

Odisea

en el zeptoespacio

Gian Francesco Giudice



Odisea en el zeptoespacio

© Gian Francesco Guiduce, 2009

Traducción: Anahí Seri, 2013

Corrección: J.J. Gómez Cadenas, 2013

Primera Edición: Junio, 2013

Diseño de portada: Daniel Miñana

Maquetación: Prema Ediciones

Impresión: Gráficas Pir-Gar, Barcelona

ISBN: 978-84-940939-1-3

DEPÓSITO LEGAL: SE-1265-2013

© JotDown Books, 2013

www.jotdown.es

Todos los derechos reservados. Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sgts. Código Penal).

Índice

Prólogo, por J.J. Gómez Cadenas	9
1. Prólogo	13
Primera parte: La materia son partículas	
2. Diseccionando la materia	23
3. Fuerzas de la naturaleza	47
4. Maravillas sublimes	73
Segunda parte: La nave espacial del zeptoespacio	
5. Escalera al cielo	105
6. El señor de los anillos	125
7. Telescopios dirigidos al zeptoespacio	153
Tercera parte: Misiones en el zeptoespacio	
8. Rompiendo las simetrías	185
9. Comportamiento natural	223
10. Supersimetría	235
11. De las dimensiones extra a las nuevas fuerzas	253
12. Explorando el Universo con un microscopio	271
13. Epílogo	299
Agradecimientos	305
Glosario	307
Índice analítico	319

Prólogo

J.J. Gómez Cadenas



Famosamente, el epitafio de John Wayne define al gran actor en sólo tres palabras, escritas en su lápida en perfecto castellano: *fuerte, feo y formal*. Si sólo dispusiéramos de otras tres para definir a Gian Giudice, me atrevería con las siguientes: *sabio, serio y seco*.

La sabiduría de Giudice, de hecho, informa de cada una de las páginas de su libro y se extiende más allá de su profundo entendimiento de la física que se propone explicarnos en él. Se hace evidente en cuanto se revisan las referencias literarias que encabezan cada Capítulo. Gian no puede quitarse a los clásicos de encima, lo cual le delata como lector precoz, quizás como un niño solitario, de esos que pasan más tardes leyendo las aventuras de Ulises que jugando al balón. Ahora bien, no sólo de clásicos se alimenta su intelecto, o al menos no sólo de clásicos añejos: no faltan referencias a Woody Allen, Richard Feynman y George Wald, entre otros muchos.

Una de mis favoritas, por cierto, es esta: «Sería una pena ser un átomo en un universo sin físicos». Esa sola línea, con todo su humor y aparente ligereza, define uno de los misterios de nuestro oficio. El científico observa a la naturaleza, explica los fenómenos que la ordenan y se maravilla con las leyes que la rigen. Pero el científico es, a su vez, parte de la naturaleza que observa: nada más (y nada menos) que un puñado —muy numeroso, eso sí— de esos átomos que tan poco sentido tendrían si no hubiera nadie para estudiarlos.

Creo que Gian encaja también con la palabra «seco». Es uno de esos tipos enjutos que no puede negar todos los kilómetros que llevan a cuestras sus zapatillas de deporte. Y su interfaz pública va a

juego con ese físico nervudo. No es hombre de muchas palabras, ni tampoco de sonrisa fácil o de halago gratuito. Si la cara es el espejo del alma, entonces el rostro de nuestro autor —nariz aquilina, rasgos angulosos, barbilla puntiaguda, ojos cuya incandescencia disimulan unas gafas algo demodé— le hace justicia.

El último rasgo de Gian, su seriedad, hay que tomárselo con un grano de sal. Lo es en su trabajo, sin duda alguna. Científico de plantilla del CERN en la división de física teórica, las contribuciones de Giudice a la física moderna en campos tan diversos como las teorías supersimétricas y la cosmología son numerosas y renombradas. Lo es también, ya lo he dicho, en su trato; y lo es cuando escribe un libro de divulgación científica como el que nos ocupa, donde el lector encontrará que la sencillez de exposición y la amenidad no están en modo alguno reñidas con el más absoluto rigor.

