

DISCURSO DE TOMA DE POSESIÓN COMO
ACADÉMICO DE HONRA DE
CARLOS PAJARES VALES

25 de maio de 2022

TÍTULO

“Sencillez y Belleza en la Naturaleza y en la Ciencia
(En busca de la simetria perdida)”

Señor Presidente, señoras e señores membros da Academia, autoridades, señoras e señores.

Para mín e unha gran satisfacción ser nomeado académico de honra da Academia Galega de Ciencias, que sen dubida, ten que ver coa simpatía con que me miran os seus membros, especialmente o Presidente, o profesor Juan Lema. A todos, gracias. Neste acto, teño a oportunidade de agradecer en voz alta a moitas persoas que sen eles no sería posible, nin a miña traxectoria, nin o traballo realizado. Como a veces se dín cando toca un premio, este honor esta moi repartido, por eso quero mostrar o meu agradecemento a todos os que me axudaron .

Cando o Presidente me comunico o acordo, me indico coa Academia tivo en conta : a miña traxectoria investigadora e o papel xogado no crecemento e prestixio do Instituto de Física de Altas Enerxias da USC, o pulo dado a investigación en Galicia na etapa como rector da USC, e finalmente o traballo de divulgación da Ciencia realizado

Escomenzando por esto última, agradezo a todas as persoas que a fixeron posible, os profesores de Instituto, e os diversos Foros que me invitaron a dar conferencias de divulgación, así como os xornais que me acolleron nas suas páxinas, en especial ao El Correo Gallego e o seu Director que sempre me animo para divulgar Ciencia, especialmente coa publicación do suplemento Omega de Ciencia que na década dos noventa, durante cinco anos apareceu todos os fins de semán. Non me podo esquecer da editorial Salvat de Barcelona que en 1976, publico o libro La Nueva Física, nunha colección de 100 libros de divulgación, traducido a outros idiomas e vendendo mais de trescentos mil exemplares.

O segundo mérito que se indicaba era o pulo dado a investigación na etapa como Rector. Este mérito o teño que

compartir coa maior parte das persoas da Universidade, que na década dos oitenta cunhas grandes ansias e ilusions, empurraban para acadar unha boa Universidade investigadora, homologable as boas europeas. Esa ilusión, se atopaba por doquier, aínda que tamén había fortes resistencias, inercias e dificultades que había que superar. O equipo rectoral non fixo máis que dar canle a ese impetu e dirixir todos os seus esforzos a empezar o proceso de insertar a nosa Universidade no camiño das mellores. Eu dou as gracias a todos eles, en especial o magnífico equipo rectoral que tive a honra de encabezar. Todos prestixiosos no seu campo. Todos traballaron sen descanso e con acerto. Permitanme mencionar os falecidos Xaquín Álvarez Corbacho e Miguel Cortizo e os dous Vicerrectores de investigación que tive, Xose Sordo e Florencio Arce. O pulo dado a investigación na Universidade, prioritario por riba de calquera outro aspecto, foi compatible cunha etapa de intensa transformación e crecemento.

En efecto, nese tempo se construíron so en Santiago cinco edificios de Facultades, dúas Residências Universitarias (Burgo e Bosque da Condesa) a casa da Conga sede do Consello Social e a da Balconada para os servicios económicos, así como se urbanizaron o Campus Sur e o Norte. Igualmente se construíron edificios nos Campus de Lugo, Vigo, A Coruña, Ferrol, Pontevedra e Ourense así como se urbanizaron os de Vigo e Lugo. O mesmo tempo se fixeron os primeiros Estatutos da Universidade, se axudou a facer as transferências da Universidade a Xunta de Galicia e se fixo o proceso de transformación da Universidade de Santiago en três Universidades. Sen embargo, a actividade no eido da investigación no se veu mermada por ese intenso traballo. Así, se crearon programas e servicios de investigación necesarios e imprescindibles para que se fixera posible a inserción dos nosos investigadores na Comunidade Científica internacional. Relevante foi a ordenación da Biblioteca

Universitaria, a construción do Animalario, do edificio de Mantenemento, o Arquivo, o servizo de transferencia de tecnoloxía que foi posto en marcha polo Presidente, Juan Lema, Tamén se informatizou da Universidade, (a Universidade foi a primeira Institución que tivo correo electrónico e Internet en Galicia , aproveitando a relación de investigadores co CERN). Se crearon máis de trinta prazas de investigación, catedráticos e titulares , pasando o examen da axencia española de investigación. Esta creación quería ser o xermen dunha prantilla de investigadores. Desgraciadamente estas prazas foron subsumidas posteriormente na prantilla usual que se establece por necesidades docentes. Así as áreas que acadaron as prazas de investigadores foron sinaladas como excedentarias e tiveron que asumir as consecuencias negativas do adxetivo ata hoxe.

