dispersión de los disparos” (Chapra y Canale, 2007: 56). Así, la precisión se refiere a la dispersión de los resultados.

La comprensión de estos sentidos se ha facilitado mediante el ejemplo de las flechas y la diana (Figura 1), donde los agujeros en cada blanco

se consideran como las predicciones con una técnica numérica; mientras que el centro del blanco representa la verdad [...] Por lo tanto, aunque los disparos en la figura c están más juntos que los de la figura a, los dos casos son igualmente inexactos, ya que ambos se centran en la esquina superior izquierda del blanco. [...] Por consiguiente, aunque las figuras b y d son igualmente exactas (esto es, igualmente centradas respecto al blanco), la última es más precisa, pues los disparos están agrupados en forma más compacta (Chapra y Canale, 2007: 56).

Figura 1

Ejemplo de puntería con base en Chapra y Canale (2007: 56)



Fuente: elaboración propia.

Es necesario profundizar en la historia de esta concepción ampliamente difundida entre ingenieros y científicos experimentales, en la que la precisión es compatible con lo mostrado anteriormente, pero la exactitud presenta diferencias que la alejan de la concepción fuerte.

Por otro lado, para López (1998: 52) el grado de exactitud es equivalente al nivel de confianza, que representa la probabilidad de que el valor del universo (parámetro) se encuentre dentro del margen de error. En términos del ejemplo del arquero, es la probabilidad de que este repita los disparos dentro de una determinada distancia del centro. 95 por ciento de confianza y 5 por ciento de margen de error significa que existe una probabilidad de 95 por ciento de que el valor del universo (parámetro) se encuentre dentro de un margen de 5 por ciento con respecto al valor muestral (estimador).

Retomando el ejemplo de los tiros, por un lado, un tiro exacto sería un tiro en el blanco, sin lugar para grados; mientras que, si la exactitud se da en grados se puede hablar, más bien de nivel de confianza, pues de las inferencias estadísticas de las ciencias experimentales no es posible extraer conclusiones exactas en el sentido de perfectas, ya que en todo lo que incluye α y p , no es posible obtener esa exactitud, sólo se puede obtener precisión y confiabilidad. Las ciencias exactas

La estadística es parte de la matemática, pero, aunque puede ser precisa y confiable, no puede ser exacta en el sentido fuerte. Ahora bien, si en la metrología, no puede haber exactitud en el sentido de perfección, y sólo existe el sentido gradual, de modo que siempre habrá espacio para la incertidumbre en las mediciones, y si la probabilidad y la estadística tienen aplicaciones en las ciencias fácticas, pero son ramas de las matemáticas con estatus propio, separado de las ciencias fácticas en las que se usan (Feibleman, 1961), ¿qué pasa con ciencias no experimentales y otras ramas de la matemática? Respondámoslo, principalmente, a través del cálculo.

Una lectura desde los límites: la idea matemática de aproximar hasta infinito

La idea que subraya el corazón del cálculo infinitesimal es la aproximación (Russell, 1983), en la derivada de una función, una aproximación que tiende a un punto, mediante un parámetro. En el caso de la integral, una suma que tienda al área que se encuentra debajo de una curva. Tanto la derivada como la integral han logrado su cometido bajo cierta lupa matemática, incluso siendo clave para generar nuevos conceptos, como lo sería una ecuación diferencial o una reinterpretación del concepto, tal como en el caso de la derivada en un espacio topológico.

Estas aproximaciones resultan ser precisas. Sin embargo, una función debe ser considerada como “suave”, esto es, continua en determinado intervalo. Por otro lado, en el caso de la integral de una función, la idea es una aproximación mediante áreas, la cual, de manera análoga, debe cumplir con una serie de condiciones.