Toda esa seriedad, empero, no consigue disimular un delicioso sentido del humor. Si Gian no tiene problema alguno en echar mano de Ulises y Dante, tampoco se le caen los anillos a la hora de encargar cameos a David y Victoria Beckham, cuyas astronómicas compras en una tienda de moda nos ayudan a entender cómo sustraer correcciones radioactivas. Otro ejemplo: la frase con la que abre su sección sobre el interior del núcleo atómico: «Las aspiradoras con baterías nucleares serán una realidad en diez años». Lo gracioso de la frase no es tanto su manifiesto absurdo, como su extrema ingenuidad. La dejó para la posteridad, creyéndose cada palabra que decía, Alex Lewyt, presidente de una famosa fábrica de aspiradoras, en 1955. Gian la rescata y su guiño nos hace reír y a la vez evoca la incurable nostalgia del tiempo de la inocencia atómica, tan lejano en estos días post-Fukushima.

La odisea en el zeptoespacio es, como su nombre promete, un viaje a Ítaca. La primera parte supone un recorrido por la historia de la física de partículas del siglo XX, desde Thomson y Rutherford hasta Dirac, Bohr, Pauli, Einstein y Feynman, pasando por los Curie, Ettore Majorana, Fermi y tantos otros. En tres Capítulos el lector recibe a la vez un baño de historia y un curso elemental de física. Que nadie se asuste; la lectura es lo bastante amena como para digerir el empacho de conocimiento.

En la segunda parte de la odisea, Gian nos presenta la nave del zeptoespacio. Aquí, signo de los tiempos, se distancia del clásico y, en lugar de imaginar el *Large Hadron Collider* (LHC) como el bajel a

remos y rudimentarias velas de Ulises, prefiere subirnos a bordo de una nave espacial propia de Star Trek.

El LHC es una máquina verdaderamente prodigiosa, un milagro de la tecnología moderna, un salto de gigante en la forma de hacer ciencia nunca visto hasta ahora. Gian explica cómo funciona la gran máquina y los gigantescos detectores que la sirven, convenciéndonos así de que el CERN no es “una fábrica de conocimiento”, como afirman a veces las notas de prensa de la propia casa, sino un campo de batalla contra el misterio mismo de la naturaleza. Hay una idea que subyace en su relato: en la ciencia no deberían caber medianías. Todos, como Antonio, deberíamos aspirar: César o nada.

Finalmente, la tercera parte de la odisea es un cursillo acelerado en las últimas teorías de la física moderna. El lector acabará llevándose bien con el bosón de Higgs, los WIMPs, las simetrías de todo tipo (esa curiosa obsesión de los físicos) y sus más o menos catastróficas rupturas... y el vacío, cómo no. ¿Construir la máquina más prodigiosa de la historia de la ciencia para estudiar cómo se comporta el vacío, esto es, la nada? Pasen y lean.

Por último, la versión en español de este libro tiene una historia que no puedo dejar de contar en estas páginas. Hace tres años, si la memoria no me falla, mi querido amigo Luis Álvarez-Gaume, también un renombrado físico teórico del CERN, se puso en contacto conmigo para que exploráramos editoriales que pudieran interesarse en traducir el que consideramos uno de los libros de divulgación de física de partículas más importantes de la década. Para nuestra sorpresa fue imposible encontrar a nadie interesado... Hasta que Ángel Fernández, uno de los directores del cultural *JotDown*, decidió incluirlo en la colección de ensayo y divulgación de *JotDown Books*, el sello editorial asociado a la plataforma.

La publicación de la Odisea en el Zeptoespacio ha sido una odisea en sí misma, pero ya me parece percibir a lo lejos las costas de Ítaca. Es este un buen párrafo para recordar que también esta singladura ha tenido su Penélope y su Nausicaa, encarnadas aquí por Anahí Seri, autora de la excelente traducción, y por Raquel Blanco, a quien debemos la edición de la obra.

