

Artículo / Article

Miscelánea
Miscellaneous section

LA IGNORANCIA DEL TODO. ORIENTACIONES DE LA FÍSICA CUÁNTICA HACIA UNA TEORÍA DEL TODO Y SU DESCONSIDERACIÓN CURRICULAR

THE IGNORANCE OF EVERYTHING. QUANTUM PHYSICS GUIDELINES TOWARDS
A THEORY OF EVERYTHING AND ITS DISREGARD IN THE CURRICULUM

Vicent García

Universitat de València, España
ORCID: 0000-0002-0468-6412
vicent.garcia@uv.es

Carles Hernández

Universitat de València, España
ORCID: 0009-0005-7753-6238
hcoscolla@gmail.com

Francesc J. Hernandez

Universitat de València, España
ORCID: 0000-0001-5229-2998
fjhernan@uv.es



| Resumen |

El artículo repasa las teorías científicas más actuales sobre el Todo, para hacer patente lo lejanas que están las enseñanzas actuales, en los ciclos obligatorios, de la exigencia de Comenio, padre de la didáctica, de que la enseñanza se ocupe de «los fundamentos, causas y metas de las más principales cosas que existen y ocurren». Esto exige una reforma radical de los currículos. El artículo repasa las teorías de Kulakov y sus discípulos, Garrett Lisi, Xiao-Gang Wen, Korompilias, Pitkänen, Oppenheim y Ashtekar y sus discípulos, ejemplos más recientes de las Teorías del Todo, y muestra cómo sus fundamentos son incomprensibles en los diseños curriculares actuales.

Palabras clave: Enseñanza; Física cuántica; Teoría de la relatividad; Teoría del todo.

| Abstract |

The article reviews the most current scientific theories on the Everything, in order to show how far current teaching, in compulsory cycles, is from the demand of Comenius, the father of didactics, that teaching should deal with 'the foundations, causes and goals of the most important things that exist and occur'. This calls for a radical reform of curricula. The article reviews the theories of Kulakov and his disciples, Garrett Lisi, Xiao-Gang Wen, Korompilias, Pitkänen, Oppenheim and Ashtekar and his disciples, more recent examples of Theories of Everything, and shows how their foundations are incomprehensible in current curriculum designs.

Keywords: Teaching; Quantum physics; Theory of Relativity; Theory of Everything.

| Introducción: Enseñar todo a todos y la restricción de Comenio |

«En las escuelas, todo se ha de enseñar a todos» (Comenius, 1876 [1657]: 57). Ello constituye el «arte» de la didáctica. Sin embargo, dada la proliferación de las disciplinas, Comenio advierte ya que aquella «pansofía» se ha de restringir a «los fundamentos, causas y metas de las más principales cosas que existen y ocurren» (ibid., 58). Este no parece ser el caso. Se reclaman reiteradamente incrementos de los currículums, sin que se suscite ni tan siquiera el debate sobre la restricción que proponía Comenio. ¿Cuáles son las más principales cosas que existen y ocurren?

La ciencia ha avanzado mucho en los últimos años en asuntos muy relevantes: se han elaborado detallados mapas cosmológicos con la radiación de fondo¹, se ha determinado el bosón de Higgs (AAVV, 2003) y se han medido ondas gravitacionales (Abbott, 2016); avances que tiene que ver con «las más principales cosas que existen y ocurren» y que, ni por asomo, se plantea que se incluyan en los diseños curriculares. ¿Cuál es la razón de esta desconsideración? ¿Es suficiente con decir que hay *dos culturas* (Snow, 1959) y que las personas responsables de la educación *no saben* de cosas de ciencias naturales? Este texto es una llamada de atención sobre este grave problema didáctico. Si el estudiantado no puede entender los avances de la ciencia, no es difícil suponer que caerá presa de la pseudociencia o en creencias sin fundamento racional.

Aquí lo que haremos será repasar algunas de las teorías cosmológicas más recientes que pretenden ser una Teoría del Todo. Con ello no se pretende hacer un tratado de ciencias naturales, sino más bien exponer las condiciones de su intelección para que el lector compruebe qué lejos están de las programaciones y los currículums habituales. Hay que advertir que, al chapotear en la ciencia más actual, no descartamos haber cometido algún lapsus de formulación o interpretación. Lo que pretendemos es que los docentes reflexionen sobre qué están enseñando y si ello corresponde a la ciencia actual o a una ciencia obsoleta, propia de décadas, cuando no de siglos, pretéritas. O incluso si al acumular más y más conocimientos que no se refieren a aquello que la ciencia establece como lo fundamental ¿no estamos lanzando a generaciones enteras hacia el

¹ Lo que incluso ha llevado a especular sobre el cosmos más allá del universo visible (Aurich et al. 2021).

irracionalismo, con las consecuencias ya conocidas históricamente de la intolerancia y la fanatización?

| Las ciencias y la ciencia del todo |

El ideal de la unificación

A partir de la unificación de la mecánica celeste y terrestre (distintas para Aristóteles y la ciencia antigua) realizada por Newton en 1687, se desarrollaron los intentos de establecer una ciencia unificada o «ciencia del todo». A mediados del siglo XIX, James Clerk Maxwell descubrió que la electricidad y el magnetismo eran dos facetas del electromagnetismo. Cien años después, el electromagnetismo se unificó con la fuerza nuclear débil que rige la radiactividad, en aquello que los físicos llaman la teoría electrodébil (un repaso exhaustivo en Quirantes 2018, Rovelli 2015 caps. 1-3).

Como ejemplo de esta pretensión unificadora encontramos la «jerarquía de las ciencias positivas» de Auguste Comte (1798-1857), expuesta en su *Curso de filosofía positiva*². La unificación de las ciencias era posible porque, para el pensador francés, formaban una especie de pirámide. En la base, se encontraba la matemática (aritmética y geometría); sobre ella, la astronomía, que era una especie de geometría dinámica, con trayectorias de cuerpos celestes que se percibían como prácticamente inextensos; sobre esta la física, que ya trataba con cuerpos extensos, pero sin que se alterara su composición interna; sobre esta, la química, donde cambiaban las composiciones; por encima, la biología, que sería una química de los seres vivos (la química orgánica); y como cúspide de la pirámide, la sociología, un neologismo que acuñó el mismo Comte. Podríamos afinar un poco más. Por ejemplo, John Stuart Mill, que en su juventud se consideró discípulo de Comte, pensaba que había que considerar la economía (en la época llamada economía política o economía nacional) como el intento más logrado de desarrollar la sociología. Pero sea como fuere, esta representación *piramidal* se mantuvo más o menos intacta, a pesar de dos autolimitaciones severas en su base.

En primer lugar, la matemática, o más concretamente su base aritmética, está restringida por los teoremas de incompletitud³ formulados por Kurt Gödel en 1930, que afectan a la pretensión de fundamentar lógicamente la aritmética. El primero afirma:

Cualquier sistema formal suficientemente poderoso y recursivamente enumerable es contradictorio o incompleto.

El segundo, que a veces se presenta como una concreción del primero, reza:

Cualquier sistema formal consistente y suficientemente poderoso no puede probar su propia consistencia.

² Un libro que la Iglesia católica incluyó en su *Índice de libros prohibidos*, por un decreto de diciembre de 1864.

³ *Incompletitud* o *incompletud* traduce el alemán *Unvollständigkeit*, sustantivo que significa la índole de aquello que es incompleto. Naturalmente es una expresión deficiente, porque lo que se viene a decir tal incompletud es que si es completo no puede ser consistente (sin contradicción) y viceversa.

Esto no invalida la matemática, simplemente restringe su capacidad para demostrarse a sí misma como un sistema formal. Stanley Jaki, en su libro de 1966 *The Relevance of Physics*, argumentó que, dado que cualquier «teoría del todo» debía ser una teoría matemática no trivial consistente, debería ser incompleta. Los autores que formulan «teorías del todo», como los que se explican a continuación, consideran que es suficiente con enunciar reglas subyacentes.

En segundo lugar, algo parecido sucede en la física con el principio de incertidumbre⁴ de Werner Heisenberg, formulado en 1927, según el cual dos propiedades complementarias de un sistema cuántico (como, por ejemplo, la posición y el momento –el producto de su masa por su velocidad–) no pueden tener valores determinados con precisión al mismo tiempo. Una formulación matemática de este principio es la siguiente:

$$\sigma_x, \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Lo que viene a significar que el producto de la desviación estándar de la medida de la posición (σ_x) y de la desviación estándar de la medida del momento (σ_p) necesariamente es igual o superior a un valor determinado, a saber, la llamada constante de Planck reducida ($\hbar$), dividida por dos⁵ (lo que también es una cantidad constante). Es decir, si queremos disminuir una de las dos desviaciones estándar, necesariamente nos aumentará la otra.

A pesar de estas restricciones, la matemática y la física moderna alumbraron la teoría de la relatividad (especial y general) y la mecánica cuántica (Rovelli, 2015). Incluso se diría que hay una especie de división de la física moderna en cuatro regiones adyacentes: la relatividad general explica lo muy grande, la relatividad especial lo muy rápido, la mecánica cuántica lo muy pequeño, y para la escala intermedia, la que nos resulta cotidiana, nos sirve la física newtoniana⁶. Pero entonces volvemos al problema que ya se planteó el filósofo árabe Algazel y el filósofo cristiano de Ramon Llull⁷ en la Edad Media: el saber del todo ha de ser uno, y no parece que aquella división de la tarea en cuatro regiones se pueda mantener, no solo por el argumento filosófico, sino incluso porque aparecen enigmas de difícil solución (el más célebre es el denominado experimento de la doble rendija: al hacer pasar un haz de electrones –luz– por una rendija doble, este adopta el patrón de ondas o de partículas en relación con la presencia de un observador; más adelante se comenta de nuevo).

Comprensión por analogía y ciencia

La comprensión por analogía (o metaforización) es un procedimiento clásico del conocimiento. Un ejemplo de analogía, con un innegable aire que recuerda la filosofía de

⁴ También en este caso es bueno referir el término original alemán. Se habla de *Unbestimmtheitsrelation*, es decir, relación de indeterminación, y también de *Unschärferelation*, relación de no nitidez; *scharf* es aquello que está afilado: como sucede con un cuchillo, no podemos afilarlo infinitamente.

⁵ $5,272 \times 10^{-35}$ J.s.

⁶ Así describe el error Baeyer 2019.

⁷ Castellanzado Raimundo Lulio, de donde deriva el adjetivo «luliano».

Llull, se encuentra en la relación entre el jazz y la cosmología, tal como la presenta el físico Stephon Alexander (2017). Este menciona el libro de Yusef Lateef *Repository of Scales and Melodic Patterns* y un diagrama de John Coltrane regaló a Lateef por su 61º cumpleaños, como una analogía con la cosmología más reciente y una combinatoria de cuartas y quintas musicales. Pero esto no es un modelo científico, sino una metáfora. También se pueden considerar analogías dos conceptos, relacionados con Martin Heidegger, que a veces son comentados en física cuántica. En primer lugar, su expresión «*Das Nichts nichtet*» (¿Qué es metafísica?), que se suele traducir como «la nada nadea», y que se dice que ha quedado refutada por la comprensión del bosón de Higgs. En segundo lugar, se ha denominado *daseinisation* al puente teórico entre el espacio de Hilbert y la física cuántica (Landsmann, 2017, 485 ss.), es decir, el procedimiento para que el formalismo cobre existencia. Ahora bien, aunque la expresión física guarda un aire de familia innegable con la filosofía heideggeriana, y concretamente con su noción de *Dasein* (literalmente: ser-ahí), esta connotación metafísica (u ontológica) es totalmente prescindible. Se trata, en definitiva, de la vieja cuestión filosófica de la existencia del universal, que tantos quebraderos de cabeza dio a la filosofía medieval (¿qué existencia tiene el nombre de la rosa?).

Dejando al lado estas consideraciones metafóricas (aunque en algún punto volveremos sobre ellas), a continuación haremos un repaso de los intentos de construir una teoría del todo, pero no como metaforización o analogía, sino como modelización científica.

Las «estructuras físicas» de Kulakov

No disponemos de muchos datos biográficos sobre Yury I. Kulakov. Sabemos que se formó con Ígor Tamm (1895-1971), quien fue galardonado con el premio Nobel de física en 1958⁸, y que a mediados de los años sesenta del siglo XX introdujo el término *estructura física* (o tal vez, lo adaptó, ya que aparece también en Ionín, que será mencionado más adelante), para describir una teoría matemática que permitiera la clasificación de leyes físicas o, mejor dicho, que posibilitara su *deducción*, algo así como una teoría de todas las leyes naturales y sociales.