El término exactitud tiene distintas funciones, una de ellas es apelar a la imposibilidad del error y a la utilidad epistémica que tiene determinada herramienta, visto el exacto como: “de donde se obtiene lo verdadero” (Russell, 1983), el principal problema con esta idea y con su ejercicio matemático, es que no funciona precisamente así, sino que funciona de una manera esencial (definido en cálculo de una variable) la idea de derivada e integral, ahora bien, la pregunta aquí es: ¿toda función es integrable o derivable?, ¿la misma definición funciona para todas las ramas de las matemáticas?

Ambas preguntas resaltan dos aspectos a discutir, el primero es acerca de las herramientas matemáticas definidas como las herramientas epistémicas verdaderas. En este ámbito, es innegable que la derivada y la integral funcionan como dos herramientas cruciales y con un poder que ha cambiado completamente como hemos visto las matemáticas y las ciencias en los siglos después de su uso. Sin embargo, resulta infértil llamarlas “exactas” implicando su universalidad en un aspecto, la definición de la derivada de una función resulta incompleta por ejemplo en el análisis complejo, ya que en este caso las funciones continuas no se encuentran únicamente definidas en un conjunto de números reales, sino que tenemos una función compleja, definida en los reales y en el conjunto de números imaginarios. En este aspecto, debemos cambiar por completo la definición de derivada, de otra manera no tendría ningún sentido.

Es aquí donde yace el verdadero poder de las matemáticas, pues como lo son las ciencias en general, la posibilidad de renovar sus conceptos y expandirlos le da la capacidad de abarcar nuevas áreas y desarrollarse (Lane, 1981). Ahora bien, las matemáticas distan de otras ciencias por su terreno de discusión, es decir, la matemática es una ciencia formal, abstracta; en eso se diferencia de las ciencias empíricas. Aun así, existe una conexión entre las ciencias de corte empírico y abstracción matemática, esta misma es importante para la discusión, ya que existe un puente que separa estas ciencias. Sin embargo, ambas se han aportado bastante de manera mutua, pero esta división es fundamental para entender la naturaleza de las matemáticas y discutirla (Quesque y Rosetti, 2020). En este aspecto, en términos de “exactitud”, también se encuentra una diferencia notoria entre lo que es lo que refiere a la exactitud abstracta y empírica (Mason, 2008): El electromagnetismo se apoyó fuertemente de los resultados expuestos en el cálculo vectorial/multivariado. Tomemos entonces la primera ley de

Maxwell, la cual es la ley de Gauss, que enuncia lo siguiente: Sea S una superficie cuya carga eléctrica es continua, y Q una carga contenida en la superficie, la ley de Gauss establece que:

Esta elegante ecuación es producto de un esfuerzo colectivo de muchos años, entre diversos científicos que aportaron su grano de arena para esta estética conclusión, la cual nos menciona la relación que existe entre el flujo de la carga eléctrica sobre una superficie y las cargas contenidas en

$$\oint_S E \cdot dS = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

la misma, la cual además de estar ligada directamente con el teorema de divergencia, se encuentra también como uno de los pilares del entendimiento del concepto de campo eléctrico, crucial para el estudio del electromagnetismo.

Partamos por la descripción del puente empírico-abstracto (Marek y Truszczyński, 1991). Para que la definición de la integral de una función tenga sentido, esta debe ser continua en un intervalo, ahora bien, en el caso de la definición de una integral cerrada en una superficie, sabemos que la continuidad y la función tienen una definición distinta al caso de tener una integral de una función de una variable, sin embargo, se encuentran de alguna forma íntimamente ligados. Pero ¿existe una notoria diferencia entre una definición abstracta y nuestra experiencia al tratar con el concepto aplicado?, ¿no? Esto no es algo nuevo, sin embargo, la demostración no solo subyace en un problema lingüístico, sino un problema matemático claro. Como se muestra a continuación.