Quiero acabar este prólogo mencionando dos pasajes. En uno de ellos, Gian nos cuenta la original interpretación de Dante, quien se inventa un curioso final alternativo a la Odisea, en el que Ulises y sus compañeros zarpan en un último y definitivo viaje hacia el

fin del mundo. En el otro pasaje, Giudice menciona la última noche del malogrado matemático francés Evariste Galois, narrando cómo invierte las últimas horas de su corta vida —sería asesinado en la madrugada en un duelo trapicheado para acabar con él— anotando sus ideas, que sabe geniales, para la posteridad.

Ambos pasajes son bellísimos; no me cabe duda, amigo lector, de que te conmoverán cuando los leas. Hay un mensaje en ellos. Los mejores entre los científicos, como los grandes poetas, no son otra cosa que vehículos de Dios —o de la Naturaleza— para comunicarse con los hombres. No puedo evitar imaginarme a Gian Giudice el día que deba enfrentarse al soldado romano que le amenaza con la espada desnuda en la mano. Estoy seguro de que, como Ulises, como Galois, como Arquímedes, como sin duda haría también John Wayne, él también lo enfrentará sin miedo, ordenándole, sabio, serio y seco, que no pise sus círculos.

J.J. Gómez Cadenas

I

Prólogo



*No dejaremos de explorar
y al final de nuestra búsqueda
llegaremos a donde empezamos
y conoceremos por primera vez el lugar*

Thomas Stearns Eliot*

La sala de control del LHC (*Large Hadron Collider*, Gran Colisionador de Hadrones) está abarrotada de gente. Todas las miradas están fijas en la pantalla del monitor sobre la pared, que por el momento no muestra más que un fondo gris. Se acaba de retirar el último bloque de material absorbente, de manera que los protones no encontrarán ningún obstáculo en su trayectoria circular alrededor del túnel subterráneo de 27 kilómetros. Son las 10.28 horas del 10 de septiembre de 2008. Estamos en el CERN, el laboratorio europeo de investigación en física de partículas, que se extiende a ambos lados de la frontera entre Francia y Suiza, cerca de Ginebra.

Lyn Evans, el director del proyecto LHC, en actitud de prestidigitador a punto de sacar conejos de su chistera, recita la fórmula mágica en francés, aunque sin reprimir un tono cantarín galés: “Trois, deux, un... faisceau!” De inmediato, brevemente aparecen dos manchas blancas en la pantalla. Todos estallan en aplausos. Las imágenes de la sala de control se retransmiten en directo al auditorio principal, donde se han reunido la mayoría de los físicos y el personal del CERN. También allí todos aplauden espontáneamente, emocionados y satisfechos. Ha comenzado de verdad la aventura, largo tiempo esperada, después de tanto trabajo invertido.

Los primeros estudios oficiales sobre el LHC, el acelerador de partículas más poderoso del mundo, datan de principios de los

* T.S. Eliot, *Cuatro Cuartetos*, Harcourt, New York 1943.

años 80, pero el proyecto no fue aprobado hasta 1994. Catorce años más tarde, esos puntos blancos en la pantalla marcaban el final de la fase de construcción y el inicio del programa experimental en física de partículas. En realidad, esas dos manchas eran las dos imágenes que el haz de protones había dejado sobre una delgada película fluorescente. Una de las manchas mostraba el haz en el momento de ser inyectado en el LHC; la otra correspondía al haz en el instante de su retorno tras dar una vuelta alrededor del anillo, cubriendo los 27 kilómetros en tan sólo 90 millonésimas de segundo. Ciertamente que la energía del haz de protones no era más que una pequeña fracción de lo que sería cuando el LHC alcanzara su potencia máxima. Además, la densidad de los protones en circulación era extremadamente baja. Sin embargo, el aplauso sincero de los físicos que se habían reunido para el acontecimiento no dejaba de tener su justificación, pues era la prueba decisiva de que la tecnología en la que se basa el LHC funciona efectivamente.