El libro de referencia es *Elementos de la teoría de las estructuras físicas*, publicado en ruso en 1968. En el prólogo, Tamm escribe lo que sin duda es una declaración en la tradición *luliana*:

Es más prometedor buscar las «estructuras primarias» que la «materia primaria»: esta reformulación del problema de la unidad del mundo nos parece incomparablemente más ventajosa en el sentido lógico y respecto a las ciencias naturales. (cit. Guts et al., 2013: 127)

Tamm también cargó contra el lastre de la «visualidad». Según él, los pitagóricos ya pretendieron prescindir de esta «visualidad», pero la naturaleza sensual de la civilización

⁸ Por el descubrimiento del efecto Cherenkov. En la serie de la productora HBO sobre la catástrofe de Chernobil, puede verse como la población de la ciudad queda absorta por un sorprendente rayo de luz azul que emerge de la central nuclear. Ese es precisamente el efecto Cherenkov.

griega lo habría evitado. En realidad, prescindir de la «visualidad» se encuentra ya en el poema de Parménides sobre la naturaleza, del cual nos han llegado algunos fragmentos y, más exactamente, en las paradojas de su discípulo Zenón de Elea. Lo que quiere decir Tamm es simplemente lo que también afirmó Ramón Llull en su *Ars Magna*: hay que aplicar el intelecto para descifrar lo que forma su dispositivo combinatorio, sin pretender visualizarlo con ejemplos (sin pretender metaforizarlo, podríamos decir). Vayamos ya con la teoría de Kulakov.

En el libro mencionado de 1968 y en un artículo publicado tres años después, Kulakov propuso una teoría matemática para el concepto de *ley*, que intentaremos explicar a continuación.

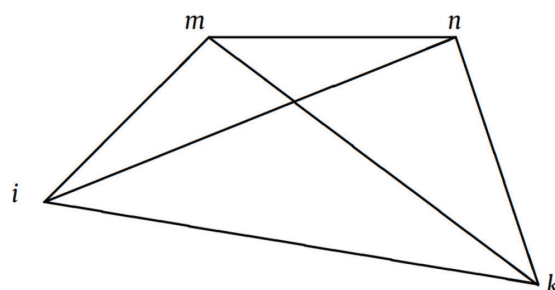
Comenzaremos con un sistema *unario* de relaciones fundamentales. Supongamos un conjunto $\mathcal{M} = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ de puntos ubicados arbitrariamente en un plano euclidiano. La cuestión es: ¿la ubicación arbitraria de los puntos corresponde a una ley que relacione todos esos puntos del conjunto $\mathcal{M}$? Para responder a esta pregunta hemos de contemplar los pares de puntos, es decir, medir la distancia (ℓ) entre todos ellos dos a dos (de manera que, por ejemplo, ℓ_{12} quiere decir la distancia entre el punto i_1 y el punto i_2). Se forma así una tabla cuadrada y simétrica (imagen 1), lo que matemáticamente se puede entender como una matriz y filosóficamente se remonta a Llull y Leibniz:

Imagen 1. Tomada de Simonov et al., 2014

	i_1	i_2	i_3	$\dots$	i_n
i_1	0	ℓ_{12}	ℓ_{13}	$\dots$	ℓ_{1n}
i_2	ℓ_{12}	0	ℓ_{23}	$\dots$	ℓ_{2n}
i_3	ℓ_{13}	ℓ_{23}	0	$\dots$	ℓ_{3n}
$\dots$	$\dots\dots\dots$				
i_n	ℓ_{1n}	ℓ_{2n}	ℓ_{3n}	$\dots$	0

Si el conjunto $\mathcal{M}$ tiene cuatro elementos⁹, como el de la imagen 2.

Imagen 2. Tomada de Simonov et al., 2014



⁹ Se prescinde de la posibilidad que $\mathcal{M}$ tenga dos elementos, cuya distancia arbitraria no permite identificar la ley, o tres elementos, ya que en este caso la distancia entre un punto y los otros dos no permite identificar la distancia entre estos.

Entonces las seis distancias (las líneas de la imagen 2) se pueden ubicar en una matriz (imagen 3), que, caso de haber una ley que relacione los puntos, presentará un determinante igual a cero¹⁰.

Imagen 3. Tomada de Simonov et al., 2014¹¹

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & \ell_{ik}^2 & \ell_{im}^2 & \ell_{in}^2 \\ 1 & \ell_{ik}^2 & 0 & \ell_{km}^2 & \ell_{kn}^2 \\ 1 & \ell_{im}^2 & \ell_{km}^2 & 0 & \ell_{mn}^2 \\ 1 & \ell_{in}^2 & \ell_{kn}^2 & \ell_{mn}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

Después de esta explicación, podemos exponer una formulación general de un sistema binario de relaciones fundamentales (donde se vinculan dos conjuntos de puntos).

Si tenemos dos conjuntos de puntos $i, k, m, n \in \mathcal{M}$ y $\alpha, \beta, \gamma, \delta \in \mathcal{M}$ en el plano euclideo y consideramos las distancias relativas entre los conjuntos de puntos (indicados con letras latinas y griegas), para cualquier conjunto de puntos existe una dependencia funcional entre sus distancias relativas si el determinante de Cayley-Menger es cero (véase la imagen 4).

Imagen 4. Kulakov 1995, cit. por Simonov et al., 2014

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \ell_{i\alpha}^2 & \ell_{i\beta}^2 & \ell_{i\gamma}^2 & \ell_{i\delta}^2 \\ 1 & \ell_{k\alpha}^2 & \ell_{k\beta}^2 & \ell_{k\gamma}^2 & \ell_{k\delta}^2 \\ 1 & \ell_{m\alpha}^2 & \ell_{m\beta}^2 & \ell_{m\gamma}^2 & \ell_{m\delta}^2 \\ 1 & \ell_{n\alpha}^2 & \ell_{n\beta}^2 & \ell_{n\gamma}^2 & \ell_{n\delta}^2 \end{vmatrix} = 0.$$

Kulakov y sus discípulos aportaron otras elaboraciones más especializadas, algunas relativas al contexto matemático ruso. Por ejemplo, propusieron el sistema algebraico de Kulakov como una ampliación de la presentación de los grupos matemáticos

¹⁰ El determinante de una matriz, o determinante Cayley-Menger, es un número que asociamos a una matriz cuadrada —con igual número de filas y de columnas— y que se obtiene con determinadas operaciones matemáticas. Por ejemplo, en el caso de una matriz de dos filas y dos columnas, el determinante es el valor del producto de la diagonal principal (es decir, la multiplicación del valor que está en la primera fila y en la primera columna por el valor de la segunda fila y la segunda columna) menos el producto de la diagonal secundaria (el valor de la primera fila y la segunda columna por el valor de la segunda fila y la primera columna).

¹¹ Suponemos que es una práctica habitual en la matemática rusa añadir la primera fila y la primera columna con valores 1, menos el valor de la diagonal que es 0. Este tiene una explicación sencilla: toda la diagonal ha de ser 0 porque es la distancia de un punto a sí mismo. Como la matriz es simétrica, en realidad solo hay seis valores diferentes (marcados con la letra ℓ y sus subíndices).

abstractos (y los grupos matemáticos serán muy importantes en lo que sigue) como estructuras físicas que había realizado V. K. Ionin (teorema de Ionin) (cf. Neshchadim & Simonov, 2021), ampliaron la consideración de las *estructuras físicas* de Kulakov también a geometrías no euclidianas, como las geometrías de curvatura constante de Lobachevski o Riemann¹². Y también consideraron las posibilidades de las *estructuras físicas* no solo a los sistemas *unario* y *binario*, como se ha expuesto anteriormente, sino a cualquier sistema *n-ario* (una propuesta de Mikhaïlichenko que, debido a su muerte, desarrollaron Neshchadim & Simonov, 2023).

Sin embargo, nuestro interés se centra en cómo aquella matriz (la de la imagen 4), con sus ampliaciones, puede dar cuenta de la realidad. Efectivamente, Kulakov y sus discípulos expusieron algunos ejemplos de estas deducciones, como la segunda ley de la dinámica de Newton, que establece que la aceleración de un móvil es directamente proporcional a la fuerza que se ejerce sobre él, y que por tanto se puede traducir en una ecuación si se multiplica la aceleración por una constante, denominada masa ($F = m.a$), o la ley de Ohm, que relaciona la tensión de un circuito eléctrico con la intensidad de la corriente y la resistencia ($\mathcal{E} = \mathcal{I}.\mathcal{R}$) (Simonov, Kulakov & Vityaev, 2014: 14).

Más allá de las leyes naturales, las relaciones de Kulakov también se han aplicado a las relaciones sociales, tanto a las relaciones de la microeconomía (M. A. Dobrenko y A. K. Guts), como a las relaciones de la macroeconomía o, incluso, a la formalización de las relaciones entre los sexos (Guts, et al., 2013, 129-147¹³).

Para concluir estas notas sobre las estructuras fundamentales de Kulakov, es preciso hacer tres puntualizaciones.

La primera es que, como en el caso del filósofo medieval Llull, Kulakov también considera que se da una unificación entre la ciencia y el discernimiento o la experiencia espiritual (Kulakov, 1998).

En segundo lugar, a pesar de los esfuerzos de Kulakov y sus discípulos por ampliar lo que podríamos denominar el álgebra de las estructuras fundamentales, tal vez su pretensión entre en colisión con otra corriente importante de la matemática rusa, que también presenta aspiraciones de ir más allá en su descripción de la realidad, como es la ciencia del caos, lo que constituiría una disciplina que denominan *sinérgica* (p. ej., Osipov, 2003; Trubetskov, 2013).

Por último, no hemos encontrado textos que amplíen las estructuras de Kulakov a la mecánica cuántica, lo que sí que sucede en el resto de teorías del todo que explicaremos a continuación.

¹² Las geometrías curvas se caracterizan por alejarse del quinto euclidiano, el de las paralelas (si una recta al cortar otras dos rectas describe ángulos internos del mismo lado menores que dos ángulos rectos, las dos rectas prolongadas indefinidamente se encontrarán en el lado en el que están los ángulos menores que dos rectos).

¹³ Los autores echan en falta las fórmulas en los libros de sociología del género y explican cómo el índice de disimilitud de Duncan es un caso de las estructuras fundamentales de Kulakov (ibid., p. 138).

La teoría del todo de Garrett Lisi

Introducción: el grupo de Lie E_8

A pesar de que A. Garrett Lisi presenta su teoría como algo «excepcionalmente simple» (Lisi, 2007), su comentario aquí requiere explicaciones previas.

En primer lugar, nos remontaremos al 19 de marzo de 2007¹⁴. Ese día, en una rueda de prensa en el MIT, el matemático David Vogan presentó uno de los resultados de un proyecto en el que una veintena de investigadores habían trabajado durante cuatro años. El proyecto *Atlas de los Grupos de Lie y Representaciones* había realizado el mapeo del denominado E_8 . ¿Qué es E_8 ? Como se ha dicho, es un grupo de Lie, pero hemos de añadir más explicaciones.

En álgebra, un *grupo* es una estructura algebraica definida por un conjunto y una operación sobre los elementos de ese conjunto, de manera que, si tomamos dos elementos del conjunto y aplicamos la operación, obtenemos otro (1ª condición). Piénsese, por ejemplo, en el conjunto de los números enteros y la operación suma. Además, el conjunto ha de incluir un elemento neutro (2ª condición), el elemento simétrico o inverso de cada elemento (3ª condición) y la operación ha de verificar la propiedad asociativa (4ª condición)¹⁵.

En 1870, el matemático noruego Sophus Lie introdujo los grupos que llevan su nombre, que se componen de unos elementos, que se denominan raíces, y una operación, llamada corchete (por el signo tipográfico: []) de Lie. Por ejemplo, podemos imaginar el espacio de todas las matrices 2×2 (lo que supone un espacio de cuatro dimensiones) y la operación corchete de Lie: $[X, Y] = XY - YX$. Cada sistema de raíces está asociado a una, denominada, álgebra de Lie.

Los sistemas de raíces fueron clasificados por Wilhelm Killing en la década de 1890. Encontró 4 clases infinitas de álgebras de Lie, denominadas A_n , B_n , C_n y D_n , donde $n=1,2,3...$ También encontró cinco más excepcionales: G_2 , F_4 , E_6 , E_7 y E_8 . La que nos interesa aquí es E_8 que, como se ha dicho, fue *mapeada* en 2007.

Antes de explicar qué es E_8 en concreto, hay que dar una idea de la dimensión de su *atlas*. La persona que lee puede imaginar una matriz cuadrada (una tabla) inmensa con 453.060 filas y el mismo número de columnas, lo que produce 205.263.363.600 celdas, en cada una de las cuales hay un polinomio, de manera que en total hay 1.181.642.979 polinomios distintos¹⁶.

Pues bien, E_8 es un sistema de raíces formado por un espacio vectorial de 8 dimensiones que satisface ciertas propiedades. Consta de todos los vectores (llamados raíces) (a_1 , a_2 ,

¹⁴ <https://www.aimath.org/E8/>

¹⁵ Las cuatro condiciones, en el caso citado, se cumplirían en los ejemplos: 1ª condición: $-3+4=1$; 2ª condición: $5+0=5$; 3ª condición: $-2+2=0$; 4ª condición: $(3+4)-2=3+(4-2)$.

