

Preprint



Pertenencia institucional

Resumen

Correspondencia

Palabras clave:

ORCID

Abstract

Key words:

Cuasicristales y cuasicientíficos: cómo un relato del pasado puede darnos pistas sobre el presente de la ciencia

Juan Manuel Ramírez de Arellano ^{(1)*}

(1) Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Calle del Puente 222, Ciudad de México, 14380, México

* Contacto: jramirezdearellano@tec.mx, radear82@gmail.com.

Resumen

En 1982, Daniel Shechtman descubrió estructuras cuasicristalinas que llevarían a cambiar la definición misma de cristal. Linus Pauling fue una férrea fuerza de oposición al cambio, a pesar de la evidencia. Alan Mackay, por otro lado, ya había predicho dichas estructuras al hablar de la cristalografía generalizada. En este ensayo se abunda sobre el contraste entre ambos y cómo la historia de los cuasicristales nos da una oportunidad para reflexionar sobre los principios básicos de la ciencia bien practicada: evidencia científica, reproducibilidad y una correcta atribución.

Palabras clave: cuasicristales, historia de la ciencia, cristales

Introducción

En un curso de física que di hace poco, quise pedir a mis estudiantes una tarea diferente a la lista de problemas de siempre. Preparando el material para la clase, vi la palabra «cuasicristales» mencionada de paso en el libro que tomé como referencia, casi como una curiosidad en la que no hacía falta profundizar. Tal vez por eso pensé que sería una buena idea para lo que tenía en mente.

Decidí pedir a mis alumnos que escribieran un breve ensayo sobre cuasicristales. Ya decía el prolífico periodista y escritor William Zinsser que uno realmente aprende un tema cuando escribe sobre el mismo ¹, y con eso en mente quise que mis estudiantes escribieran un ensayo lo menos técnico posible. No recuerdo haber estudiado nada sobre cuasicristales cuando era yo el estudiante, así que lo vi también como un buen pretexto para obligarme a aprender un poco sobre el tema.

Un alumno entregó su escrito casi de inmediato. Nada raro en principio, puesto que era poco texto: apenas dos páginas con doble espacio entre los párrafos, más las referencias. A primera vista, la redacción parecía buena y el estilo decente, nada que hiciera saltar las alarmas. Confieso que, en estos tiempos de *ChatGPT* o *Deep Seek* —o alguna otra aplicación dentro de una lista siempre creciente—, debí considerar desde un inicio la posibilidad de que aquel texto fuese hecho con alguna inteligencia artificial generativa, pero no lo hice. Lo descubriría al final.

Literalmente al final. En la sección de referencias de aquél trabajo estaba la pista que lo mostraba como un «cuasiensayo», si se me permite la agudeza. Como hallé interesante la historia que contaba el texto del estudiante, busqué más información en las referencias originales, y ahí me di cuenta. Una referencia en particular —*Shechtman, D. (1984). The*

¹ William Zinsser, *Writing to Learn* (Harper Collins, 1989).

discovery of quasicrystals: A personal account. Annual Review of Materials Research, 23(1), 1-29— resultó ser inventada.

Para mayor tragedia, era la primera de la lista. Pero de aquél artículo no había nada en el archivo de la revista en cuestión, ni en ningún otro lado. No existía. Es lo que sucede con las inteligencias artificiales generativas, dan información que suena plausible, aunque sea falsa. Es verdad que «D. Shechtman» es el descubridor de los cuasicristales —por lo que le concedieron el premio Nobel de química en 2011—, pero si hay algo de lo que podemos estar seguros que no hizo, fue escribir aquél artículo cuya referencia fue inventada probablemente por *ChatGPT*.

Con todo y eso, mi interés en el tema era suficiente como para seguir buscando material —de preferencia real—, y lo que encontré me llevó poco a poco a querer escribir un texto sobre los aspectos científicos de los cuasicristales.

Shechtman y el descubrimiento de los cuasicristales

La historia del descubrimiento de los cuasicristales no tiene muchos recovecos: Daniel Shechtman encontró estructuras con simetría pentagonal que la cristalografía hasta entonces no consideraba posibles. La nueva evidencia experimental hizo que la definición de cristal cambiara para incluir a estas nuevas estructuras, que muy poco después de su aparición fueron llamadas cuasicristales. Un descubrimiento científico de manual.