Figura 1.1 La sala de control del CERN el 10 de septiembre de 2008.

Fuente: CERN

En la sala de control están presentes los últimos cinco directores generales del CERN. Son hombres que estuvieron al frente del laboratorio durante las diversas fases de su planificación y construcción: Herwig Schopper, Carlo Rubbia, Christopher Llewellyn Smith, Luciano Maiani, y finalmente Robert Aymar, cuyo mandato expiró a finales de 2008 y a quien sucedió Rolf Heuer. “Sólo están

presente cinco, porque los demás ya han muerto”, comenta Lyn Evans entre risas joviales. Algunos de los directores de más edad no se suman a las risas. Aun así, queda patente que están encantados, y muy trajeados se acercan a Evans y comparten su alegría con éste, cuya indumentaria es más del estilo CERN (vaqueros y zapatillas). Llegan mensajes de felicitación de todos los grandes laboratorios de física de partículas del mundo entero. El más original se debe a Nigel Lockyer, director del laboratorio canadiense TRIUMF, quien escribe, parafraseando las palabras de Neil Armstrong al pisar la luna: “Un pequeño trayecto para un protón, pero un gran salto para la humanidad.”

Efectivamente, el LHC representa una aventura extraordinaria para la humanidad. Es una aventura de ingeniería civil de gran envergadura. Supone, entre otras cosas, excavar una caverna artificial de casi 80.000 metros cúbicos a una profundidad de 100 metros; como para llenar la nave de la catedral de Canterbury. Es una aventura de vanguardia en materia de tecnología, con el desarrollo de materiales nuevos e instrumentos innovadores. Es una aventura sin precedentes en tecnología de la información, con un flujo de datos de aproximadamente un millón de gigabytes por segundo, lo cual equivaldría a que un solo operador estuviera gestionando a la vez una decena de llamadas telefónicas por cada habitante de la Tierra. Pero ante y sobre todo es una aventura intelectual fantástica, pues el LHC explorará espacios en los que ningún experimento anterior ha sido capaz de penetrar. El LHC es un viaje al interior de la estructura más profunda de la materia, y se propone descubrir las leyes fundamentales que determinan cómo se comporta la naturaleza. Lo que está en juego es comprender los principios últimos que gobiernan el universo; saber cómo y, sobre todo, por qué la naturaleza funciona tal como la vemos funcionar.

El aspecto más fascinante del LHC es su viaje hacia lo desconocido. El LHC actúa como un gigantesco microscopio capaz de visualizar distancias inferiores a unos 100 zeptómetros. El zeptómetro es una unidad de medida poco usada que equivale a una millonésima de billonésima de milímetro. El término lo inventó en 1991 la Oficina Internacional de Pesos y Medidas, dando esta explicación: “el prefijo ‘zepto’ se deriva de ‘septo’, que sugiere el número siete (la séptima potencia de 1.000), y la letra ‘z’ sustituye a la ‘s’ para evitar un uso duplicado, ya que ‘s’ representa un símbolo”*. Es

* Resolución 4 de la 19ª reunión de la Conferencia General de pesos y medidas (1991).

una definición extraña para una unidad de medida extraña. Todo lo que rodea a la palabra “zepto” es tan extraño que me parece muy adecuada para describir el espacio extraño y desconocido de las distancias extremadamente pequeñas. Hasta ahora, sólo han tenido acceso al espacio infinitesimal, de no más de unos pocos zeptometros, las partículas elementales y la imaginación desbordada de los físicos teóricos. En este libro, usaremos la palabra *zeptoespacio* para referirnos a dicho espacio. El LHC será la primera máquina que explore el zeptoespacio.