¹⁶ El que presenta un coeficiente mayor es: $152 q^{22} + 3.472 q^{21} + 38.791 q^{20} + 293.021 q^{19} + 1.370.892 q^{18} + 4.067.059 q^{17} + 7.964.012 q^{16} + 11.159.003 q^{15} + 11.808.808 q^{14} + 9.859.915 q^{13} + 6.778.956 q^{12} + 3.964.369 q^{11} + 2.015.441 q^{10} + 906.567 q^9 + 363.611 q^8 + 129.820 q^7 + 41.239 q^6 + 11.426 q^5 + 2.677 q^4 + 492 q^3 + 61 q^2 + 3 q$

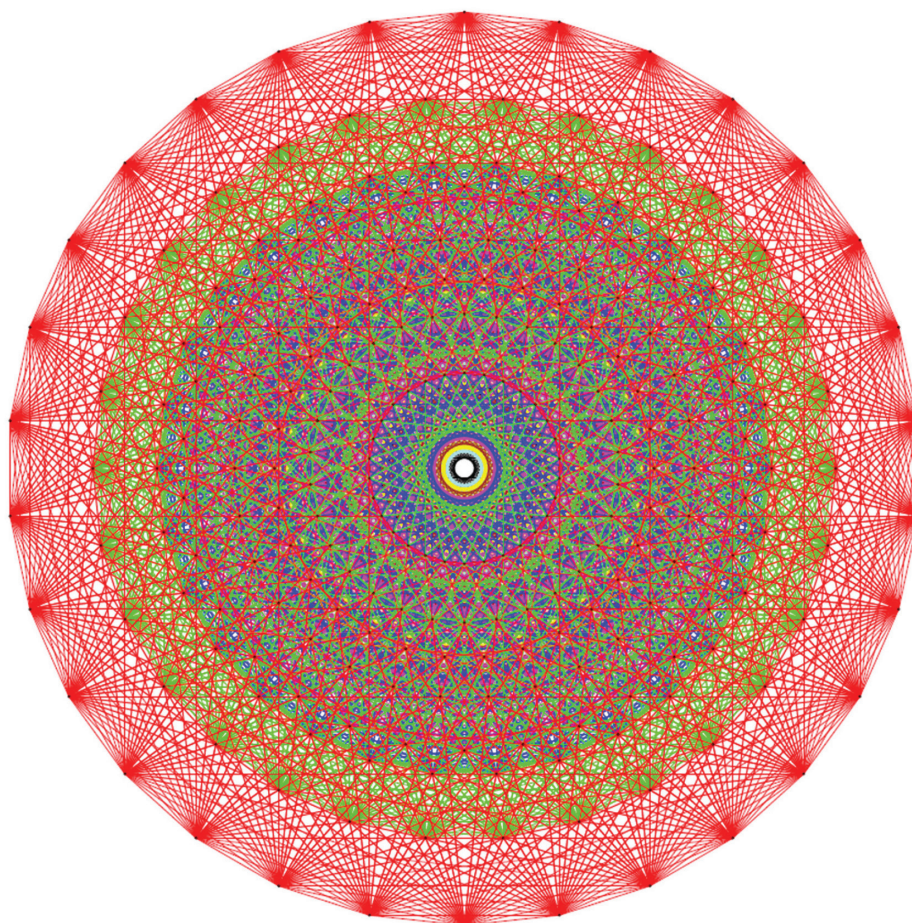
$a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$) donde todos los a_i son números enteros o todos los a_i son números enteros más $1/2$, la suma es un número entero par y la suma de los cuadrados es 2.

Un ejemplo con todos los números enteros es $(-1,0,1,0,0,0,0,0)$ (hay 112 de estos) y un ejemplo con semienteros es $(1/2, 1/2, -1/2, -1/2, -1/2, 1/2, 1/2, -1/2)$ (hay 128 de estos). E_8 tiene 240 raíces. El 8 del subíndice hace referencia a que existen 8 coordenadas.

A este sistema de raíces asociamos un álgebra de Lie, a saber, el espacio vectorial definido por el sistema de raíces mencionado más la operación corchete de Lie. Se forma así un álgebra con 248 dimensiones (las 8 más una coordenada por cada una de las 240 raíces, es decir aquellos $112+128$). El álgebra y el grupo de Lie E_8 fueron estudiados por Elie Cartan en 1894.

A partir de este sistema de raíces, podemos obtener todas las sumas que proporcionan coeficientes enteros. Se forma así una *red de raíces*, que tiene propiedades geométricas notables. Una representación de esta red, que naturalmente la simplifica al *aplanar* todas sus dimensiones en solo dos, se encuentra en la imagen 5.

Imagen 5. E_8 , elaboración de Peter McMullen en <https://www.aimath.org/E8/mcmullen.html>



Adviértase que E_8 es, por un lado, un álgebra, es decir, tiene que ver con un cálculo que se puede hacer con números complejos, y por otra parte, una geometría.

La teoría excepcionalmente simple de Garrett Lisi

Antes de que E_8 fuera mapeado ya había atraído la atención de la física de las partículas elementales, en concreto de algunas formulaciones de la teoría de cuerdas¹⁷. Pero fue Garrett Lisi el que, poco después de la presentación del *atlas*, formuló la que denominó *excepcionalmente simple (sic) teoría del todo*, mediante la publicación de un *paper* en un repositorio digital el 7 de noviembre de 2007. Se explicará la teoría de Garrett Lisi a partir de este *paper* (Lisi, 2007) y de una versión de divulgación publicada en *Scientific American* (Lisi & Weatherall, 2010). Antes de entrar en materia, la persona que lee ha de tener presente los cuatro tipos de fuerzas y la nómina de 24 partículas elementales (12 fermiones: 6 cuarks y 6 leptones; 12 bosones: 8 gluones, el fotón, los bosones Z y W y el bosón de Higgs), que se sintetizan en las tablas 1 y 2¹⁸.

Tabla 1. Las cuatro fuerzas

Tipo de fuerza	Características	Transmisores de fuerzas
Interacción fuerte (Atractiva, aunque puede ser repulsiva en algunas circunstancias)	Muy fuerte, pero de corto alcance (rango de 10^{-15} m). Mantiene unidos los núcleos de los átomos.	Gluones que actúan sobre <i>cuarks</i> .
Electromagnética (Atractiva o repulsiva)	De largo alcance, pero mucho más débil que la interacción fuerte.	Fotones Bosones Z, W+ y W- Que actúan sobre los <i>leptones</i>
Interacción débil	Tiene un alcance muy corto y es muy débil. Responsable de la desintegración radiactiva (la emisión de partículas α , β y γ) y de las interacciones entre neutrinos. ¹⁹	
Fuerza gravitatoria (Atractiva)	Débil, pero de muy largo alcance	

Tabla 2. Las 24 partículas elementales

		Fermiones (materia; espín semientero)			Bosones (transmisores de fuerzas; espín entero 1 o 0)	
		I generación	II generación	III generación	vectoriales	escalares
cuarks	2/3	c. arriba	c. encantado	c. cima	gluon	b. de higgs
	-1/3	c. abajo	c. extraño	c. fondo	fotón	
leptones	-1	electrón	muón	tauón	bosón Z	
	0	neutrino electrónico	neutrino muónico	neutrino tauónico	bosón W (W+, W-)	

Más que el propio *abstract* del texto, es el último párrafo del *paper* de Lisi (2007: 29) el que mejor sintetiza su pretensión:

La teoría propuesta en este artículo representa un programa de unificación integral, que describe todos los campos del modelo estándar y la gravedad como

¹⁷ La teoría de cuerdas parece actualmente altamente cuestionada. El físico holandés Gerardus 'tHooft afirma que ni tan siquiera tiene el rango de teoría (cf. Quirantes 2018, Hassenfeder 2019).

¹⁸ En general, seguimos el Apéndice A de Hassenfeder 2019 y Noël 2023.

¹⁹ Se cree que a temperaturas alrededor de 10^{15} grados Kelvin, las fuerzas débil y electromagnética se fusionan en una única fuerza electrodébil.

partes de una estructura matemática excepcionalmente hermosa. La conexión del fibra principal y su curvatura describen cómo la variedad E_8 gira y gira en el espacio-tiempo, reproduciendo todos los campos y dinámicas conocidos a través de geometría pura. [...] Si la teoría E_8 tiene pleno éxito como teoría del todo, nuestro universo tendrá una forma excepcionalmente hermosa.

Aquí, Lisi habla de «variedad E_8 »²⁰ y de «conexión de fibra» (que se refiere a una construcción matemática denominada «fibra vectorial», ya introducida por el matemático Hermann Weyl en 1918). Según Lisi y Weatherall (2010), cada punto del espacio-tiempo tiene unas formas unidas a él, llamadas *fibras* (no confundir con las *cuerdas*). El objeto geométrico completo (espacio-tiempo y fibras) se denomina *haz de fibras*.

Los campos eléctricos y magnéticos son el resultado de fibras con la forma más simple: el círculo [llamado $U(1)$ en Física], el ejemplo más simple de un grupo de Lie, con una única simetría (si giramos el círculo, permanece igual).

Como los giros deben encontrarse alrededor del círculo, estas cargas son múltiplos enteros de alguna unidad estándar de carga eléctrica. De las partículas de materia elementales, llamadas fermiones, los electrones tienen carga eléctrica -1 (tres giros), los cuarks arriba tienen carga eléctrica $+2/3$ (dos giros opuestos), los cuarks abajo tienen carga eléctrica $-1/3$ (un giro) y los neutrinos tienen 0. Las partículas de antimateria, como los positrones y los anticuarks, tienen giros en la dirección opuesta alrededor del círculo electromagnético, lo que les da cargas eléctricas opuestas. (Lisi y Weatherall, 2010)

Cuando las partículas chocan pueden convertirse en nuevos tipos: las cargas y las torsiones se suman y así surgen las fuerzas nucleares fuertes y débiles.

La fuerza débil está asociada con una *fibra* tridimensional del grupo de Lie llamada $SU(2)$ (cf. Lisi y Weatherall, 2010). En el modelo estándar, la fuerza nuclear fuerte que une los quarks en núcleos atómicos corresponde geoméricamente a un grupo de Lie aún mayor, $SU(3)$.

La fibra $SU(3)$ es un espacio interno de ocho dimensiones compuesto por ocho conjuntos de círculos que se retuercen entre sí en un patrón intrincado, produciendo interacciones entre ocho tipos de partículas similares a fotones llamadas gluones debido a cómo «pegan» los núcleos. Por muy complicada que sea la forma de esta fibra, podemos dividirla en pedazos comprensibles. Incrustado en su interior hay un toro formado por dos conjuntos de círculos sin torcer, correspondientes a dos generadores, g^3 y g^8 . Los seis generadores de gluones restantes giran alrededor de este toro, y sus cargas g^3 y g^8 resultantes forman un hexágono en el diagrama de pesos.

Las fibras de quark se enrollan alrededor de este grupo de Lie $SU(3)$, y sus fuertes cargas forman un triángulo en el diagrama de pesos. Estos quarks están capri-

²⁰ «El grupo de Lie E_8 tiene tres formas reales. La que interesa a Lisi es la que corresponde a la forma real escindida $E_8(8)$ del álgebra de Lie compleja E_8 . Es no compacta y su dimensión es también 248».

chosamente etiquetados con tres colores: rojo, verde y azul. Una colección de fibras de materia que forman un patrón completo, como tres quarks en un triángulo, se denomina representación del grupo de Lie. La colorida descripción de las interacciones fuertes se conoce como teoría de la cromodinámica cuántica. (Lisi y Weatherall, 2010)

Véase la imagen 6.

Imagen 6. Garrett 2007 p. 5 (Tabla 1)

G_2	V_β	g^3	g^8
● $g^{r\bar{g}}$	$(T_2 - iT_1)$	1	0
● $g^{\bar{r}g}$	$(-T_2 - iT_1)$	-1	0
● $g^{r\bar{b}}$	$(T_5 - iT_4)$	1/2	$\sqrt{3}/2$
● $g^{\bar{r}b}$	$(-T_5 - iT_4)$	-1/2	$-\sqrt{3}/2$
● $g^{\bar{g}b}$	$(-T_7 - iT_6)$	1/2	$-\sqrt{3}/2$
● $g^{g\bar{b}}$	$(T_7 - iT_6)$	-1/2	$\sqrt{3}/2$
▲ q^r	$[1, 0, 0]$	1/2	$1/2\sqrt{3}$
▼ $\bar{q}^r$	$[1, 0, 0]$	-1/2	$-1/2\sqrt{3}$
▲ q^g	$[0, 1, 0]$	-1/2	$1/2\sqrt{3}$
▼ $\bar{q}^g$	$[0, 1, 0]$	1/2	$-1/2\sqrt{3}$
▲ q^b	$[0, 0, 1]$	0	$-1/\sqrt{3}$
▼ $\bar{q}^b$	$[0, 0, 1]$	0	$1/\sqrt{3}$

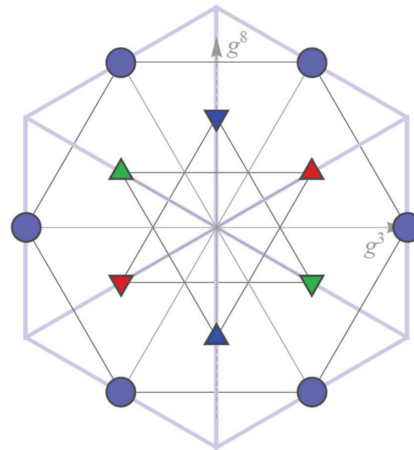
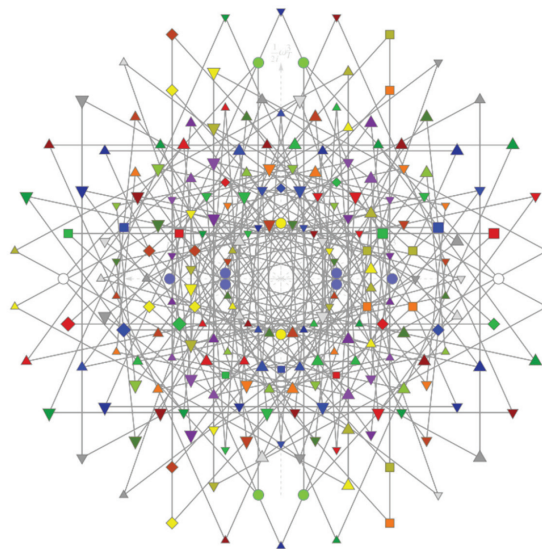


Table 1: The $su(3)$ weight vectors and weight coordinates of the gluon, quark, and anti-quark weights form the G_2 root system.