Antes de preguntarnos la posibilidad de demostrar algún teorema, solemos voltear la mirada hacia preguntar acerca de la naturaleza del concepto matemático, incluso en cuanto a su posibilidad de representación, la cual no está completamente alejada del problema de la demostración. En matemáticas se lidia con objetos abstractos, por tanto, la representación de estos es un problema fundamental para hablar de su naturaleza. De manera implícita, los defensores de la naturaleza exacta de las matemáticas implican que existe una representación universal de dichos conceptos. Podríamos decir que, matemáticamente hablando, sea Ω un objeto abstracto y I una interpretación de este, definimos I como una función que lleva elementos del lenguaje en su dominio hacia los puntos de interpretación en el co-dominio, tal que:

Dónde S , es el conjunto lingüístico y S_i el co-dominio, conjunto que contiene las interpretaciones del objeto. La función lingüística es sencilla, el único objetivo que tiene es interpretar un objeto abstracto y llegar a coincidencias con otras interpretaciones. Por ejemplo, si tenemos como objeto abstracto a

$$I(\Omega): S \rightarrow S_i$$

analizar el triángulo isósceles, trazamos una función que lleve nuestros elementos de interpretación hacia un conjunto de coincidencias con las demás, el conjunto de coincidencias S_i tendría como elementos, características que resultan ser universales del triángulo, por ejemplo, que tiene tres lados, la suma de sus ángulos internos es de 180 grados, etc.

El conjunto de coincidencias tiene que ser compartido con las demás interpretaciones, de modo que no quede ninguna duda de su naturaleza, filtrando así, cualquier característica que no sea fundamental del triángulo para su definición, como el color, tamaño, etc. Si realizamos una iteración de interpretaciones, independientemente del número deberíamos obtener un conjunto S_i que contenga de manera precisa todas las características posibles del objeto que acabamos de describir, por tanto:

$$\bigcup_{i=1}^{\infty} I_i(\Omega) \rightarrow \Omega$$

Dónde mediante la iteración llegamos a lo que es en cuanto a características, el objeto abstracto, por otra parte, tenemos el caso contrario, en donde no es finito el conjunto de interpretaciones, representado de la siguiente manera:

$$\bigcup_{i=1}^n I_i(\Omega) = \Omega$$

En ese caso, la diferencia es la imposibilidad de llegar de manera precisa al conjunto de coincidencias, de tal manera que resulta imposible mediante la definición propuesta, determinar su naturaleza exacta. Estos objetos abstractos pueden ser de otra naturaleza, no necesariamente matemática, sino más bien propiamente filosóficos, por ejemplo, el concepto de justicia, o de ética, moral, bien o mal, etc., no son conceptos a los cuales de una manera sencilla podamos delimitar su conjunto de coincidencias, llamaremos a estos objetos, "inexactos" (Lane, 1981). Por lo tanto, si las matemáticas son de naturaleza exacta, entonces la demostración a lograr que todos los conceptos pueden ser expresados de la primera forma, lo cual es imposible.

DISCUSIÓN

En geometría, π es un número irracional, por lo tanto, infinito, su valor no puede expresarse con un número finito de dígitos y aunque representa una cantidad específica, su valor exacto es desconocido, por lo que su uso supone la omisión de cifras, es decir, "error de redondeo" (Chapra y Canale, 2007: 55). Lo mismo pasa en un triángulo rectángulo, donde aún si los valores de los catetos son exactos, al ser la hipotenusa inconmensurable con estos, su valor sería también el de un número infinito. Esto no significa que en geometría sea imposible obtener resultados exactos, pues el perímetro de un cuadrado cuya base mide 2 es 8, y su área es 4. No obstante, "hay muchos modelos matemáticos que no pueden resolverse con exactitud" (Chapra y Canale, 2007: 15), además de problemas como el de los tres cuerpos, u otros problemas de sistemas caóticos, como el propuesto por Edward N. Lorenz.

Entonces, las que se han llamado ciencias exactas no generan siempre soluciones exactas en el sentido fuerte, lo que hay son problemas que se solucionan con exactitud y problemas que se resuelven con precisión.