Desde entonces, sus propiedades fisicoquímicas y geométricas, además de sus posibles aplicaciones, han motivado un buen número de estudios enfocados desde distintas disciplinas. Uno de los ejemplos más recientes y cercanos es el trabajo de Alan R. Mendoza, Atahualpa S. Kraemer —ambos de la Facultad de Ciencias de la UNAM— *et al.*, sobre los ambientes locales de los cuasicristales y las propiedades que dependen de ellos ².

Hasta ahí la parte medular de la historia, de la que sin duda se puede abundar en detalles técnicos fascinantes para físicos, químicos, matemáticos y cristalógrafos por igual. Pero las referencias que iba encontrando me llevaban por un camino más cualitativo. La parte humana de la historia resultó ser bastante interesante también. De inmediato resaltaron dos personajes situados en lados opuestos del descubrimiento de Shechtman: el famoso químico Linus Pauling por un lado, y el no tan famoso cristalógrafo Alan L. Mackay por el otro. Pero empecemos por el principio.

En 1982, Daniel Shechtman descubrió por casualidad la existencia de los cuasicristales, algo que, según la teoría cristalográfica de la época, no debería haber descubierto. Shechtman, científico de materiales egresado del *Israel Institute of Technology – Technion*, estaba a la mitad de una estancia sabática en el *National Bureau of Standards* de Maryland,

² Ricardo Atahualpa Solórzano Kraemer y Alan Rodrigo Mendoza Sosa, “Cuasicristales: de universos paralelos a sombras multidimensionales”, *Revista Digital Universitaria* 25, núm. 3 (2024), <https://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.3.5>; Alan Rodrigo Mendoza Sosa et al., “Structural Studies of Local Environments in High-Symmetry Quasicrystals”, *Scientific Reports* 13, núm. 1 (2023): 16696, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42145-7>.

Estados Unidos, —lo que ahora es conocido como *National Institute of Standards and Technology (NIST)*— donde colaboraba en un proyecto como microscopista electrónico ³.

Aquel proyecto buscaba estudiar la solidificación rápida de aleaciones binarias basadas en aluminio, catalogadas como (Al, X), donde la X podía ser cromo, manganeso, hierro, cobalto o níquel en proporciones pequeñas hasta alcanzar un 10%. A Shechtman se le ocurrió aumentar el rango hasta Al₆X y más allá, sin saber que era una de esas ideas que terminan valiendo un Nobel.

Siguiendo su idea, Shechtman se hallaba estudiando muestras de Al₆Mn cuando descubrió algo fuera de lo común en una de ellas. Examinando la muestra en distintas orientaciones, obtuvo una serie de patrones de difracción que correspondían a una simetría icosaédrica en tres dimensiones. Eso era inconsistente con la periodicidad tridimensional. Al lector que se considere engañado luego de haberle prometido un texto poco técnico le pido algo de paciencia.

Aquello se visualiza mejor si consideramos dos dimensiones primero. Supongamos que queremos cubrir un plano usando mosaicos, y para este ejemplo pensemos en una mesa. Si los mosaicos son cuadrados, fácilmente cubrimos la mesa sin dejar huecos. El resultado se conoce como un arreglo periódico y ordenado de mosaicos cuadrados, con simetría de rotación 4. Si usamos mosaicos triangulares, cubriremos igualmente la mesa sin problemas y en este caso el arreglo tendrá lo que se conoce como simetría de rotación de orden 3. También podemos cubrir totalmente la mesa con mosaicos hexagonales, y el arreglo periódico tiene simetría de rotación de orden 6.

Pero si usamos mosaicos pentagonales —con ejes de rotación de orden 5— fracasaremos rotundamente, porque en tal caso es imposible cubrir la mesa sin dejar huecos. Cuando el caso de simetría pentagonal se extiende a tres dimensiones, hablamos de una simetría icosaédrica, con la que tampoco se puede llenar el espacio tridimensional de forma periódica. Por eso la cristalografía consideraba que no podían existir cristales con dicha simetría.

Hasta ese momento toda la evidencia científica respaldaba dicha idea, y Shechtman, reconociendo la rareza de lo que había obtenido, confirmó cuidadosamente sus resultados con el microscopio de transmisión electrónica. Este dejaba ver una nitidez del patrón de difracción (*diffraction spots*) tan buena como solo se encontraba en los mejores cristales de silicio ⁴.