Mientras que la misión tripulada a la luna tenía un objetivo concreto, visible para cualquier persona en una noche de cielo despejado, el viaje que ha iniciado el LHC es una odisea hacia espacios más extraños donde nadie puede predecir con exactitud con qué nos encontraremos o a dónde llegaremos. Es una búsqueda de mundos desconocidos, realizada con complejas tecnologías de vanguardia, y guiada por especulaciones teóricas cuya comprensión requiere conocimientos de física y matemáticas avanzadas. Estos son justamente los aspectos que han envuelto el trabajo de los físicos en un halo de misterio esotérico, desanimando a los no iniciados. Pero con este libro se pretende mostrar que las cuestiones que suscitan los resultados del LHC son fascinantes y de interés para quien quiera que crea que merece la pena hacer preguntas fundamentales sobre la naturaleza.

Obviamente, los gobiernos de los 20 estados europeos miembros del CERN creen que merece la pena plantearse estas preguntas, ya que han invertido grandes recursos en esta empresa. La construcción del acelerador LHC costó unos 3 mil millones de euros, incluyendo las pruebas, la construcción de la máquina y la contribución del CERN a la computación del LHC y a los detectores, pero sin incluir el coste de los recursos humanos del CERN. Este enorme esfuerzo financiero no habría sido posible sin unas aportaciones sustanciales de muchos países que no son miembros del CERN: Canadá, India, Japón, Rusia, y los EE.UU., entre otros. El diseño, la construcción, y las pruebas de los instrumentos se hicieron con la participación de físicos de 53 países y cinco continentes (desafortunadamente, ningún físico ni ningún pingüino del Antártico se animó a participar). El LHC es un ejemplo admirable de colaboración internacional en nombre de la ciencia. Dado que el LHC se construyó con fondos, trabajo, y contribuciones intelectuales de tantos países distintos, sus resultados constituyen una valiosa pro-

piedad de toda la humanidad. Estos resultados no se obtienen solamente para beneficiar a unos pocos físicos, y su carácter técnico y especializado no debería ocultar la importancia de su contenido intelectual universal.

El LHC es el proyecto científico más complejo y ambicioso jamás emprendido por la humanidad. Cada uno de los desafíos a los que ha habido que hacer frente durante su diseño y su construcción ha requerido avances en las fronteras de la tecnología. La investigación que dio lugar al LHC sin duda tendrá aplicaciones prácticas más allá del uso puramente científico. Al fin y al cabo, el World Wide Web se inventó en el CERN en 1989 para que los físicos pudieran intercambiar datos e información entre laboratorios situados en extremos opuestos del globo. Cuatro años más tarde, el CERN decidió ponerlo a disposición del público, y de este modo ofreció al mundo un instrumento que ahora se ha vuelto insustituible en nuestra vida cotidiana. La investigación fundamental con frecuencia da frutos inesperados. A mediados del siglo XIX, William Gladstone, Canciller del Exchequer, preguntó al físico Michael Faraday, quien investigaba sobre electromagnetismo, qué aplicación podrían tener sus descubrimientos. “No lo sé, señor” respondió Faraday, “pero algún día podrán gravarlo con impuestos.”

Sin embargo, para los físicos el objetivo final del LHC es el conocimiento puro. La ciencia enriquece a la sociedad en mucha mayor medida que todas sus aplicaciones tecnológicas. En 1969, Robert Wilson, el director de un laboratorio americano puntero de física de partículas, fue llamado a testificar ante el Congreso. El debate se centraba en las posibles justificaciones de gastar 200 millones de dólares en un proyecto de física de partículas. El senador John Pastore, del Comité conjunto de energía atómica del Congreso, interrogó a Wilson. En su respuesta, Wilson expresó de forma mordaz lo que significa la investigación fundamental.

PASTORE: ¿Hay algo relacionado con las esperanzas de este acelerador que de alguna manera implique a la seguridad de nuestro país?

WILSON: No señor, no creo.

PASTORE: ¿Nada en absoluto?