En ciencia "cada teoría e hipótesis es examinada exhaustivamente por los científicos a los fines de establecer, en primera instancia, si se trata de una forma de conocimiento que pertenece efectivamente al campo de la ciencia y, en segundo lugar, si es válida o no" (Carbonelli et al., 2011: 30). Sin embargo, esta exhaustividad no es garantía de exactitud, lo cual no demerita en nada el trabajo científico.

En estadística y en ciencias experimentales, la existencia del error nos aleja de la exactitud. Mientras que, en todas las ciencias, cuando los problemas no pueden resolverse con exactitud aun así se pueden generar aproximaciones de distinto tipo, y recordemos que “todas las aproximaciones son racionales” (Hardy, 2005: 23), como lo son soluciones precisas, y las soluciones precisas y confiables.

Balanzario (2020) es autor de un artículo cuyo objetivo es responder “¿vale la pena estudiar esta ciencia exacta?” (18), refiriéndose a las matemáticas. En éste se opone a las afirmaciones de carácter metafísico y a que “se nos escapen de vez en cuando afirmaciones que no se pueden verificar empíricamente, sino que suponen un ir más allá de las ciencias positivas”, algo que, desafortunadamente, comete por no ser tan riguroso en lo conceptual como lo es en lo metodológico.

Como la enseñanza de la ciencia es el primer ámbito en el que la actividad científica tiene vigencia y, ésta incluye la enseñanza y aprendizaje de sistemas conceptuales, así como representaciones, notaciones, técnicas operatorias, manejo de instrumentos y problemas (Núñez, 1999); el que la ciencia se enseñe como ciencia normal no presenta sólo ventajas. Entre las desventajas está la reproducción de mitos que tienen distintos impactos entre estudiantes de niveles preuniversitarios, estudiantes que pretenden aprender profesiones STEM, estudiantes que pretenden ser científicos y de científicos. Por lo que, enseñar y aprender ciencia requieren de vigilancia epistemológica para impedir tergiversar la práctica científica (Núñez, 1999) requerimiento que, por su conocimiento, es una responsabilidad de los profesores, quienes al enseñar ciencia normal colaboran en su reproducción al tiempo que limitan el desarrollo de la ciencia.

No enseñar los límites de la ciencia es equivalente a “un ligero lavado de cerebro” el cual reduce la ciencia a algo “más insípido, más simple, más informe”, “más fácilmente accesible a un planteamiento por reglas estrictas e intercambiables”, pero no por eso más objetivo (Feyerabend, 2017: 3). Por eso, Feyerabend (2017: 4, 5) destaca que la educación científica mistificada “mutila por comprensión, al igual que el pie de una dama china, cada parte de la naturaleza humana que sobresalga y que tienda a diferenciar notablemente a una persona del patrón de los ideales de racionalidad establecidos por la ciencia, o por la filosofía de la ciencia”.

CONCLUSIONES

Los problemas con números irracionales no pueden generar soluciones exactas en el sentido concreto, solo soluciones precisas, y la tendencia a redondear números evita la posibilidad de alcanzar soluciones exactas en su sentido concreto. Para esas situaciones solo queda el sentido vago, uso que carece de sentido adjetivado a la ciencia. De manera que toda “ciencia exacta” cumple con el sentido preciso, pero no con el sentido concreto.

En las ciencias, aunque se busca que sea minúsculo, hay margen para el error. Por lo que, el modus tollendo tollens que conforma este texto podría resumirse en el siguiente:

Si las ciencias exactas existen, sería porque todos sus problemas se resuelven con exactitud.

La estadística, la metrología, el cálculo, la geometría y la física no generan soluciones exactas (en su sentido fuerte) en todos los casos.

Por lo tanto, no hay ciencias exactas.

Aunque no hay ciencias exactas (sentido fuerte), lo que hay son problemas con soluciones exactas (fuerte) y problemas con soluciones precisas. Por su parte, para el sentido débil, habría que tomar en cuenta que los cambios del patrón kilogramo y metro a definiciones exactas, darían problemas a las

medidas, con un menor grado de exactitud (débil), por lo que ni siquiera en este sentido las mismas ciencias han cumplido constantemente con el mismo grado de exactitud (débil).