La nueva estructura era paradójica porque mostraba un orden de largo alcance como los cristales debido a la alta nitidez de su patrón de difracción, pero por otro lado no debería ser cristalina debido a su simetría pentagonal. En aquél momento se consideraba que los cristales solamente podían tener ejes de rotación de orden 1, 2, 3, 4 y 6. Y ahí estaba Shechtman, ante algo que parecía un cristal pero que tenía un eje de rotación de orden 5. Era la excepción que rompía la regla.

³ Denis Gratias y Marianne Quiquandon, “Discovery of Quasicrystals: The Early Days”, *Comptes Rendus. Physique* 20, núms. 7–8 (2019): 803–16, <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2019.05.009>.

⁴ D. Shechtman et al., “Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry”, *Physical Review Letters* 53, núm. 20 (1984): 1951–53, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.53.1951>.

Pauling y los cuasicientíficos

Lo que vino después fue un período difícil para Shechtman, que sufrió el escarnio de propios y extraños debido a la radicalidad de sus resultados. Él mismo tardó dos años en publicarlos, venciendo oposiciones de miembros de su mismo equipo de trabajo, que pensaban que tal vez había cometido algún error y que no querían verse involucrados en lo que ya veían como un ridículo ante la comunidad científica ⁵.

Shechtman decidió acudir a Ilan Blech, su antiguo profesor en *Technion*, para discutir sus resultados. Posteriormente se les unió John–Werner Cahn, reputado científico del NIST y con él, el cristalógrafo Denis Gratias, que trabajaba en el *Centre d'Etudes de Chimie Métallurgique* en Vitry-sur-Seine, cerca de París. Después de revisar a fondo los resultados, se convencieron de que en efecto estaban ante una simetría icosaédrica y enviaron un artículo a la revista *Physical Review Letters*.

Los resultados de Shechtman sobre los cuasicristales fueron publicados en 1984 ⁶ y Europa se fue mostrando bastante receptiva con ellos, tanto que pronto aparecieron estudios y equipos de trabajo sobre el tema. Pero en Estados Unidos la oposición a los cuasicristales fue férrea, principalmente entre los químicos, con el formidable Linus Pauling al frente.

Para ese momento, Pauling ya había ganado dos premios Nobel (uno en química y otro de la paz) y entre muchos otros honores tenía un instituto con su nombre, el *Linus Pauling Institute of Science and Medicine* en California. Con todo el peso de su prestigio, Pauling afirmaba que aquello de los cuasicristales debía ser algún error experimental, y que el patrón de difracción observado por Shechtman se trataba seguramente de formaciones gemelas de cristales ordinarios, lo que en español se conoce como *maclas* (*twinning*, en inglés). Las distintas crónicas del descubrimiento de los cuasicristales señalan cómo Pauling aprovechaba cualquier oportunidad para comentarle al que quisiera escucharlo, que Shechtman estaba equivocado ⁷.

En el camino de escribir este texto, me encontré con una frase de Linus Pauling, que se repite en muchas referencias: «No hay tal cosa como los cuasicristales, solamente hay cuasicientíficos». Demoledora. Algunas fuentes ⁸ la atribuyen a la carta a *Nature* que Pauling publicó en 1985 ⁹, cuyo título es bastante explícito: «La aparente simetría icosaédrica es debida a maclas múltiples dirigidas de cristales cúbicos». Nada de cuasicristales. Pero en tal artículo no se encuentra la famosa frase de los cuasicientíficos.

Todas las fuentes indirectas que la citan se refieren a otras fuentes indirectas o simplemente se la atribuyen a Pauling sin más. Una frase que sí aparece en su carta a *Nature*,

⁵ Carlos Amador Bedolla, “Cuasicristales”, *Educación Química* 23, núm. 1 (2012): 69–70, [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30101-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30101-5); Alok Jha, “Dan Shechtman: ‘Linus Pauling Said I Was Talking Nonsense’”, *Science*, *The Guardian*, el 6 de enero de 2013, <https://www.theguardian.com/science/2013/jan/06/dan-shechtman-nobel-prize-chemistry-interview>.

⁶ Shechtman et al., “Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry”.

⁷ Andrei Mihai, “Adversity, Quasicrystals and a Nobel — the Forbidden Fivefold Symmetry That Was”, *Lindau Nobel Laureate Meetings*, el 28 de junio de 2022, <https://www.lindau-nobel.org/blog-adversity-quasicrystals-and-a-nobel-the-forbidden-fivefold-symmetry-that-was/>.

⁸ Gratias y Quiquandon, “Discovery of Quasicrystals”.