WILSON: Nada en absoluto.

PASTORE: ¿No tiene ningún valor a este respecto?

WILSON: Sólo tiene que ver con el respeto que nos tenemos los unos a los otros, la dignidad de los hombres, nuestro amor por la cultura... No tiene nada que ver directamente con la defensa de nuestro país, salvo en el sentido de hacer que merezca ser defendida.”*

Este libro trata del viaje emprendido por el LHC: por qué se emprendió y qué queremos aprender de él. El tema es inherentemente amplio, complicado y muy técnico, mientras que el alcance de este libro es comparativamente modesto. No voy a cubrir todos los temas de forma sistemática, y no pretendo dar una visión completa de la historia del LHC. Lo que me propongo es proporcionar un atisbo de las cuestiones que están en juego desde el punto de vista de un físico, a la vez que hago énfasis en el alcance intelectual y la profundidad de las preguntas que plantea el LHC. Quiero ayudar al lector a que comprenda el significado de este viaje y por qué toda la comunidad científica de físicos de partículas está tan emocionada y tan ansiosa por conocer los resultados.

La primera parte del libro se ocupa del mundo de las partículas y del modo en que los físicos lo han llegado a comprender. No es posible apreciar los resultados del LHC sin tener unas nociones de qué es el mundo de las partículas. Como dijo una vez el físico teórico Richard Feynman: “Yo no entiendo por qué los periodistas y demás quieren conocer los últimos descubrimientos de física incluso cuando no saben nada de los anteriores descubrimientos que dan sentido a los descubrimientos últimos.”**

El LHC es una máquina de superlativos, donde se lleva al límite la complejidad tecnológica. La segunda parte del libro describe lo que es el LHC y cómo funciona. Las innovaciones tecnológicas necesarias para construir el LHC no fueron más que uno de los muchos aspectos sorprendentes de esta aventura científica. También conoceremos los detectores empleados para estudiar las partículas que se crean en las colisiones entre partículas dentro del LHC. Estos instrumentos son maravillas modernas que aúnan la microtecnología de vanguardia y proporciones gigantescas.

* Transcripción del “Congressional Joint Committee on Atomic Energy” (1969), reimpresso en *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 146, no. 2, 229 (2002).

** R.P. Feynman, citado en S. Weinberg, *The Discovery of Subatomic Particles*, Cambridge University Press, Cambridge 2003.

El LHC es un proyecto diseñado primordialmente para explorar lo desconocido. Así pues, este libro concluye con un esbozo de los fines y las expectativas científicas en torno al LHC. La tercera parte se ocupa de una de las preguntas más importantes relacionadas con las finalidades del LHC. ¿Cómo se imaginan el zeptoespacio los físicos? ¿Por qué habría de existir el misterioso bosón de Higgs? ¿El espacio oculta una supersimetría o abarca dimensiones adicionales? ¿De qué manera puede la colisión de protones en el LHC desvelar los secretos del origen de nuestro universo? ¿Es posible producir materia oscura en el LHC?

NOTA PARA EL LECTOR

En física de partículas, con frecuencia se emplean números muy grandes y muy pequeños. Por esta razón en algunos casos me veré obligado a optar por la notación científica, aunque la evitaré siempre que sea posible. Así pues, es necesario saber que 10^{33} es igual al dígito *uno* seguido de 33 ceros: 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000. Podría decir *mil millones de billones de billones*, pero 10^{33} es mucho más conciso y legible. Del mismo modo, 10^{-33} es igual a 33 ceros seguidos del dígito *uno*, con la coma decimal después del primer *cero*. Es decir, que 10^{-33} es una mil millonésima de billonésima de billonésima, ó 0, 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 001. No se requieren conocimientos previos de física de partículas para leer este libro. En la medida de lo posible, he limitado el uso de términos técnicos; cuando son indispensables, su significado se aclara en el texto. Para facilitar la lectura, se incluye un glosario de términos técnicos al final del libro.