Para Heisenberg, “toda palabra o concepto, por muy claro que pueda parecer, tiene sólo una gama limitada de aplicación” (en Ortiz, 2015: 101), y así sucede con el concepto exacto ligado a la ciencia, de modo que, hablar de ciencias exactas es una simplificación lejana al sentido fuerte y apenas cercana al débil. Por razones históricas, que habría que investigar, en las llamadas “ciencias exactas” se prefirió el sentido débil de exacto y no el fuerte, al tiempo que las llamadas ciencias exactas se han opuesto jerárquicamente a las ciencias sociales, lo que se ha unido a la oposición, también jerárquica, entre ciencias “duras” y “blandas” (Gallardo, 2019), que se constituye en otra mitología común.

Lo recientemente planteado no pretende dañar la confianza en la ciencia, pero sí mostrar que los supuestos sobre la ciencia y su poder predictivo universal no son realistas. El sueño de Laplace de deducirlo y conocerlo todo ya no es viable, pues a lo mucho, sólo se puede afirmar que los “conocimientos científicos son los ciertos y los muy probables” (Grajales, 2017: 40). Por lo que, la desestimación que, a veces, se practica desde las ciencias naturales hacia otras ciencias tampoco es viable.

En la educación STEM, es importante que se enseñe matemáticas, lo que proponemos es que su identificación con las llamadas ciencias exactas no genera aportes a las ciencias mismas, pero genera una brecha falsa entre ciencias experimentales, ciencias naturales y otras ciencias empíricas. Por eso, el artículo, no ataca las ciencias, sino que, critica la superioridad moral de algunos científicos y profesores de materias de ciencias poco reflexivas en su propia labor y responsabilidad para con la ciencia misma.

A su vez, el que una ciencia, previamente catalogada como exacta pierda esa característica a la luz de los razonamientos aquí expuestos no le quita valor alguno, al contrario, la desmitifica y facilita la posibilidad de la interdisciplina, tan anhelada para la resolución de los complejos problemas del presente, pues puede disminuir las inconmensurabilidades entre disciplinas. De allí la importancia de dejar de imaginar ciencias exactas y retomar las etiquetas de ciencias formales, experimentales y naturales.

REFERENCIAS

- Abrarira V. (2002). "Desviación estándar y error estándar". SEMERGEN. 28(11): 621-623. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(02\)74138-5](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(02)74138-5)
- Bachelard, G. (2003). La filosofía del no. Ensayo de una Filosofía de un nuevo espíritu científico. Buenos Aires: Amorrortu.
- Balanzario, E. P. (2020). ¿Por qué estudiar matemáticas?. Sapiens Research. 10(1): 17-23 <https://www.srg.com.co/bcsr/index.php/bcsr/article/view/370>
- Barret, R. Delsanto. . P. P., Tartaglia, A. (2016). Is Physics an Exact Science? En Physics: The Ultimate Adventure. Springer International.
- Bourdieu, P., Chamboredon J.-C. & Passeron J.-C. (2002). El oficio de sociólogo. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Bunge, M. (1998). Social Science under Debate A Philosophical Perspective. Toronto. University of Toronto Press Incorporated.
- Carbonelli, M., J. C. Esquivel & Irrazábal, G.. (2011). Introducción al Conocimiento Científico y a la metodología de la investigación. Universidad Nacional Arturo Jauretche.
- Chapra, S. C. & Canale, R. P. (2007). Métodos numéricos para ingenieros. McGraw Hill.
- Csizmadia, I. G. (1991). Chemistry as an Exact Science. Theoretical and Computational Models for Organic Chemistry, 1–3. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3584-9_1
- Dompere, K. K. (2013). Exact Science, Its Critique of Inexact Science and Rationality in Vagueness. Studies in Fuzziness and Soft Computing, 1–14. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31122-2_1
- Dorce, C. (2019). Evaluación del impacto que tiene la implementación de actividades relacionadas con la historia de las matemáticas en el proceso de enseñanza-aprendizaje del alumnado. Educación matemática. 31(3): 237-262. <https://core.ac.uk/download/pdf/287746447.pdf>
- Echeverría, J. (2003). La revolución tecnocientífica. Fondo de Cultura Económica.
- Feibleman, J. K. (1961). Pure Science, Applied Science, Technology, Engineering: An Attempt at Definitions. Technology and Culture 2(4): 305-317. <https://doi.org/10.2307/3100886>
- Feyerabend, P. (2017). Tratado contra el método Esquema de una teoría anarquista del conocimiento. Tecnos.
- Fortes, J. & Lomnitz, L. (2005). La formación del científico en México Adquiriendo una nueva identidad. Siglo XXI, UNAM
- Gallardo, O. (2019). El espacio de las disciplinas en el PROINCE La tensión entre los criterios generales y las especificidades disciplinares. En F. Beigel y F. Bekerman (coords.). Culturas evaluativas: Impactos y dilemas del Programa de Incentivos a Docentes-Investigadores en Argentina (1993-2018). CLACSO: 185-209
- Giannuzzo, A. N. (2010). Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental. Scientiæ Studia VIII (1): 129-156. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662010000100006>