⁹ Linus Pauling, “Apparent Icosahedral Symmetry Is Due to Directed Multiple Twinning of Cubic Crystals”, *Nature* 317, núm. 6037 (1985): 512–14, <https://doi.org/10.1038/317512a0>.

y que ya nos da una buena idea de la posición de Pauling, es la siguiente (las negritas son mías): «encuentro **difícil de creer** que cualquier cristal sencillo con ejes de orden 5 pudiera dar patrones de difracción razonablemente nítidos, parecidos a los dados por los cristales».

La explicación de Pauling era comprobable experimentalmente. Cuando se crece un cristal, suele ocurrir que la dirección de crecimiento cambie de repente, generando una agrupación de cristales gemelos, orientados simétricamente respecto a un eje o un plano. A esos grupos de cristales se les llama macla. Para que Shechtman hubiese observado una macla de cristales en lugar de una estructura nueva, aquello tendría que haber pasado cinco veces, en sucesión.

Para descartar experimentalmente esa posibilidad, se puede enfocar el haz de difracción en regiones más y más pequeñas de la muestra, hasta obtener un volumen tan pequeño que no pudiera encerrar a los cinco gemelos. En ese momento, la simetría pentagonal debería desaparecer. Pero en la práctica, la simetría pentagonal de las estructuras descubiertas por Shechtman no desapareció, incluso para las dimensiones más pequeñas analizadas de esta forma. La evidencia experimental descartaba una posible macla ¹⁰.

La frase de los cuasicientíficos suena demasiado directa, demasiado hostil como para haberla dejado por escrito. Y en efecto, entrevistado en 2013, Shechtman refiere que Linus Pauling la dijo de viva voz durante una conferencia, enfrente de cientos de asistentes. Siguiendo esta fuente, la frase completa resulta mucho más agresiva: «Danny Shechtman está diciendo incoherencias, no hay cuasicristales, sólo cuasicientíficos» (*Danny Shechtman is talking nonsense, there are no quasi-crystals, just quasi-scientists*) ¹¹.

Con el tiempo, dicha frase se ha convertido en las famosas últimas palabras de un científico que —sin demeritar las fabulosas aportaciones a la química que hiciera Pauling en su momento— pareció olvidar el papel fundamental que tienen en la ciencia tanto la evidencia experimental como la reproducibilidad. Aunque un resultado parezca un sinsentido o sea «difícil de creer», si la evidencia científica lo confirma y se puede reproducir experimentalmente, el científico tiene el deber de aceptarlo y modificar la teoría en consecuencia.

Los cuasicristales, esos viejos conocidos

Pauling murió en 1994, y parece ser que sin su influencia de por medio, la comunidad científica aceptó más fácilmente la idea de los cuasicristales. En 1992, la Unión Internacional de Cristalografía (IUCr, por sus siglas en inglés) ya había cambiado su definición de cristal para adaptarse a la nueva evidencia. Antes, la definición de cristal de la IUCr se enfocaba en el ordenamiento regular y la repetición de un patrón tridimensional.

Ahora, la IUCr define a un cristal como un material que esencialmente tiene un patrón de difracción nítido. Esta definición más amplia permite incluir no solamente a los cuasicristales sino a posibles descubrimientos futuros de otros tipos de materiales que podrían considerarse

¹⁰ Ronald Munro et al., “Quasicrystals”, en *A Century of Excellence in Measurements, Standards, and Technology*, NIST Special Publication (NIST, 2001), <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/sp958-lide/cntsp958.htm>.

¹¹ Jha, “Dan Shechtman”.

cristalinos. La nueva evidencia científica había logrado establecerse, luego de muchas dificultades de la comunidad científica para aceptar los descubrimientos de Shechtman.

Pero a toro pasado, esta resistencia a la idea de los cuasicristales resulta sorprendente por dos razones: por un lado, los argumentos para prohibir estructuras con simetría pentagonal se basaban en una falacia lógica; por otro lado, había un desconocimiento de diversos trabajos teóricos anteriores.

La falacia se refiere a lo siguiente: desde inicios del siglo XX, los cristalógrafos saben que la difracción de objetos periódicos genera un patrón con puntos nítidos colocados en los nodos de una red recíproca. La falacia, erróneamente aceptada por mucho tiempo, consiste en asumir que lo inverso siempre se cumple y que un patrón de difracción nítido solamente podía provenir de un objeto periódico ¹².