En la primera formulación, Lisi (2007) introdujo la figura siguiente (imagen 7):

Imagen 7. Garrett 2007 p. 17



Entre esta figura y la introducción de E_8 , presenta una serie de *figuras intermedias* (tablas 2-6 del *paper*) que van integrando y relacionando las diversas fuerzas. En la presentación posterior (Lisi y Weatherall, 2010), menos compleja, se recurre al movimiento de espín de las partículas.

El grupo Spin (11,3) Lie permite bloques de 64 fermiones y, sorprendentemente, predice perfectamente sus cargas de espín, electrodébiles y fuertes. También incluye automáticamente un conjunto de bosones de Higgs y el marco gravitacional; de hecho, están unificados como generadores de «marco-Higgs» en Spin (11,3). La curvatura del haz de fibras Spin (11,3) describe correctamente la dinámica de la gravedad, las otras fuerzas y el Higgs. Incluso incluye una constante cosmológica que explica la energía oscura cósmica. Todo encaja. [...]

Es decir, lo que presenta Lisi es una teoría en la que, según él, las otras encajan, como una muñeca rusa de dimensión mayor.

Así como E6 contiene la estructura de la Gran Teoría Unificada del Spin(10), con sus 16 fermiones, el grupo de Lie E8 contiene la estructura de la Gran Teoría Unificada Gravitacional del Spin (11,3), con sus 64 fermiones del Modelo Estándar, incluidos sus giros. De esta manera, la gravedad y otras fuerzas conocidas, el Higgs y una generación de fermiones del modelo estándar son partes del campo de superconexión unificado de un haz de fibras E8.

El grupo E8 Lie, con 248 generadores, tiene una estructura maravillosamente compleja. Además de la gravedad y las partículas del modelo estándar, E8 incluye los bosones W', Z' y X, un rico conjunto de bosones de Higgs, nuevas partículas llamadas fermiones espejo y axiones, un candidato a materia oscura cósmica. Aún más intrigante es una simetría de E8 llamada trialidad. Utilizando la experimentalidad, los 64 generadores de una generación de fermiones del Modelo Estándar se pueden relacionar con otros dos bloques de 64 generadores. Estos tres bloques podrían entremezclarse para reproducir las tres generaciones de fermiones conocidos. (Lisi y Weatherall, 2010)

La figura con los generadores y las 248 partículas previstas es la imagen 8 (el número 248 es la suma de la columna de la derecha).

Imagen 8. Garrett 2007 p. 16 (table 9)

E8	$\frac{1}{2}\omega_7^3$	$\frac{1}{2}\omega_8^3$	U^3	V^3	w	x	y	z	F4	G2	#
 $\omega_L^{\wedge V} \omega_R^{\wedge V}$	± 1	± 1	0	0	0	0	0	0	$D2_G$	1	4
 $W^\pm B_1^\pm$	0	± 1	± 1	0	0	0	0	0	$D2_{ew}$	1	4
 $e\phi_+ e\phi_- e\phi_1 e\phi_0$	± 1	± 1	0	0	0	0	0	0	4×4	1	16
 $\nu_{eL} e_L \nu_{eR} e_R$	$\pm 1/2 \dots$	even#>0	-1/2	-1/2	-1/2	-1/2	-1/2	-1/2	8_{S+}	1	8
 $\bar{\nu}_{eL} \bar{e}_L \bar{\nu}_{eR} \bar{e}_R$	$\pm 1/2 \dots$	even#>0	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	8_{S+}	$\bar{1}$	8
 $u_L d_L u_R d_R$	$\pm 1/2 \dots$	even#>0	-1/2	$\pm 1/2 \dots$	two>0	0	0	0	8_{S+}	q_I	24
 $\bar{u}_L \bar{d}_L \bar{u}_R \bar{d}_R$	$\pm 1/2 \dots$	even#>0	1/2	$\pm 1/2 \dots$	one>0	0	0	0	8_{S+}	$\bar{q}_I$	24
 $\nu_{\mu L} \mu_L \nu_{\mu R} \mu_R$	$\pm 1/2 \dots$	odd#>0	-1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	8_{S-}	1	8
 $\bar{\nu}_{\mu L} \bar{\mu}_L \bar{\nu}_{\mu R} \bar{\mu}_R$	$\pm 1/2 \dots$	odd#>0	1/2	-1/2	-1/2	-1/2	-1/2	-1/2	8_{S-}	$\bar{1}$	8
 $c_L s_L c_R s_R$	$\pm 1/2 \dots$	odd#>0	1/2	$\pm 1/2 \dots$	two>0	0	0	0	8_{S-}	q_I	24
 $\bar{c}_L \bar{s}_L \bar{c}_R \bar{s}_R$	$\pm 1/2 \dots$	odd#>0	-1/2	$\pm 1/2 \dots$	one>0	0	0	0	8_{S-}	$\bar{q}_I$	24
 $\nu_{\tau L} \tau_L \nu_{\tau R} \tau_R$	± 1	0	0	0	0	0	0	0	8_V	1	8
 $\bar{\nu}_{\tau L} \bar{\tau}_L \bar{\nu}_{\tau R} \bar{\tau}_R$	± 1	-1	0	0	0	0	0	0	8_V	1	8
 $t_L b_L t_R b_R$	± 1	0	0	0	0	0	0	0	8_V	q_{II}	24
 $\bar{t}_L \bar{b}_L \bar{t}_R \bar{b}_R$	± 1	0	0	0	0	0	0	0	8_V	$\bar{q}_{II}$	24
 g	0	0	0	0	1	-1	0	0	1	A2	6
 $x_1\Phi$	0	0	-1	± 1	0	0	0	0	1	q_{III}	6
 $x_2\Phi$	0	0	1	± 1	0	0	0	0	1	q_{III}	6
 $x_3\Phi$	0	0	0	$\pm(1 \ 1)$	0	0	0	0	1	q_{III}	6

Table 9: The 240 roots of E8 assigned elementary particle labels according to F4 and G2 subgroups.

La imagen 7 anterior si es *rotada* proporciona otras como las dos siguientes, la imagen 9 y la imagen 10²¹ (de la misma manera que si fotografiamos un cubo desde un lado obtendremos un cuadrado porque *aplanamos* una dimensión).

Imagen 9. Garrett 2007 p. 19 (Figure 3)

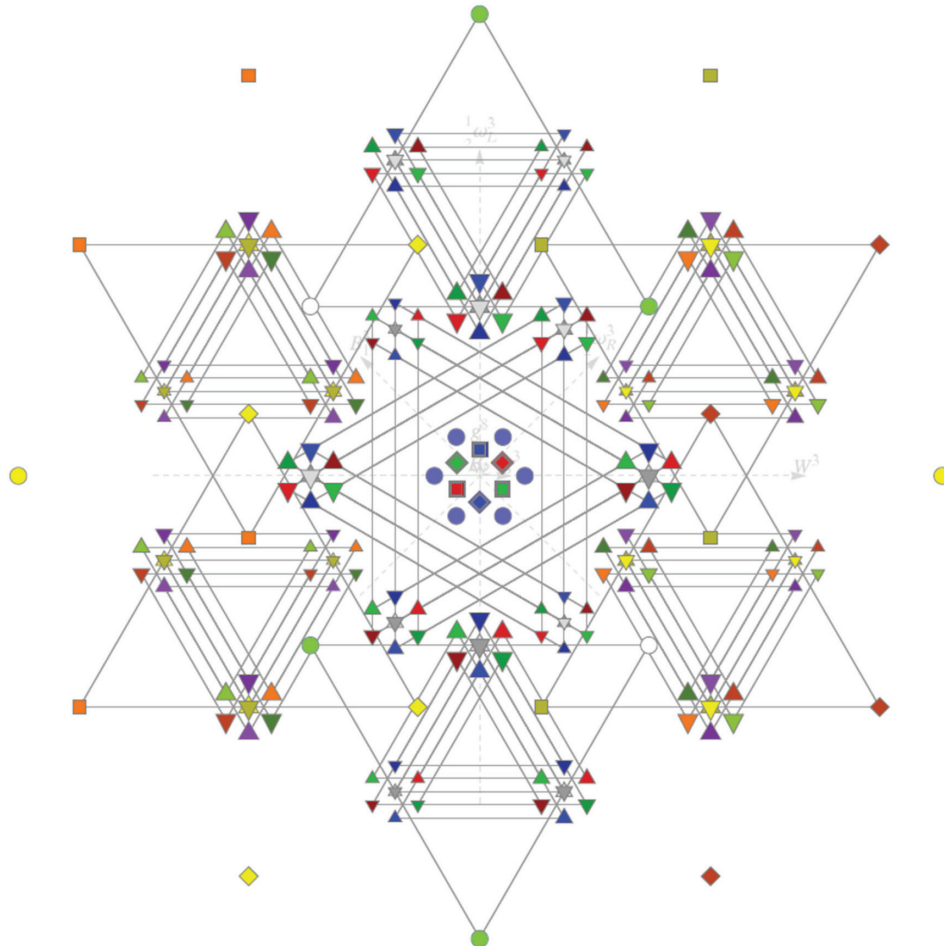


Figure 3: The E_8 root system, rotated a little from F_4 towards G_2 .

Críticas

El aire de familia de los pronósticos de Garrett Lisi con una filosofía combinatoria de matriz idealista (como la de Ramon Llull, Leibniz o Hegel) es incuestionable:

Si la teoría E_8 es correcta, es probable que el Gran Colisionador de Hadrones detecte algunas de las partículas predichas. Si, por el contrario, el colisionador detecta nuevas partículas que no se ajustan al patrón de E_8 , eso podría ser un golpe fatal para la teoría. En cualquier caso, cualquier partícula que los experimentadores descubran ocupará su lugar en un diagrama de peso, lo que nos llevará hacia alguna estructura geométrica en el corazón de la naturaleza. Y si

²¹ Más aún todavía si se observa la versión dinámica, que puede descargarse de:
<http://differentialgeometry.org/anim/e8rotation.mov>

Imagen 10. Garrett 2007 p. 20 (Figure 4)

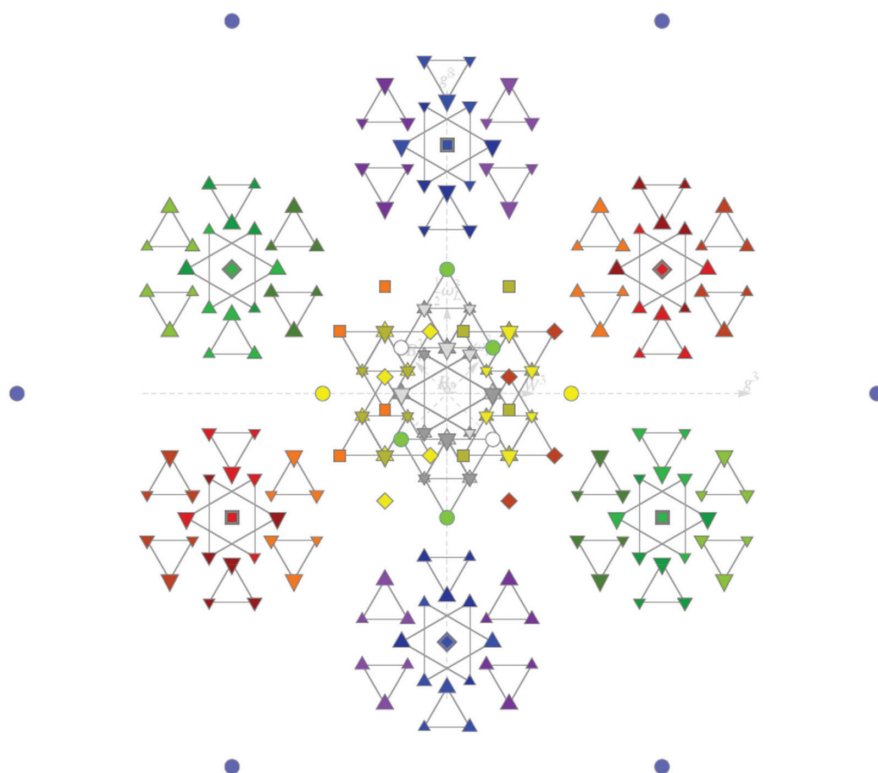


Figure 4: The E_8 root system, rotated a little from G_2 towards F_4 , showing E_6 .