- Grelling, K. (1928). Philosophy of the exact sciences: its present status in Germany. *The Monist*. 38(1): 97-119. <https://www.jstor.org/stable/27901142>
- Guzmán, M. A. (1975). El error experimental en la investigación científica: cuantificación de elementos contribuyentes. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*. 79 (2): 121-130. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/17596>
- Hardy, G. H. (2005) *A Mathematician's Apology*. University of Alberta Mathematical Sciences Society
- Hardy, G. H. (2017) *Apología de un matemático*. Capitan Swing.
- Kennedy, E. S. (1968). The Digital Computer and the History of the Exact Sciences. *Centaurus*, 12(2), 107-113. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0498.1968.tb00082.x>
- Knorr-Cetina, K. D. (1996) ¿Comunidades científicas o arenas transepistémicas de investigación? Una crítica de los modelos cuasi-económicos de la ciencia. *Redes*. 7(3): 129-160. <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/671>
- Kuhn, T. S. (2013). *La estructura de las revoluciones científicas*. México. Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the Methodology of Scientific Research programmes. Edited by Imre Lakatos and Alan Musgrave. *Criticism and the Growth of Knowledge Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science, London, 1965 volume 4*. Cambridge University Press: 91-197.
- Lane, S. M. (1981). Mathematical models: A sketch for the philosophy of mathematics. *The American Mathematical Monthly* 88 (7): 462-472. <https://schiaffonati.faculty.polimi.it/TFIS/philofmaths.pdf>
- Lara Barragán Gómez, A., Aguiar Barrera, M. E., Cerpa Cortés, G., Núñez Trejo, H. (2009). Relaciones docente-alumno y Rendimiento académico. Un caso del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. *Sinéctica. Revista Electrónica de Educación*, (33), 1-15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99812140006>
- López Romo, H. (1998) *La metodología de la encuesta*. En L. J. Galindo Cáceres (Coord.) *Técnicas de investigación en sociedad, cultura y comunicación*. Pearson Educación.
- Marek, W. & Truszczyński, M. (1991). Autoepistemic logic. *Journal of the ACM (JACM)* 38.3: 587-618. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(93\)90165-8](https://doi.org/10.1016/0004-3702(93)90165-8)
- Mason, M. (2008). Complexity theory and the philosophy of education. *Educational philosophy and theory* 40(1): 4-18. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.2007.00412.x>
- Medel, G. A., Vilanova, S. L., Biggio, C., García, M. B. y Sol Martín, S. S. (2017). Estrategias Meta-Cognitivas y Concepciones Sobre El Aprendizaje En La formación Inicial De Profesores Universitarios Del área De Ciencias Exactas y Naturales. *Informes Psicológicos* 17(1):35-51. <https://doi.org/10.18566/infpsic.v17n1a02>
- Mook, W. G. (2002). Errores, medias y ajustes. En *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico; principios y aplicaciones*. Instituto Geológico de España. https://catoute.unileon.es/permalink/34BUC_ULE/ar7q83/alma991008760560405772
- Murray, F. J. (1973). Mathematics and the exact sciences. *Philosophia Mathematica*. 1-10(2): 134-154. <https://doi.org/10.1093/philmat/s1-10.2.134>