También resulta algo sorprendente la dificultad en aceptar la idea de cuasicristales cuando consideramos que los conceptos básicos relacionados con dichas estructuras ya habían sido estudiados mucho antes del descubrimiento de Shechtman. Abundan ejemplos de trabajos que de una u otra forma sirvieron como base para entender las propiedades de los cuasicristales, empezando por los mosaicos islámicos de la Alhambra de Granada, en España, y de muchos otros monumentos arquitectónicos similares.

Dichos mosaicos islámicos y los cuasicristales comparten principios geométricos: en ambos casos se trata de patrones aperiódicos que pueden cubrir un plano o el espacio sin repetirse nunca exactamente. Peter Lu y Paul Steinhardt, —investigadores de Harvard y Princeton, respectivamente— estudiaron hace no mucho tiempo la geometría de mosaicos particulares formados por polígonos y estrellas con simetría 5, llamados «mosaicos girih», que ya se usaban en la arquitectura islámica desde el siglo XV. Una de las innovaciones más impresionantes de los arquitectos y matemáticos islámicos de entonces fue el uso de la transformación de autosimilaridad. Esto significa subdividir mosaicos girih grandes en otros más pequeños, para crear patrones que se traslapan en dos escalas diferentes. Esto genera geometrías prácticamente cuasicristalinas, presentes cinco siglos antes de que tan siquiera se discutieran en el mundo occidental ¹³.

El pintor holandés M.C. Escher puede considerarse uno de los primeros puntos de encuentro entre occidente y aquellos mosaicos islámicos, como deja ver la influencia que tuvo la Alhambra en su obra. Escher visitó la Alhambra sólo dos veces durante su vida —en 1922 y luego en 1936—, pero el impacto que tuvo en su obra fue profundo y lo llevó a estudiar detalladamente los patrones de aquellos mosaicos y las maneras en las que cubrían una superficie. Aún así, hay que ir hasta 1965 para hallar en occidente un inicio más concreto en el estudio matemático formal de las estructuras cuasicristalinas.

Fue en aquél año y en el siguiente cuando el matemático chino-estadounidense de Harvard Hao Wang y su estudiante Robert Berger, interesados en las propiedades de la máquina de Turing, se enfocaron en las maneras en las que se podía *teselar* —esto es, cubrir

¹² Gratias y Quiquandon, “Discovery of Quasicrystals”.

¹³ Andoni Garritze, “Cuasicristales y arte islámico”, *Educación Química* 23, núm. 1 (2012): 2–5, [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30090-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30090-3); Peter J. Lu y Paul J. Steinhardt, “Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture”, *Science* 315, núm. 5815 (2007): 1106–10, <https://doi.org/10.1126/science.1135491>.

con un patrón— un plano de formas periódicas y no periódicas. Su trabajo se conoce como el problema del Dominó ¹⁴.

Para 1974, el físico matemático británico Robert Penrose había construido un patrón no periódico que cubría el plano y que estaba compuesto de solamente dos tipos de mosaicos o *teselas*, y con una simetría pentagonal, la famosa *teselación* o patrón de Penrose. Tiempo después se reconoció que aquellos mosaicos girih del mundo Islámico medieval ya incluían ejemplos casi perfectos de patrones de Penrose. Por último, sería injusto ignorar el importante trabajo teórico de los estadounidenses Don Levine y el antes mencionado Paul Steinhardt, quienes acuñaron el término de cuasicristal en un artículo publicado apenas unas semanas después de que Shechtman diera a conocer sus resultados en 1984 ¹⁵.

Mackay y el copo de nieve pentagonal

Con todo, fue el británico Alan L. Mackay quién más llamó mi atención por el contraste entre su papel y el de Pauling en esta historia. En 1981, Mackay hizo la conexión entre el patrón de Penrose y los materiales cristalinos. En su artículo de 1981 *De nive quinquangula: On the pentagonal snowflake*, Mackay crea una representación gráfica de un copo de nieve con simetría pentagonal y concluye que aquello era «un ejemplo de un patrón del tipo que bien podría ser encontrado pero que podría pasar desapercibido si no se le espera». ¡Casi pareciera que estaba hablando de Shechtman un año antes de que sucedieran las cosas! Pero más que profecía sobrenatural, era en realidad el fruto de mucho trabajo teórico detrás.

Acaso porque se hubiera publicado en una revista soviética ¹⁶, el trabajo de Mackay no era muy conocido, y ciertamente Shechtman no estaba al tanto de él al momento de su descubrimiento experimental, un año después. Pero Mackay había estado hablando de estructuras no periódicas desde 1975, introduciendo en distintos trabajos lo que él llamaba «cristalografía generalizada». Tener la mente abierta ante la posibilidad de nuevas estructuras cristalográficas le permitió anticipar la existencia de la simetría de orden 5 en estructuras extendidas ¹⁷.