la estructura del universo en las diminutas escalas de partículas elementales resulta ser descrita por E_8 , con sus 248 conjuntos de círculos envolviéndose unos alrededor de otros en un patrón exquisito, retorciéndose y bailando sobre el espacio-tiempo de todas las formas posibles, entonces habremos logrado una unificación completa y tendremos la satisfacción de saber que vivimos en un universo excepcionalmente hermoso. (Lisi y Weatherall, 2010)

Aquí aparece el primer problema de la teoría: el Gran Colisionador de Hadrones (conocido por las siglas LHC) no ha encontrado ninguna de las partículas predichas. En realidad, más allá de medir la masa del bosón de Higgs, LHC no ha descubierto gran cosa. Sabine Hassenfeder (2019) se ha mostrado muy crítica. Su argumento es, más o menos, el siguiente. Los físicos teóricos formulan cientos de teorías, que no pueden ser verificadas. La selección de aquellas que permitirán diseños para su verificación, de los que se encargan los físicos experimentales, usa criterios (como la *naturalidad*, la *belleza*, etc.), que no corresponden estrictamente al método científico. En la mayor parte de los casos, más que ser refutadas, las teorías simplemente no pueden ser confirmadas. Pero esto conduce a pensar que tal vez con un colisionador de mayor potencia podrían serlo. De este modo, la física se encamina a una especie de huida hacia adelante, que merece ser revisada. Por ello, que el LHC no encuentre las partículas del modelo de Lisi no es una refutación definitiva, como no lo sería que encontrara alguna no predicha, porque se podría incluir en el «paraguas» de E_8 .

Un segundo problema de la teoría de Lisi, también señalado por Hassenfeder (2019), es el escaso impacto que ha tenido en otros físicos teóricos²². Esto tampoco es un argumento definitivo en contra, teniendo en cuenta que Lisi no ocupa un puesto académico y trabaja como investigador independiente (además de dedicarse al surf), y que, como recoge Noël (2023: 127) algunos matemáticos, como Bert Konstant, se han mostrado interesados por el desarrollo.

Un tercer frente de críticas tiene que ver con la incompletud de su teoría (que reconoce el propio autor), en particular con su deducción de la tercera generación de fermiones (Noël, 2023: 127), y con la deficiencia de los desarrollos matemáticos. Distler y Garibaldi (2009) critican que algunas propiedades de la teoría de la representación requieren una realidad física (y no solo una argumentación matemática). Allen Knutson (cit. Noël, 2023: 128) también realiza críticas muy especializadas al uso que hace Lisi del grupo E_8 . El mismo Lisi parecía consciente del hecho de que su teoría entraba en contradicción con el Teorema de Coleman-Mandula. Este teorema viene a decir que un grupo de Lie que contenga un grupo de Poincaré y un grupo interno de simetrías es el producto de ambos y por tanto no se puede encontrar un grupo mayor que los unifique, por lo que se cercena esta posibilidad de introducir los grupos en una *muñeca rusa* mayor. Este problema condujo a la hipótesis de la supersimetría de las partículas elementales, pero esta no se encuentra tampoco exenta de problemas (sobre las críticas a la supersimetría, cf. Hassenfeder 2019, *passim*), que son soslayados en las teorías de los qubits, que se comentarán más adelante.

Con todo, Noël concluye: «Me alegra mucho ver que [Lisi] sigue muy involucrado en la física y que parece estar en paz con el Universo».

El cubitismo

En los siglos XVII y XVIII se produjo un debate filosófico que parece reproducirse, en cierto sentido, en las teorías del todo que se exponen aquí. El racionalismo (y se pueden considerar racionalistas, tanto las teorías de Leibniz, como las de Kulakov o Lisi) partía de elaboraciones intelectuales, de constructos de la razón, para alcanzar por deducción la explicación de la realidad. Pero entre el sujeto y el objeto, entre el yo y en mundo, parecía abrirse un abismo que era preciso salvar. Es lo que se ha aludido con la necesidad que señaló Lull de que sus figuras combinatorias *debían* corresponder a alguna cosa creada. Y también es lo que subyace en la crítica matemática de Distler y Garibaldi, ya mencionada, a Lisi. Por ello, frente al racionalismo surgió el empirismo filosófico, que pretendía recorrer el camino contrario: partir del elemento más simple del mundo para proceder mediante inducción hasta las formas racionales más complejas. En el caso del empirismo, aquella forma elemental era la sensación asociada a la experiencia; de este modo no se planteaba el problema de alcanzar el mundo, que estaba presente desde el inicio. Algo semejante sucede con las teorías del todo: si se parte de lo más simple del mundo, la teoría puede remontarse hasta el todo. Pero ¿qué es lo más simple? La respuesta en el siglo XXI ya no es la sensación asociada a la experiencia (como diría

²² Según Google Scholar, el artículo se ha reproducido en 27 versiones, con 234 citas y 52 artículos relacionados. [Consulta 2/7/2024].

Locke o Hume) sino la unidad básica de información: el bit, considerado ahora como *bit cuántico*, *cubit*, *qubit* o *qbit*.

Del bit al cubit

Las siguientes teorías del todo que se expondrán precisan una explicación sobre el concepto cubit (o bit cuántico).

Se debe a Thomas S. Kuhn, en su obra clásica *La estructura de las revoluciones científicas* (Kuhn, 2011) la distinción entre *enigmas* y *anomalías*. La ciencia habitualmente resuelve *enigmas*, pero algunos cobran una importancia especial y son los que promueven cambios *paradigmáticos*. ¿Por qué en la superficie lunar, que según la física clásica era una superficie cristalina perfecta, se apreciaban irregularidades cuando era contemplada por un telescopio? ¿Por qué este mismo artilugio permitía observar fases en el planeta Venus? ¿Por qué Michelson y Morely no pudieron verificar con su diseño experimental que la velocidad de la luz era diferente en las diversas direcciones según fuera comprimido el (supuesto) éter atmosférico por el movimiento del planeta Tierra? Estos enigmas se convirtieron en anomalías.

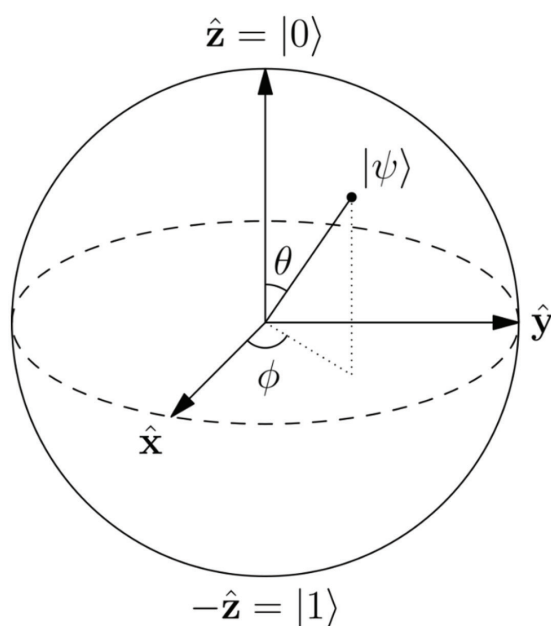
En sus lecciones sobre Física en el Tecnológico de California, Richard Feynman (vol. III, *Mecánica cuántica*) determina cuál es el enigma fundamental (cf. Feynman s.d., cap. 1). El fenómeno al que se refiere Feynmann es el del entrelazamiento (Al-Khalili, 2021) o la superposición cuántica, que se puede apreciar en el denominado experimento de la doble rendija, por las que se hace pasar una onda de electrón y se observan los picos de interferencia, y que dio origen también al paradójico experimento mental del gato de Schrödinger²³. En mecánica cuántica es posible encontrar sistemas que presentan dos estados superpuestos.

Un bit es la unidad básica de información en el procesamiento de información. En un sistema binario, esta unidad se refiere a la posibilidad de dos estados de información, que se expresan como 0 y 1. Si se construye un circuito eléctrico, sería el equivalente a *no pasa* o *pasa* la corriente. En un ordenador habitual, los bits están agrupados en octetos, llamados bytes. Por ello, un byte puede transmitir $2^8 = 256$ estados de información.

Un *cubit*, abreviatura de *bit cuántico*, es un sistema cuántico que además de los dos estados del bit clásico, puede encontrarse en un estado de superposición. Esto multiplica las posibilidades. Por ejemplo, considerando la polarización de los fotones, el espín de los electrones, etc. Para poder visibilizar estas variables se puede recurrir a la denominada *esfera de Bloch*. En ella, los puntos de los polos son estados puros (por ejemplo, el espín, que podemos representar como 0 o 1 en el eje $\hat{z}$) y cualquier punto de la superficie se puede describir como la superposición de dos estados ($\hat{x}$ e $\hat{y}$) (véase la imagen 11).

²³ En realidad, como indica Baeyer (2019) hay una cierta diferencia entre la doble rendija, en la cual los estados posibles en una lógica binaria son 1 o 0, y el gato, porque entonces la probabilidad de la desintegración radioactiva que desencadena la muerte del felino es una asíntota que va de 0 a 1 según el eje temporal (claro que aquí se aplica un determinado modelo de decaimiento asíntótico, pero entrar en esto ya nos aparta del tema del artículo).

Imagen 11. Esfera de Bloch



A partir de estos principios, se han construido ordenadores cuánticos, que parecen avanzar en una progresión geométrica, como se explica en la tabla 3.

Tabla 3. Evolución de los ordenadores cuánticos

Año	Empresa	Nombre del producto	Cubits del sistema
2017	IBM	IBM Q	17
2018	Google	Bristlecone	72
	Intel	Tangle Lake	49
2019	Google	Sycamore	53
	Honeywell		64 (volumen) ²⁴
	IBM	Falcon	27
2020	IBM	Hummingbird	65
	China	Jiuzhang	76
	Honeywell		512 (volumen)
2021	Harvard		256
	China	Zuchongzhi 2	66 (pero diez millones de veces más rápido que Sycamore)
	IBM	Eagle	127
2022	Jülich Supercomputing Centre (JSC) y D-Wave Systems	Jülich UNified Infrastructure for Quantum computing (JUNIQ)	Ca. 46 (5.000) ²⁵
	IBM	Osprey	433
	TU Darmstadt		1.000
	IBM	Condor	1.121
2023	IBM	IBM Quantum System Two	Con Osprey, pero con una arquitectura que pretende disminuir errores

²⁴ El volumen es un indicador compuesto de cubits, tasa de error y conectividad de los cubits.

²⁵ Un sistema cuántico *annealer* equivalente a unos 5.000 cubits. Para los usuarios, unos 46. Cf. <https://www.fz-juelich.de/en/ias/jsc/systems/quantum-computing/juniq-facility>.

¿Continuará esta progresión? El fundador de IBM, T. Watson, declaró en 1943 que con cinco grandes ordenadores se resolverían las necesidades mundiales. Quizás la cita sea apócrifa. Cuando en el año 2021 J. Chow, del Centro de Investigación que lleva el nombre de Watson, habló del éxito que habían logrado con el ordenador cuántico, pronosticó que en 2022 llegarían a los 433 cubits y en 2023 a los 1.121. J. Preskill, del Instituto Tecnológico de California, declaró que todavía tenían mucho trabajo «antes de que se puedan ejecutar aplicaciones útiles». Pero entonces tal vez ocurrirá lo que pronosticó P. Ball (2018) en su libro sobre física cuántica: el mercado inicial de los ordenadores cuánticos no es un auténtico mercado, sino un oligopolio muy centralizado. Piense sólo que estos superordenadores se aprovechan de la superconductividad que se alcanza con temperaturas cercanas al cero absoluto (-273°C). Por eso, sus aplicaciones quedan por ahora restringidas a determinados accesos a sistemas *annealer* (un neologismo que a veces se traduce como *recocido*).

El cubitismo de Xiao-Gang Wen

En el principio era el cubit, y de él derivaron la relatividad general y las partículas del modelo estándar. Así podríamos resumir el cubitismo de Xiao-Gang Wen. Este profesor del MIT²⁶, de origen chino, asume el programa empirista: «El desarrollo de la física teórica está impulsado por el deseo de comprenderlo todo desde uno o muy pocos orígenes». Wen opta por identificar ese origen en el cubit. A continuación, se resume su argumentación.

Gu & Wen (2006; 2010) parten de considerar las siete asunciones básicas de la física actual (tabla 4).