Nemchinov, V. (1962). Economic Science must Become an Exact Science. *Øst-økonomi* 2: 36–44
<https://doi.org/10.1007/BF02506033>

Núñez Jover, J. (1999) La ciencia y la tecnología como procesos sociales Lo que la educación científica no debería olvidar. Félix Varela.
https://www.researchgate.net/publication/328413184_LA_CIENCIA_Y_LA_TECNOLOGIA_COMO_PROCESOS_SOCIALES_Lo_que_la_educacion_cientifica_no_deberia_olvidar

Ortiz Ocaña, A. (2015). Epistemología y ciencias humanas Modelos epistémicos y paradigmas. Ediciones de la U.

Quesque, F, & Yves Rossetti (2020). What do theory-of-mind tasks actually measure? *Theory and practice. Perspectives on Psychological Science* 15.2 (2020): 384-396.
<https://doi.org/10.1177/1745691619896607>

Real Academia Española (2014). Diccionario de la lengua española. Madrid. RAE. <https://www.rae.es/>

Reichenbach, M., & Cohen, R. S. (1978). The World View of the Exact Sciences. En Reichenbach, M., y Cohen, R. S. (Eds.). *Hans Reichenbach Selected Writings 1909–1953*: 241–244.
https://doi.org/10.1007/978-94-009-9761-5_23

Rivas, F. (1998). El significado de la significancia. *Biomédica*. 18 (3): 291-295.
<https://doi.org/10.7705/biomedica.v18i4.1000>

Rodríguez Osuna, J., Ferreras, M. L. & Núñez, A. (1991). Inferencia estadística, niveles de precisión y diseño muestral. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas* 54.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=249348>

Ruiz Armenteros, A., García Balboa, J. L. & Mesa Mingorance, J. L., (2010). Error, incertidumbre, precisión y exactitud, términos asociados a la calidad espacial del dato geográfico. Selección de ponencias del I Congreso Internacional sobre catastro unificado y multipropósito. Universidad de Jaén.
http://coello.ujaen.es/congresos/cicum/ponencias/Cicum2010.2.02_Ruiz_y_otros_Error_incetidumbre_precision.pdf

Russell, B. (1983). *Toward the "Principles of mathematics"* 1900-02. G. Allen & Unwin.

Schuck, R. J., Neumann Martins, S., Marchi, M. I. & Heemann Grassi, M. (2017). Ensino Em Mestrado Profissional De Ciências Exatas: Concepções E Saberes De Professores Em formação. *Revista Brasileira De Pós-Graduação* 13(31). <https://doi.org/10.21713/2358-2332.2016.v13.1245>.

Smart, J. J. C. (1959). Can Biology be an Exact Science?. *Synthese*. 11(4): 359-368.
<https://doi.org/10.1007/BF00486197>

Spiegel, M. R., Schiller, J. J., Srinivasan, R. A. (2013). *Probabilidad y estadística*. McGrawHill Education.

Tovar Zárate, L. J. (2016). Redefinición del Kilogramo. Simposio de Metrología 2016.
<https://www.cenam.mx/sm2016/pdf/1851.pdf>

Trabulse, E. (1994). Ciencias exactas. En *Ciencia y tecnología en el Nuevo Mundo*. El Colegio de México, FCE.

Yepes Miranda, D. & Lee, L. L. (2022). STEM y sus oportunidades en el ámbito educativo. *Acta Scientiæ Informaticæ*. 6(6). <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/asinf/article/view/3118>

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](#) .