Si la contribución de Mackay al entendimiento de los cuasicristales es ahora más conocida que antes, se debe en gran parte al físico-químico húngaro Istvan Hargittai, colega y amigo suyo. Con la dedicación que da la amistad y la admiración, Hargittai ha publicado diversos trabajos para asegurarse de que Mackay tenga la atribución que merece en esta historia.

En distintos momentos, Hargittai reprocha veladamente las actitudes de Levine y Steinhardt, que a su modo de ver minimizaban el trabajo de Mackay e incluso el del mismo

¹⁴ Hao Wang, “Games, Logic and Computers”, *Scientific American* 213, núm. 5 (1965): 98–107, JSTOR Journals.

¹⁵ Dov Levine y Paul Joseph Steinhardt, “Quasicrystals: A New Class of Ordered Structures”, *Physical Review Letters* 53, núm. 26 (1984): 2477–80, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.53.2477>; Gratias y Quiquandon, “Discovery of Quasicrystals”.

¹⁶ Alan L. Mackay, “De nive quinquangula: On the pentagon snowflake”, *Sov.Phys.Crystallogr* 26 (1981): 517–22.

¹⁷ Istvan Hargittai, “Forty years of quasicrystals: a bumpy road to triumph”, *Structural Chemistry* 33, núm. 2 (2022): 311–14, <https://doi.org/10.1007/s11224-021-01873-0>.

Shechtman¹⁸. Al leer el artículo de Levine y Steinhardt, publicado semanas después de que se conocieran los resultados experimentales de Shechtman, me inclino a pensar que Hargittai lleva razón, pues aquellos apenas mencionan de paso, y casi al final, el resultado experimental que constituía toda la justificación de su trabajo.

A través de la muy amena monografía que Hargittai le dedica a Mackay con motivo de su nonagésimo cumpleaños¹⁹, se nos presenta Mackay como una persona muy interesada en el arte, la geometría, la literatura, las diferentes culturas del mundo. Un generalista muy certeramente apodado «el ecléctico bien conocido».

No es solo eso lo que me llamó la atención sobre Mackay, aunque sí que influyó la conexión que resultó tener con México. Fue asesor doctoral del conocido físico mexicano Humberto Terrones²⁰ y es miembro correspondiente de la Academia Mexicana de Ciencias²¹. Incluso me sorprendí gratamente al reconocer una foto de Ciudad Universitaria en la portada de su libro *Eclectica*²². Pero fue su curiosidad ante la posibilidad de nueva evidencia científica la que más me atrajo de su papel en esta historia.

Más cuasicristales y menos cuasicientíficos

Que aquella tarea escolar hubiera sido hecha con inteligencia artificial me sorprendió al inicio, pero pronto la sorpresa fue sustituida por preocupación. Me reuní con aquél estudiante y luego de que aceptara que, en efecto, el texto no era suyo, hablamos un poco sobre la responsabilidad del científico ante su trabajo y la ética que se espera de nosotros para que la ciencia avance como debe.

No es un caso único, todo lo contrario. Es cada vez más común que no solamente estudiantes sino también científicos consolidados utilicen inteligencia artificial generativa para producir —no escribir— artículos, propuestas de financiamiento o libros completos.

Abundan casos de textos ya publicados en revistas importantes y por editoriales prestigiosas, pero que están llenos de incoherencias generadas por inteligencia artificial²³. Uno muy famoso fue el de aquél libro sobre hongos que se vendía en línea y que contenía información falsa y totalmente incorrecta²⁴. En aquel momento, varios expertos advirtieron que seguir los consejos de dicho libro —comerse un hongo venenoso pensando que es inofensivo— podría ser mortal. ¿Se puede confiar en resultados publicados de esta forma?

¹⁸ Hargittai, “Forty years of quasicrystals: a bumpy road to triumph”.

¹⁹ Istvan Hargittai, “Generalizing Crystallography: A Tribute to Alan L. Mackay at 90”, *Structural Chemistry* 28, núm. 1 (2017): 1–16, <https://doi.org/10.1007/s11224-016-0766-1>.

²⁰ Mirna Servín, “Nanotecnología: un mundo a la medida”, Lunes En La Ciencia, *La Jornada* (México), el 19 de marzo de 2001, <https://www.jornada.com.mx/2001/03/19/cien-galeria.html>.