Tabla 4. Las siete asunciones básicas de la física actual

Localidad	Einstein, A. (1948) Quanten-Mechanik und Wirklichkeit. Dialectica, 2, 320-324.
Partículas idénticas (indistinguibles)	Fueron discutidas por primera vez por Werner Heisenberg y Paul Dirac en 1926.
Interacciones gauge	H. Weyl, Space, Time, Matter (Dover, 1952); W. Pauli, Rev. Mod. Phys. 13, 203 (1941); C. N. Yang and R. L. Mills, Phys. Rev. 96, 191 (1954).
Estadísticas de Fermi	E. Fermi, Z. Phys. 36, 902 (1926); P. A. M. Dirac, Proc. Roy. Soc. A112, 661 (1926).
Fermiones quirales	T. Lee and C. Yang, Phys. Rev. 104, 254 (1956); C. Wu et al., Phys. Rev. 105, 1413 (1957).
Invarianza de Lorentz	A. Einstein, Annalen der Physik 17, 891 (1905).
Gravedad	A. Einstein, Annalen der Physik 49, 769 (1916).

A partir de aquí, el argumento de Wen se puede reconstruir del siguiente modo.

En primer lugar, parte de un modelo bosónico local. «La forma detallada del modelo bosónico no es importante. La cuestión importante es cómo se organizan los bosones (o los espines) en el estado fundamental» (Gu & Wen, 2006). Los autores apuntan

²⁶ <https://physics.mit.edu/faculty/xiao-gang-wen/>.

a los espines, a la característica de la *helicidad*. Es este movimiento el que resulta determinante:

Se ha demostrado que si los bosones se organizan en un estado condensado de red de cuerdas, entonces los fotones, electrones y quarks pueden surgir naturalmente como movimientos colectivos de los bosones. En este artículo, encontraremos una organización de bosones tal que los movimientos colectivos de bosones dan lugar a gravitones. (Gu & Wen, 2006: 1)

Es decir, un modelo de *cubit cuántico* en una red que da lugar a gravitones (las partículas de la gravedad) emergentes. Poco después, Gu y Wen ampliaron este modelo para formular otros dos. Parten de una reconsideración de las interacciones de gauge (citadas en tercer lugar en la tabla 4):

La simetría de gauge se considera comúnmente como uno de los principios fundamentales de la naturaleza. Pero estudios recientes de orden topológico/cuántico sugieren que la simetría de gauge puede surgir como una propiedad de baja energía de un modelo de cubit que no tiene ninguna simetría de gauge a escala reticular. Esto sugiere que la simetría de gauge puede no ser un principio fundamental, sino simplemente una propiedad de un estado fundamental cuántico con entrelazamientos cuánticos de largo alcance. El principio de equivalencia general y la simetría de gauge del difeomorfismo²⁷ asociado también se consideran principios fundamentales de la naturaleza. Entonces uno podría preguntarse: ¿puede la simetría del calibre del difeomorfismo surgir también como una propiedad de baja energía de cierto orden topológico/cuántico en un modelo de qubit? (Gu & Wen, 2010: 1)

Y proponen dos modelos:

En el primer modelo de qubit (llamado modelo tipo L), mostramos que las excitaciones sin espacios de helicidad ± 2 aparecen como el único tipo de excitaciones de baja energía que utilizan un enfoque semiclásico confiable. [...] La aparición de los modos de helicidad sin espacios ± 2 sugiere que el estado fundamental del modelo qubit es un nuevo estado de la materia. En el segundo modelo (llamado modelo tipo N), los modos colectivos interactúan fuertemente y no existe un enfoque confiable para comprender su dinámica de baja energía. [...] Ambos modelos tienen una simetría de calibre de difeomorfismo emergente de baja energía que conduce a las excitaciones asociadas de helicidad sin espacios ± 2 . [...] Nuestros resultados arrojan luz sobre la búsqueda de una teoría cuántica de la gravedad: un modelo cuántico con un límite finito cuyo estado fundamental admita gravitones. (loc. cit.)

Aunque parta de los elementos más pequeños, la teoría de Xiao-Gang Wen se asemeja mucho a una combinatoria de celdas (como la filosofía medieval de Ramon Llull). En

²⁷ Un difeomorfismo es un homeomorfismo diferenciable con una inversa también diferenciable.

definitiva, su universo es también como una gran tabla finita, cada una de cuyas celdas alberga uno o varios cubits (seguimos aquí el resumen de Hassenfeder, 2019). Podemos imaginarla como una red, cuya trama tiene una dimensión mínima (puede estar en la escala de Planck²⁸). Esta red discreta cambia con el tiempo absoluto, y por ello rompe la unión entre espacio y tiempo introducida por Einstein.

Da la impresión de que Xiao-Gang Wen ha ido tejiendo laboriosamente esta red en sus contribuciones posteriores, centradas en las transformaciones locales que constituyen esta particular topología (Chen, Gu & Wen, 2010^a; 2010b).

El quiralismo (neopresocrático) de Korompilias

Como en el caso de Garret Lisi, Vasileios (o Basil) Korompilias es un investigador libre. En 2024 depósito en abierto su libro *Chirality: The Origins, Design, and Dimensions of the Univers* (Korompilias, 2024a), que podemos entender como una extensión de la topología de Wen, aunque no sabemos el juicio del investigador chino del MIT sobre esta obra. Antes que nada, hay que explicar que la *quiralidad* es la característica de aquellos cuerpos que, aún siendo simétricos, no pueden superponerse. Es el caso de las manos (de hecho, el término deriva del griego *χειρ* «mano»). Es cierto que muchas disciplinas se interesan por la quiralidad²⁹, pero Korompilias considera esta característica como el principio de todo: «un principio estructural dinámico que sustenta al universo mismo» (Korompilias, 2024a: 10).

Esta tesis desafía la *visión* convencional del universo como un conjunto de entidades separadas e independientes. En cambio, propone una perspectiva holística y dinámica donde todo está interconectado y es interdependiente, entretejido por los hilos de la quiralidad. (loc. cit.)

Este universo de Korompilias se compone de seis dimensiones, que explica así:

Nuestra hipótesis es que el universo emerge de familias de energía y materia siguiendo una secuencia y frecuencia que se remonta a las dimensiones percibidas del espacio y el tiempo.

Esta tesis unifica tres modelos: las tres dimensiones del espacio, las tres dimensiones del tiempo y las seis libertades de movimiento. No se trata de sistemas abstractos, sino de marcos interconectados donde cada dimensión del espacio está inherentemente ligada al tiempo y al movimiento. La secuencia comienza desde un punto de dimensión cero y progresa a través de tres dimensiones espaciales, seguidas de tres dimensiones temporales (pasado, presente, futuro), lo que conduce a un marco físico séxtuple.

²⁸ Como explica Rovelli (2015), la longitud mínima que existe es aproximadamente: $L_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$, a la derecha las tres constantes:

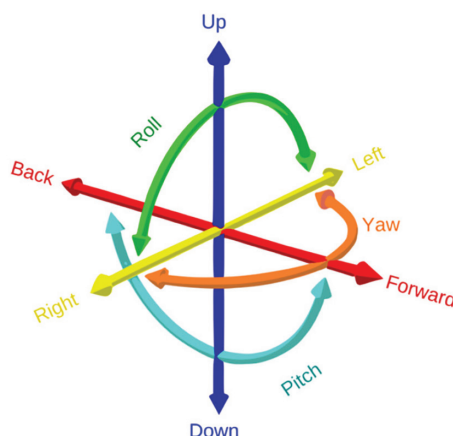
la de la gravedad (G), la de Planck ($\hbar$) y la velocidad de la luz (c), lo que equivale aproximadamente a 10^{-35} m.

²⁹ Incluso las ciencias de la educación. Él cita: Parrill, F., Shymanski, J. J., & Cook, S.W. (2023). Using the hands to learn about the brain: Testing action-based instruction in brain anatomy. *Applied Cognitive Psychology*, 37(5), 967–979. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/acp.4093>.

Esta secuencia refleja los seis grados de movimiento observados en los sistemas físicos y subraya la interconexión del espacio, el tiempo y el movimiento. (loc. cit.)

Representa los seis grados de movimiento en la imagen siguiente:

Imagen 12. Los seis grados de libertad, según Korompilias



Después de un repaso a diversas disciplinas, concluye: «Comprender el papel de la quiralidad en diferentes contextos, desde sistemas moleculares hasta materiales bidimensionales, y desde la materia activa hasta los orígenes de la vida, abre nuevas vías para la exploración científica y los avances tecnológicos» (Korompilias, 2024a: 24).

Para profundizar en el sentido de la quiralidad (recuérdese que derivaba del movimiento de la mano), Korompilias incluso ejemplifica el marco de las dimensiones o grados de libertad con el movimiento del pulgar (tabla 5) y la palma de la mano (tabla 6).

Tabla 5. Quiralidad con el pulgar

Thumb Movement	Axial Dimension (Spatial)	Spherical Dimension (Curved)	Chirality and Polarity
Flexion and Extension	Length (x-axis)	Spin (θ - Rotation)	The thumb's forward and backward motion mirrors the linear extension of length, while its rotation around the base reflects the spin dimension. The opposition of these movements embodies chirality.
Abduction and Adduction	Width (y-axis)	Expansion (r - Growth/Shrinking)	Moving the thumb away from and towards the palm aligns with the lateral expansion of width. The thumb's ability to "expand" its reach by combining abduction and extension connects to the growth aspect of the expansion dimension.
Opposition and Reposition	Height (z-axis)	Translation (ϕ - Displacement/Return)	The thumb's unique ability to oppose the other fingers involves movement perpendicular to the palm (height). This opposition also allows for complex manipulation and displacement of objects, mirroring the translation dimension.

Tabla 6. Quirialidad con la palma de la mano

Palm Movement	Axial Dimension (Spatial)	Spherical Dimension (Curved)	Chirality and Polarity
Flexion and Extension	Length (x-axis)	Spin (θ - Rotation)	The palm's ability to flex and extend, especially when combined with wrist movement, can be seen as an extension of the length dimension. The rotational aspect of the wrist movement aligns with the spin dimension.
Abduction and Adduction	Width (y-axis)	Expansion (r - Growth/Shrinking)	While less pronounced than the thumb, the palm can slightly abduct and adduct, subtly changing its width. The cupping motion of the palm, which involves a degree of expansion and contraction, relates to the growth/shrinking aspect of the expansion dimension.
Opposition and Reposition (Combined Movements)	Height (z-axis)	Translation (ϕ - Displacement/Return)	The palm's complex movements, like arching and cupping, involve subtle shifts in height and intricate repositioning of the entire hand structure. These movements, especially when manipulating objects, demonstrate the translation dimension in action.

Según el autor, la quirialidad proporciona una unificación adecuada de la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad, de las dimensiones micro y macro, e incluso puede inspirar arquitecturas algorítmicas de Inteligencia Artificial³⁰ (Korompilias, 2024a: 44 y ss.).

Tal vez por el origen griego de Korompilias, es fácil vincular su aportación con las de los filósofos presocráticos. Como aquellos, Korompilias busca un principio o $\alpha\rho\chi\eta$ y lo encuentra en la quirialidad, como Heráclito lo encontraba en el fuego y Anaxímenes en el aire, con la diferencia que estos eran *materiales* y aquel es *relacional*. Ahora bien, al leer sus textos se mantiene la duda de si estamos ante una interpretación científica o filosófica del todo. Para la ciencia, no basta con que se detecten afinidades conceptuales (metafóricas) entre diversas disciplinas, sino que se precisa la elaboración de un modelo con capacidad de generar deducciones que se puedan corroborar o refutar empíricamente. Por ejemplo, que un acelerador de partículas descubriera partículas sometidas a la quirialidad no corroboraría las tesis de Korompilias; para aceptar sus ideas como modelo científico se tendría que predecir, por ejemplo, cuál sería la carga o la masa de tales partículas. Por eso, su teoría tiene el aire de los físicos *presocráticos*: un paradójico *neopresocratismo*. O, dicho de otro modo: si el todo se presentó como un todo afectado por la quirialidad, la teoría del todo no ha de ser una glosa de su múltiple presencia³¹, sino una explicación de su causa.

La topología geometrodinámica de Pitkänen

En cierto sentido, también la topología geometrodinámica (que abrevia TGD) de Matti Pitkänen, también un investigador libre que se dedica a la matemática y a la física, se

³⁰ Parece ser que los campos de interés de Korompilias más actuales están relacionados con el uso ético de la Inteligencia Artificial. Cf. Korompilias 2024b.

³¹ Cf. Luis Gómez-Hortigüela Sainz 2020.

puede entender como una radicalización del cubitismo de Xiao-Gang Wen, porque la física cuántica, para el autor finlandés, es una teoría de los números (Pitkänen, 2023a; 2023b; Pitkänen, 2024a). Su obra, que en conjunto representa 45 años de trabajo, es muy extensa; solo las dos obras citadas ocupan 1.200 pp. Además, ha publicado muchísimos artículos, la mayoría en revistas del grupo QuantumDream, Inc., presidido por Huping Hu³². A continuación, anotamos el resumen de dos artículos, difundidos desde su blog³³, en los que Pitkänen hace un balance de la TGD a finales de 2024 (Pitkänen, 2024b; 2024c). Presenta dos puntos de vista, cuyo resumen es difícil de entender para profanos (ni tan siquiera podemos estar seguros de la corrección de la traducción).