²¹ Academia Mexicana de Ciencias, “Miembros Correspondientes”, consultado el 16 de enero de 2025, https://www.amc.edu.mx/amc/index.php?option=com_content&view=article&id=458&Itemid=80.

²² Hargittai, “Generalizing Crystallography”.

²³ Rita Aksenfeld, “Springer Nature to Retract Machine Learning Book Following Retraction Watch Coverage”, *Retraction Watch*, el 16 de julio de 2025, <https://retractionwatch.com/2025/07/16/springer-nature-to-retract-machine-learning-book-following-retraction-watch-coverage/>.

²⁴ Dan Milmo y Dan Milmo Global technology editor, “Mushroom Pickers Urged to Avoid Foraging Books on Amazon That Appear to Be Written by AI”, Science, *The Guardian*, el 1 de septiembre de 2023, <https://www.theguardian.com/technology/2023/sep/01/mushroom-pickers-urged-to-avoid-foraging-books-on-amazon-that-appear-to-be-written-by-ai>.

¿Qué pasará con la ciencia en esta época de posverdad alimentada por la inteligencia artificial generativa?

La historia del descubrimiento de los cuasicristales es un buen recordatorio de los fundamentos que definen a la ciencia y que deberían guiar a las personas que nos dedicamos a ella. Ante una evidencia científica que contradecía la teoría de aquel momento, y luego de verificar a fondo sus resultados, Daniel Shechtman decidió seguir adelante.

Linus Pauling ya había dado una nota cuestionable —por decir lo menos— empeñándose en afirmar que la vitamina C era un tratamiento efectivo contra el cáncer, o apoyando diversas formas de eugenesia ²⁵ mientras ignoraba en ambos casos la evidencia científica. De igual forma decidió ignorar el hecho de que diferentes equipos científicos habían podido reproducir sin problemas los hallazgos de Shechtman, y hasta el final de sus días se guió por aspectos no científicos (creencias, deseos, intuición) para oponerse a la idea del cuasicristal. En el otro extremo, Alan Mackay nos da una muestra del combate consciente de dogmas y tabúes científicos, lo que le ayudó a predecir la existencia de los cuasicristales.

Pauling se equivocó al llamar cuasicientífico a Shechtman, pero irónicamente el término podría ser útil después de todo, como advertencia ante lo que vivimos. En un mundo en el que el mal uso de la inteligencia artificial generativa produce montones de verdaderos cuasicientíficos, es fundamental recordar los principios básicos de la ciencia bien practicada: evidencia científica, reproducibilidad y una correcta atribución.

Agradecimientos

El autor agradece a Santa Elena Tellez Flores y a Pedro Miramontes por sus valiosas sugerencias y retroalimentación.

Referencias

- Academia Mexicana de Ciencias. “Miembros Correspondientes”. Consultado el 16 de enero de 2025.
https://www.amc.edu.mx/amc/index.php?option=com_content&view=article&id=458&Itemid=80.
- Aksenfeld, Rita. “Springer Nature to Retract Machine Learning Book Following Retraction Watch Coverage”. *Retraction Watch*, el 16 de julio de 2025.
<https://retractionwatch.com/2025/07/16/springer-nature-to-retract-machine-learning-book-following-retraction-watch-coverage/>.
- Bedolla, Carlos Amador. “Cuasicristales”. *Educación Química* 23, núm. 1 (2012): 69–70.
[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30101-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30101-5).
- Garritze, Andoni. “Cuasicristales y arte islámico”. *Educación Química* 23, núm. 1 (2012): 2–5. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30090-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30090-3).
- Gratias, Denis, y Marianne Quiquandon. “Discovery of Quasicrystals: The Early Days”.

²⁵ Everett Mendelsohn, “The Eugenic Temptation”, *Harvard Magazine*, el 1 de marzo de 2000, <https://www.harvardmagazine.com/2000/03/the-eugenic-temptation-html>; Carmel Jacobs et al., “Is There a Role for Oral or Intravenous Ascorbate (Vitamin C) in Treating Patients With Cancer? A Systematic Review”, *The Oncologist* 20, núm. 2 (2015): 210–23, <https://doi.org/10.1634/theoncologist.2014-0381>.