Según el primero:

- a) Se generaliza el programa de Einstein para la geometrización de la física. Las superficies espacio-temporales son 4 superficies en $H=M^4 \times CP_2$ y la invariancia general de coordenadas conduce a su identificación como extremos preferidos de un principio de acción que satisface la holografía. Esto implica una ontología de energía cero (*zero energy ontology*, ZEO) que permite resolver la paradoja básica de la teoría de la medición cuántica.
- b) El principio de holografía=holomorfía permite construir la solución general de ecuaciones de campo en términos de funciones analíticas generalizadas. Esto conduce a dos visiones diferentes de la construcción de superficies espacio-temporales en H , que parecen ser mutuamente consistentes.
- c) Toda la física cuántica está geometrizada en términos del concepto de «mundo de los mundos clásicos» (WCW), que por su dimensión infinita tiene una geometría de Kähler única. Holografía=visión holomorfa conduce a una solución general explícita de las ecuaciones de campo en términos de holomorfía generalizada y ha inducido un progreso dramático en la comprensión de TGD.

De acuerdo con el segundo punto de vista, se reduce la física a la teoría de números.

- a) Los campos numéricos clásicos (reales, números complejos, cuaterniones y octoniones) son centrales, al igual que los campos numéricos p -ádicos y las extensiones de los racionales. Los octoniones con norma teórica de números $RE(o^2)$ son métricamente el espacio de Minkowski, y tienen una interpretación análoga al espacio de momento M^8 para partículas identificadas como 3 superficies de H , que sirven como escenario de la física teórica de números.

La física clásica está codificada por las superficies espacio-temporales de H o por 4 superficies de M^8 con firma euclidiana que tiene un espacio normal asociativo, que es métricamente M^4 . La dualidad M^8 - H como analogía de la dualidad momento-posición relaciona estos puntos de vista. La preimagen de CD [diamante causal] al nivel de M^8 es un par de conos de semiluz. La dualidad

³²Véase el web: <https://tgdtheory.fi/>

³³<https://matpitka.blogspot.com/>

M^8 -H asigna los puntos de las representaciones cognitivas como momentos de fermiones con masa fija m en M^8 a hiperboloides de CD subconjunto H con tiempo propio del cono de luz $a = h_{\text{eff}}/m$.

- b) En ambos casos la holografía se puede realizar en términos de datos tridimensionales. En H , la dinámica holográfica está determinada por una holomorfía generalizada que conduce a una expresión general explícita para los extremos preferidos, que son análogos de las órbitas de Bohr para partículas interpretadas como 3 superficies. En el nivel de M^8 la dinámica está determinada por la asociatividad. La analogía 4-D de la holomorfía implica una profunda analogía con funciones analíticas de variables complejas para las cuales la holografía significa que la función analítica se puede construir utilizando los datos asociados con sus polos y cortes. Los cortes se reemplazan por líneas de fermiones que definen los límites de las hojas del mundo de cuerdas como contrapartes de los cortes.
- c) La física teórica de números significa también p -adicización y adelización. Esto es posible en la discretización teórica de números tanto de la superficie espacio-temporal como de WCW [mundo de los mundos clásicos], lo que implica una jerarquía evolutiva en la que la constante de Planck efectiva identificable en términos de la dimensión de extensión algebraica del campo base que aparece en los coeficientes de los polinomios es central.

Este resumen fue motivado por un avance en varios aspectos del TGD.

- a) La noción de diamante causal (CD), fundamental para la ontología de energía cero (ZEO), surge como una predicción en el nivel de H . El espacio de módulos de CD ha surgido como una nueva noción.
- b) El confinamiento de Galois³⁴ en el nivel de M^8 se entiende en el nivel del espacio de momento y se considera necesario. El confinamiento de Galois implica que los momentos de fermión en unidades adecuadas son números enteros algebraicos, pero números enteros para singletes de Galois, tal como en la cuantificación ordinaria de una partícula en una caja reemplazada por CD . El confinamiento de Galois podría proporcionar un mecanismo universal para la formación de todos los estados vinculados.
- c) Ha habido avances en la comprensión de la teoría de la medición cuántica basada en ZEO . Desde el punto de vista de la cognición, los BSFR serían como momentos heureka y la secuencia de SSFR podría corresponder a un análisis, posiblemente teniendo como correlato la descomposición de 3 superficies a 3 superficies más pequeñas.

En general, entendemos que lo que hace Pitkänen es llevar la(s) teoría(s) de la relatividad y la física cuántica al ámbito de la geometría y, desde ahí, remontarse a la aritmética,

³⁴ Según TGD, el confinamiento de Galois es análogo al confinamiento de color y se inspira en la biología cuántica.

aunque prestando atención a otros ámbitos. Esto es lo que subyace al término *adelización* (cf. Pitkänen, 2017). En definitiva, teoriza el surgimiento de una conciencia matemática (Pitkänen, 2024a). Como en el caso de Garrett, sorprende el poco interés de la comunidad académica en las elaboraciones del autor finlandés. Sus obras más citadas son precisamente las publicadas en revistas académicas tradicionales. Nos surge la misma duda que en el caso de Korompilas: ¿Hasta qué punto el establecimiento de analogías (por ejemplo, mediante la extensión de los anillos de Adèle que son una parte de la teoría algebraica de números) pueden servir para establecer semejanzas (a la manera de una reformulación del pitagorismo que, como el antiguo, establecía relaciones entre formas geométricas y relaciones aritméticas), pero no para fundamentar principios propiamente científicos, que dispongan de capacidad predictiva?

La teoría de Oppenheim

Oppenheim es profesor de física en el University College de Londres. Antes de formular una teoría del todo, hizo relevantes aportaciones sobre mecánica cuántica, proponiendo que la información cuántica puede ser negativa, lo que resulta muy interesante respecto de la paradoja de Hawking sobre el mantenimiento de la información total (Horodecki et al., 2005), cuestionó los principios de la termodinámica a escala nanoscópica (Horodecki & Oppenheim, 2013) y demostró el tercer principio de la termodinámica (a saber, que no se puede alcanzar el cero absoluto) (Masanes & Oppenheim, 2016).

En cierto sentido, el camino de Jonathan Oppenheim es opuesto al de Pitkänen. Aquí se resume su pretensión:

Aquí presentamos un enfoque alternativo mediante la construcción de una teoría consistente de la gravedad clásica acoplada a la teoría cuántica de campos. La dinámica es lineal en la matriz de densidad, completamente positiva y preserva la traza, y se reduce a la teoría de la relatividad general de Einstein en el límite clásico. En consecuencia, la dinámica no sufre las patologías de la teoría semi-clásica basada en valores esperados. El supuesto de que la relatividad general es clásica modifica necesariamente las leyes dinámicas de la mecánica cuántica; la teoría debe ser fundamentalmente estocástica tanto en los grados de libertad métricos como en los campos de materia cuántica. Esta ruptura de la previsibilidad le permite evadir varios teoremas prohibidos que pretenden prohibir las interacciones cuánticas clásicas. El postulado de medición de la mecánica cuántica no es necesario; la interacción de los grados de libertad cuánticos con el espacio-tiempo clásico provoca necesariamente una decoherencia en el sistema cuántico. (Oppenheim, 2023, abstract)

Si Pitkänen buscaba armonizar la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica (y más disciplinas), procediendo a una reinterpretación de la primera, Oppenheim y sus colaboradores (Zach Weller-Davies, Carlo Sparaciari, Barbara Šoda, etc.) recorren el camino en sentido contrario: intenta modificar la mecánica cuántica para que sea

compatible con la teoría de la relatividad. Esto son los pasos de su argumento: 1º) derivan la forma general de la dinámica cuántica clásica y consideran realizaciones que tienen como límite la evolución hamiltoniana clásica determinista; 2º) luego, el formalismo se aplica a la teoría cuántica de campos que interactúa con la métrica clásica del espacio-tiempo; 3º) De este modo, se puede considerar la teoría cuántica clásica como fundamental o como una teoría eficaz y útil para calcular la reacción inversa de los campos cuánticos en la geometría.

Lo relevante de esta propuesta de subsumir la mecánica cuántica en la teoría relativista de la gravedad es que deduce los experimentos que permiten ratificar esta interpretación:

Se espera que en las próximas dos décadas aparezcan en línea varias propuestas directas para probar la naturaleza cuántica de la gravedad. Estos se basan en la detección de entrelazamientos entre masas mesoscópicas dentro de interferómetros de materia-onda. Para estos experimentos, se necesitan algunos supuestos teóricos: se requiere que sean sólo los gravitones los que viajan entre las dos masas y median en la creación del entrelazamiento. Si este es el caso, entonces el inicio del entrelazamiento implica que la gravedad no es un campo clásico. Estos pueden considerarse experimentos que, de tener éxito, confirmarían la naturaleza cuántica de la gravedad (aunque son posibles otras alternativas a la teoría cuántica).

(Oppenheim et al., 2023: 10)

En definitiva, de lo que se trata es de pesar con máxima precisión un cuerpo («masas mesoscópicas») para determinar si se mantiene la masa u oscila.

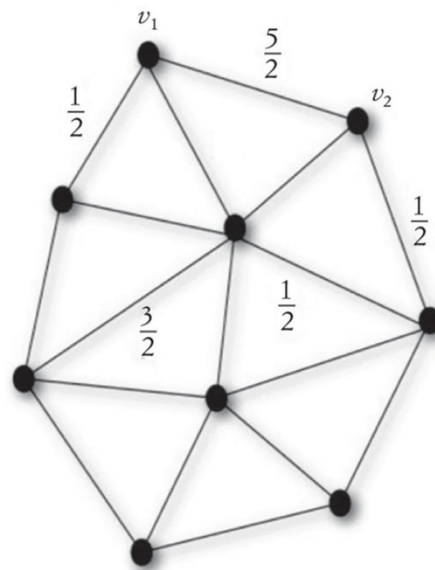
El qbismo, que no es el cubitismo

Un precedente al *qbismo* se encuentra en la llamada *Teoría Cuántica de Bucles* (*Loop Quantum Theory*), surgida de la investigación del físico Abhay Ashtekar, que reformuló las ecuaciones de la relatividad general de Einstein en otras que fueron usadas por Carlo Rovelli i Lee Smolin, que llevaron al concepto de *redes de espín* de Roger Penrose (Quirantes, 2018). El espacio no es un escenario donde acaece la realidad, sino una red, con cuantos de gravedad, representados por nodos y líneas, como los que aparecen en la imagen 13.

Obsérvese la semejanza entre esta *red de espín* y el grafo de Kulakov de la imagen 2.

Lo que aquí hemos denominado anteriormente *cubitismo* no se debe confundir con lo que habitualmente se etiqueta como *qbismo* o *bayesianismo cuántico* (a veces se considera el *qbismo* como una parte del *bayesianismo cuántico*) una interpretación de la física cuántica auspiciada por J. A. Wheeler (cf. Rovelli, 2015 cap. 6) y cultivada por C. A. Fuchs, C. Caves, A. Peres, M. Appleby, B. Stacey, H. C. von Baeyer (que se citará a continuación), D. Mermim y R. Schack (cf. Fuchs, 2016, con una amplia bibliografía).

Imagen 13. Red de espín (Rovelli 2015, figura 6.4)



El *qbismo* también se presenta como una teoría del todo. Baeyer (2019) dice, por ejemplo:

Desarrollar una visión del mundo abarcadora y consistente es una empresa formidable. El viaje es largo y duro, pero el *qbismo* nos ha mostrado cómo acometerlo.

Mi propia adopción de esta interpretación como la base de una nueva visión del mundo me proporcionó una profunda sensación de plenitud porque me puso –finalmente– en contacto con las leyes de la naturaleza y la gente que las concibió. Me entrelazó en la grandiosa épica de la física de una manera que nunca había anticipado o siquiera creído posible. (Baeyer, 2019: cap. 17)

El bayesianismo cuántico propone reconsiderar de manera bayesiana la noción de probabilidad de la mecánica cuántica.

Es cierto que la noción clásica de probabilidad, la *laplaciana*, adolece de circularidad. La probabilidad es el cociente entre los casos efectivos y los casos probables, en una situación de *equiprobabilidad*³⁵. Se trata de una noción de frecuencias límite. Si se repitiera ilimitadamente el evento, la probabilidad sería la frecuencia.

Aparentemente, la estadística bayesiana supera este problema porque entiende que la probabilidad no describe una proporción sobre situaciones equiprobables (frecuencias límite), sino una creencia³⁶ que, por así decir, va corrigiendo con pruebas. De este modo, el *qbismo* interpreta la función de onda de Schrödinger en términos de creencias: lo

³⁵ La probabilidad de que si lanzamos un dado de forma cúbica al aire quede con la cara con dos puntos en el lado superior es $p=1/6$, porque consideramos que la probabilidad de que cualquier lado del cubo quede en el lado superior es la misma; pero entonces introducimos la noción de probabilidad en la definición de probabilidad.