- Comptes Rendus. Physique* 20, núms. 7–8 (2019): 803–16.
<https://doi.org/10.1016/j.crhy.2019.05.009>.
- Hargittai, Istvan. “Forty years of quasicrystals: a bumpy road to triumph”. *Structural Chemistry* 33, núm. 2 (2022): 311–14. <https://doi.org/10.1007/s11224-021-01873-0>.
- Hargittai, Istvan. “Generalizing Crystallography: A Tribute to Alan L. Mackay at 90”. *Structural Chemistry* 28, núm. 1 (2017): 1–16.
<https://doi.org/10.1007/s11224-016-0766-1>.
- Jacobs, Carmel, Brian Hutton, Terry Ng, Risa Shorr, y Mark Clemons. “Is There a Role for Oral or Intravenous Ascorbate (Vitamin C) in Treating Patients With Cancer? A Systematic Review”. *The Oncologist* 20, núm. 2 (2015): 210–23.
<https://doi.org/10.1634/theoncologist.2014-0381>.
- Jha, Alok. “Dan Shechtman: ‘Linus Pauling Said I Was Talking Nonsense’”. Science. *The Guardian*, el 6 de enero de 2013.
<https://www.theguardian.com/science/2013/jan/06/dan-shechtman-nobel-prize-chemistry-interview>.
- Levine, Dov, y Paul Joseph Steinhardt. “Quasicrystals: A New Class of Ordered Structures”. *Physical Review Letters* 53, núm. 26 (1984): 2477–80.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.53.2477>.
- Lu, Peter J., y Paul J. Steinhardt. “Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture”. *Science* 315, núm. 5815 (2007): 1106–10.
<https://doi.org/10.1126/science.1135491>.
- Mackay, Alan L. “De nive quinquangula: On the pentagon snowflake”. *Sov.Phys.Crystallogr* 26 (1981): 517–22.
- Mendelsohn, Everett. “The Eugenic Temptation”. Harvard Magazine, el 1 de marzo de 2000.
<https://www.harvardmagazine.com/2000/03/the-eugenic-temptation-html>.
- Mihai, Andrei. “Adversity, Quasicrystals and a Nobel — the Forbidden Fivefold Symmetry That Was”. *Lindau Nobel Laureate Meetings*, el 28 de junio de 2022.
<https://www.lindau-nobel.org/blog-adversity-quasicrystals-and-a-nobel-the-forbidden-fivefold-symmetry-that-was/>.
- Milmo, Dan, y Dan Milmo Global technology editor. “Mushroom Pickers Urged to Avoid Foraging Books on Amazon That Appear to Be Written by AI”. Science. *The Guardian*, el 1 de septiembre de 2023.
<https://www.theguardian.com/technology/2023/sep/01/mushroom-pickers-urged-to-avoid-foraging-books-on-amazon-that-appear-to-be-written-by-ai>.
- Mirna Servín. “Nanotecnología: un mundo a la medida”. Lunes En La Ciencia. *La Jornada* (México), el 19 de marzo de 2001.
<https://www.jornada.com.mx/2001/03/19/cien-galeria.html>.
- Munro, Ronald, Frank Gale, Carol Handwerker, y David R. (Ed.) Lide. “Quasicrystals”. En *A Century of Excellence in Measurements, Standards, and Technology*. NIST Special Publication. NIST, 2001. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/sp958-lide/cntsp958.htm>.

- Pauling, Linus. “Apparent Icosahedral Symmetry Is Due to Directed Multiple Twinning of Cubic Crystals”. *Nature* 317, núm. 6037 (1985): 512–14. <https://doi.org/10.1038/317512a0>.
- Shechtman, D., I. Blech, D. Gratias, y J. W. Cahn. “Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry”. *Physical Review Letters* 53, núm. 20 (1984): 1951–53. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.53.1951>.
- Solórzano Kraemer, Ricardo Atahualpa, y Alan Rodrigo Mendoza Sosa. “Cuasicristales: de universos paralelos a sombras multidimensionales”. *Revista Digital Universitaria* 25, núm. 3 (2024). <https://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.3.5>.
- Sosa, Alan Rodrigo Mendoza, Atahualpa S. Kraemer, Erdal C. Oğuz, y Michael Schmiedeberg. “Structural Studies of Local Environments in High-Symmetry Quasicrystals”. *Scientific Reports* 13, núm. 1 (2023): 16696. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42145-7>.
- Wang, Hao. “Games, Logic and Computers”. *Scientific American* 213, núm. 5 (1965): 98–107. JSTOR Journals.
- Zinsser, William. *Writing to Learn*. Harper Collins, 1989.