³⁶ Si $p(\theta)$ representa el grado de nuestra creencia en los valores de θ , entonces la media de $p(\theta)$ se puede pensar como un valor de θ que representa nuestra creencia típica o central. Por su parte, la varianza de θ , que mide que tan dispersa esta la distribución, se puede pensar como la incertidumbre entre los posibles valores (Ortiz s.d.).

que se superponen sobre cómo está el célebre gato en la caja son dos creencias del investigador. A veces el *qbismo* se presenta como una agudización de la interpretación de Copenhague (Bohr, Heisenberg y Pauli). C. A. Fuchs (2016: 1) escribe:

En encarnaciones más o menos fuertes, se puede considerar que los puntos de vista de «Copenhague» de Bohr, Heisenberg y Pauli, el punto de vista del observador-participante de John Wheeler, la interpretación informacional de Anton Zeilinger y Caslav Brukner, la interpretación relacional de Carlo Rovelli y, más radicalmente, el *QBismo* de N. David Mermin, Rüdiger Schack y el presente autor [C. A. Fuchs], acceden a la presión. Estos puntos de vista se han denominado últimamente «realismo participativo» para subrayar que, en lugar de renunciar a la idea de realidad (como se les acusa a menudo), lo que dicen es que la realidad es más de lo que cualquier perspectiva en tercera persona puede captar. Así pues, lejos de ser casos de instrumentalismo o antirrealismo, estos puntos de vista de la teoría cuántica deberían considerarse como intentos de hacer una declaración profunda sobre la naturaleza de la realidad.

Hay un doble salto mortal teórico al pasar de afirmar que las técnicas de la estadística bayesiana pueden producir rendimientos científicos a que con ello se pueda alcanzar una comprensión más adecuada de los postulados de Copenhague y, de ahí, deducir la tesis metafísica de que «la realidad es más de lo que cualquier perspectiva en tercera persona puede captar». El «realismo participativo» no solo es un oxímoron o una teoría a caballo de la disolución de las certezas postmoderna, sino que es un viejo conocido en la historia de la filosofía. Algunos autores lo relacionan con Kant, pero esto no es correcto, porque el hilo argumental de Kant «deduce» las categorías que debe tener el entendimiento desde la física newtoniana (cf. la analítica trascendental de la *Crítica de la razón pura*), y aquí se procede al revés: se deducen las categorías de lo real desde la estadística bayesiana. En realidad, sería más propio vincular el *qbismo* con el averroismo: es decir, los intentos de solucionar los presupuestos de la fe mediante una comprensión del *intelecto agente* de Aristóteles (por ejemplo, en Siger de Brabante, siglo XIII). Pero esto se aleja del *neolulismo* para constituir una especie de *neoaverroismo de izquierda* (materialista), según la expresión de Ernst Bloch.

| Conclusión: la ignorancia del todo |

Desde hace dos siglos, los Estados se atribuyen la capacidad de determinar normativamente qué enseñanzas deben adquirir sus ciudadanos. Ello produce la paradoja de que el *derecho* a la educación comporta el *deber* de ser educado. Sin embargo, nada de lo expuesto anteriormente parece formar parte de la enseñanza obligatoria. Ni consta en las determinaciones curriculares estatales, autonómicas, federales o estatales relativas a la enseñanza secundaria. Parece que los programas oficiales se detienen en el átomo *planetario* y no atraviesan el umbral *cuántico*, en el que la ciencia se encuentra hace un siglo. Puede ser que los intentos por construir una ciencia del todo no sean aceptados unánimemente por la comunidad científica, pero si no lo son es precisamente

por el mismo uso de la crítica científica. El todo al que se refería Comenio no puede ser una montaña cada vez mayor de ganga, sino la veta de conocimiento que da razón de la totalidad.

| Bibliografía |

AAVV (2003). Search for the Standard Model Higgs boson at LEP. *Physics Letters B*, 565, 61-75, [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(03\)00614-2](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(03)00614-2)

Abbot, B. P. et al. (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters*, 116, 061102. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>

Alexander, S. (2017). *El jazz de la física*. Tusquets.

Al-Khalili, J. (2021). *El mundo según la física*. Alianza.

Aurich, R., Buchert, Th., France, M.J., & Steiner, F. (2021). The variance of the CMB temperature gradient: a new signature of a multiply connected Universe. Disponible en: [arXiv:2106.13205 \[astro-ph.CO\]](https://arxiv.org/abs/2106.13205), <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.13205>

Baeyer, H. Ch. von (2019). *La física cuántica del futuro*. Planeta. [se cita el cap. de la versión digital].

Ball, P. (2018). *Cuántica. Qué significa la teoría de la ciencia más extraña*. Turner.

Comenius, J. A. (1876[1657]). *Grosse Unterrichtslehre*. Verlag von A. Pichler's Witme & Sohn.

Chen, X., Gu, Zh.-Ch., & Wen, X.-G. (2010a). Local unitary transformation, long-range quantum entanglement, wave function renormalization, and topological order. Disponible en: [arXiv:1004.3835](https://arxiv.org/abs/1004.3835)

Chen, X., Gu, Zh.-Ch., & Wen, X.-G. (2010b). Classification of Gapped Symmetric Phases in 1D Spin Systems. Disponible en: [arXiv:1008.3745](https://arxiv.org/abs/1008.3745)

Distler, J., & Garibaldi, S. (2009). There is no "Theory of Everything" inside E8. Disponible en: [arXiv:0905.2658 \[math.RT\]](https://arxiv.org/abs/0905.2658).

Feynman, R. (s.d.). The Feynman Lectures on Physics, Volume III. Disponible en: https://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_toc.html

Fuchs, Ch. A. (2016). On Participatory Realism. Disponible en: [arXiv:1601.04360v3](https://arxiv.org/abs/1601.04360v3)

Gómez-Hortigüela Sainz, L. (2020). *La quiralidad, el mundo al otro lado del espejo*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - La Catarata.

Gu, Zh.-Ch., & Wen, X.-G. (2006). A lattice bosonic model as a quantum theory of gravity. Disponible en: [arXiv:gr-qc/0606100v1](https://arxiv.org/abs/gr-qc/0606100v1)

Gu, Zh.-Ch., & Wen, X.-G. (2010). Emergence of helicity ± 2 modes (gravitons) from qubit models [datado 2007, rev. 2010]. Disponible en: arXiv:0907.1203v3 [gr-qc]

Guts, A. K., Frolova, Yu. V., & Páutova, L. A. (2013). *Métodos matemáticos en la sociología*. Ed. Krasand.

Hassenfeder, S. (2019). *Perdidos en las matemáticas. Cómo la belleza confunde a los físicos*. Ariel. [se cita el cap. de la versión digital]

Horodecki, M., & Oppenheim, J. (2013). Fundamental limitations for quantum and nanoscale thermodynamics. *Nature Communications*, 4, 2059 (2013). <https://doi.org/10.1038/ncomms3059>

Horodecki, M., Oppenheim, J., & Winter, A. (2005). Quantum information can be negative. Disponible en: arXiv:quant-ph/0505062

Korompilias, B. (2024a). Chirality: The Origins, Design, and Dimensions of the Univers. Disponible en: <https://hcommons.org/deposits/item/hc:66669/>

Korompilias, B. (2024b). Ai canon: Sensory ethics for biological and artificial entities. <https://doi.org/10.17613/d9rf-zw88>

Kuhn, Thomas S. (2011[1962]). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Economica.

Kulakov, Yu. I. (1995). Physical foundations of linear algebra and Euclidean geometry. *Gravitation and Cosmology*, 1(3), 177-183.

Kulakov, Yu. I. (1998). The Search for Scientific Truth Leads to God. Twentieth World Congress of Philosophy, Boston, Massachusetts, 10-15/8/1998. Disponible en: <https://www.bu.edu/wcp/Papers/Scie/ScieKula.htm>

Landsman, K. (2017). *Foundations of Quantum Theory*. Springer.

Lisi, A. G. (2007). An Exceptionally Simple Theory of Everything. Disponible en: arXiv:0711.0770[hep-th]

Lisi, A. G., & Weatherall, J. O. (2010). A Geometric Theory of Everything. *Scientific American*, diciembre, 54-61.

Masanes, L., & Oppenheim, J. (2016). A derivation (and quantification) of the third law of thermodynamics. Disponible en: arXiv:1412.3828v4 [quant-ph]

Neshchadim, M. V., & Simonov, A. A. (2021). Kulakov algebraic systems on groups. *Sibirskii Matematicheskii Zhurnal*, 62(6), 1357-1368.

Neshchadim, M. V., & Simonov, A. A. (2023). Identities and n-Ary Kulakov Algebras. *Sibirskii Matematicheskii Zhurnal*, 62(6), 1357-1368.

Nöel, A. G. (2023). The Uncontroversial Mathematics Behind Garrett Lisi's Controversial "Theory of Everything", en Williams, F. L. (2023). *Some Musings on Theta, Eta, and Zeta. From E_8 to Cold Plasma to an Inhomogeneous Universe*. Springer, 119-127.

Oppenheim, J. (2023). A Postquantum Theory of Classical Gravity? *Physical Review X*, 13, 041040. <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.13.041040>

Oppenheim, J., Sparaciari, C., Šoda, B. et al. (2023). Gravitationally induced decoherence vs space-time diffusion: testing the quantum nature of gravity. *Nature Communication*, 14, 7910. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43348-2>

Ortiz, T. (s.d.). Introducción a estadística bayesiana. Disponible en: https://tereom.github.io/est-multivariada-15/14-Intro_bayesiana.html

Osipov, A. I. (2003). *Caos y autoorganización*. Ed. URSS.

Pitkänen, M. (2017). *Philosophy of Adelic Physics*. Springer.

Pitkänen, M. (2023a). Quantum physics as number theory: Part I. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/373599118_Quantum_Physics_as_Number_theory_Part_I

Pitkänen, M. (2023b). Quantum physics as number theory: Part II. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/373599079_Quantum_Physics_as_Number_Theory_Part_II

Pitkänen, M. (2024a). Mathematical Cognition in the TGD Universe. *Journal of Consciousness Exploration & Research*, 15(1) 1, 36-46.

Pitkänen, M. (2024b). TGD as it is towards end of 2024: part I. Disponible en: https://tgdtheory.fi/public_html/articles/TGD2024I.pdf

Pitkänen, M. (2024c). TGD as it is towards end of 2024: part II. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/381881859_TGD_as_it_is_towards_end_of_2024_part_II

Quirantes, A. (2018). *La teoría del todo*. RBA.

Rovelli, C. (2015). *La realidad no es lo que parece. La estructura elemental de las cosas*. Tusquets.

Simonov, A. A.; Kulakov, Y. I., & Vityaev, E. E. (2014). On an algebraic definition of laws. *Journal of Mathematical Psychology*, 58, 13-20.

Snow, C. P. (1959). *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. Cambridge University Press.

Trubetskov, D. I. (2013). *Introducción a la sinérgica. Oscilaciones y ondas*. URSS.

| Notas biográficas |

Vicent Garcia es profesor del Departamento de Didáctica de la Lengua y la Literatura de la Universitat de València. Su tesis doctoral versó sobre TIC y competencia comunicativa del profesorado. Ha realizado investigaciones sobre el cine (con especial atención a las filmografías orientales), las series televisivas y la literatura, y su aplicación en la enseñanza, así como las metamorfosis en la galaxia Gutenberg por la digitalización. Ha realizado estancias en universidades de Alemania (Kaiserslautern), Brasil (Universidad Federal de Alagoas) y EEUU (Baton Rouge), donde ha investigado sobre las competencias relacionadas con la formación literaria.

Carles Hernández, después de obtener el grado en educación por la Universitat de Barcelona y cursar estudios de música en la Escola Superior de Música de Catalunya y en la Hochschule für Musik de Freiburg, fundó Aprentell (2011), una iniciativa de estudio sobre el aprendizaje, que desarrolla proyectos con la Universitat de València (programa Baula de mentorización de estudiantado de primer curso), con la Federación de AMPA de la provincia de Valencia y otras entidades. Ha publicado: *L'educació* (2019), *La escuela o el vacío completo* (2020), *La observación de los aprendizajes* (2021) *Participar es mucho más* (2023), *Desarrollo legislativo y programático del desarrollo profesional docente en España* (2024), *Concentración para opositores* (2025).

Francesc J. Hernàndez, profesor jubilado del Departamento de Sociología y Antropología social de la Universitat de Valencia y del Instituto de Creatividad e Innovaciones Educativas. Se ha dedicado a la sociología de la educación, con estancias en Alemania y Austria, con incursiones en la filosofía y la teoría social, sobre todo de autores de la Escuela de Frankfurt. Ha publicado traducciones de Hegel, Marx, Kracauer, Adorno, Habermas y Honneth, entre otros, muchas en colaboración con Benno Herzog. También se ha dedicado a investigaciones sociolingüísticas relacionadas con el catalán. Más información en www.uv.es/fjhernan