Desgraciadamente Galicia e a súa Universidade estivo fora das grandes revolucións científicas do século pasado e do anterior, tendo consecuencias graves no desenvolvemento da súa riqueza. Por eso era obrigatorio dar prioridade a investigación, non como un luxo, senón como unha necesidade e a eso nos aplicamos.

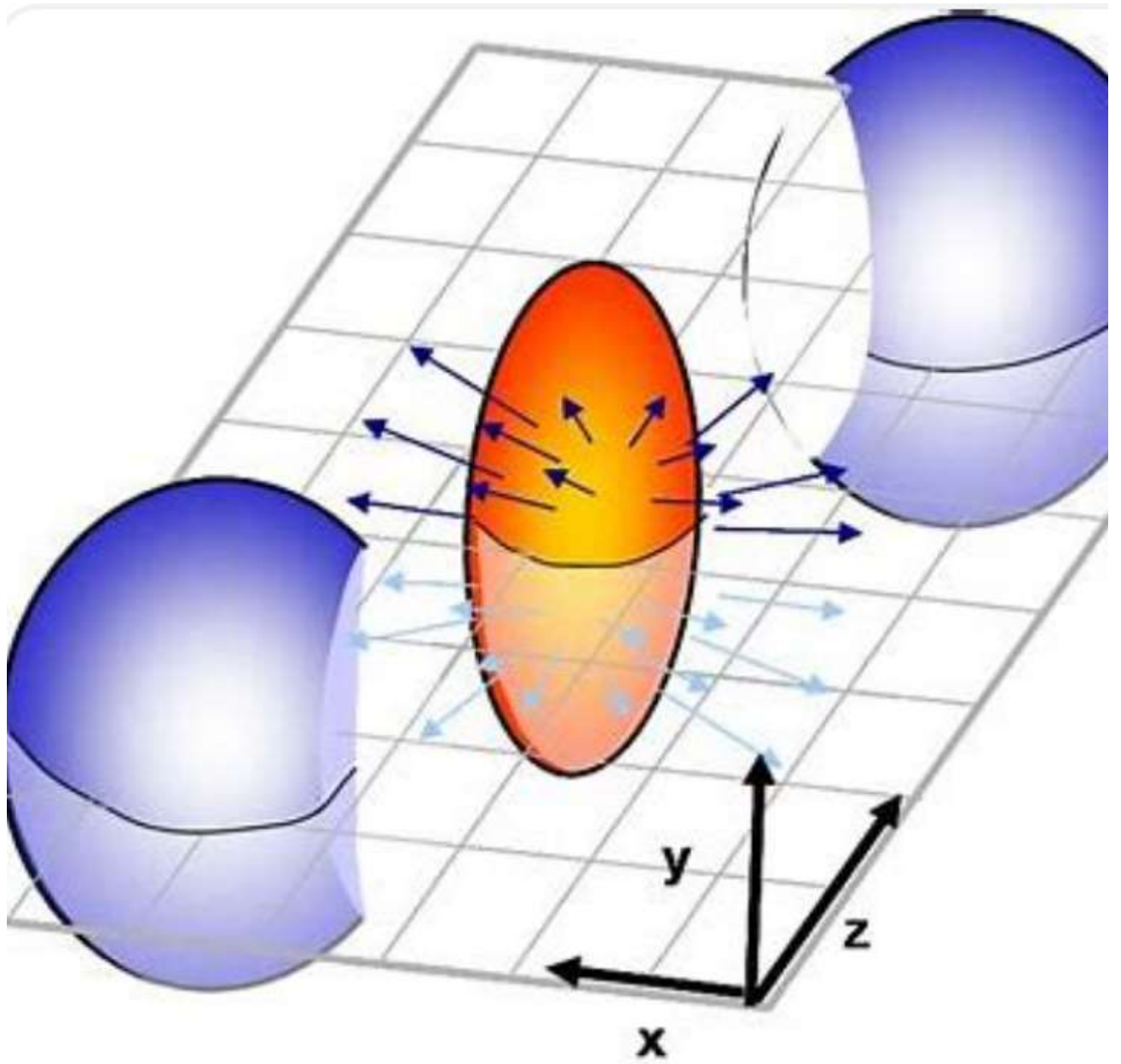


Figura 1

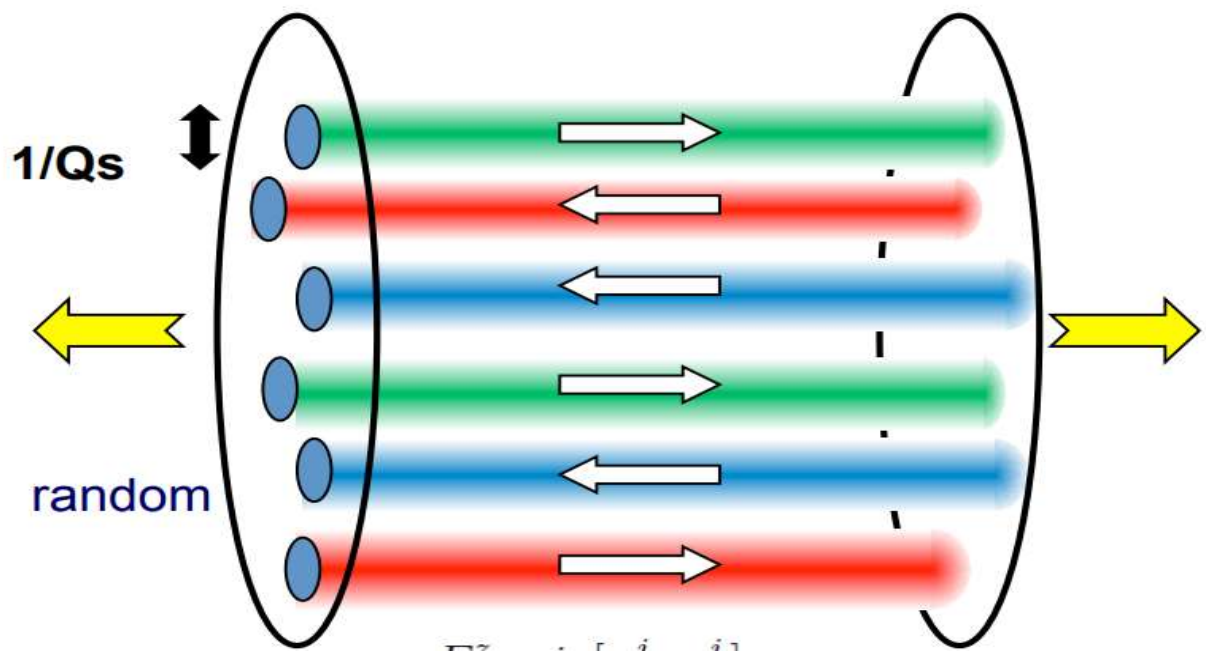


Figura 2

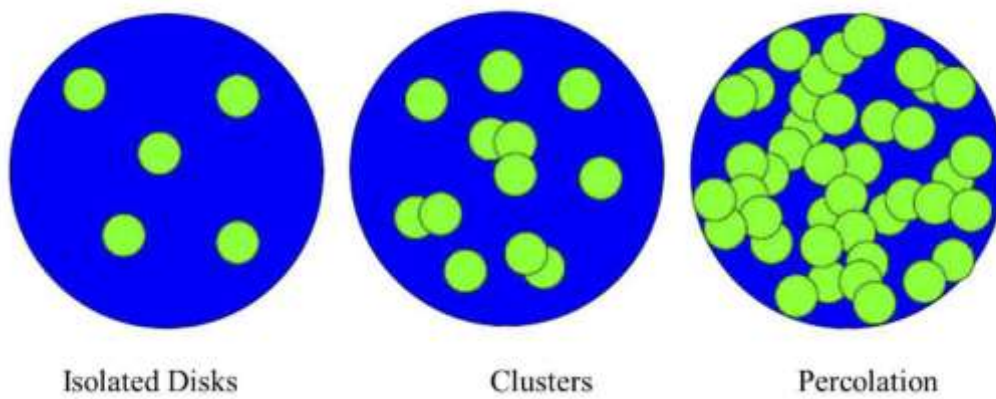


Figura 3

Mi interés como investigador se ha concentrado en las interacciones fuertes entre partículas elementales y núcleos. En particular, como los quarks y gluones, constituyentes últimos de la materia, que se encuentran confinados dentro de las partículas elementales, se pueden liberar y formar un gas o una sopa de quarks y gluones. Esta transición se dio en sentido contrario en el origen del Universo en tiempos próximos al Big-Bang, donde al enfriarse el Universo debido a su rápida expansión, los existentes quarks y gluones libres pasaron a estar confinados dentro de las partículas elementales. Para estudiar esta transición de fase, desarrollamos la percolación de cuerdas. En las colisiones entre partículas y entre núcleos (ver figura 1) se forman configuraciones del campo correspondiente que son como cuerdas, entre los quarks de los objetos incidentes (Figura 2). Mirándoles transversalmente cada cuerda es como una gotita. Al aumentar la energía o la centralidad de la colisión se forman más y más gotitas, de tal manera que empiezan a solaparse unas con otras. A una densidad crítica de gotas se forma un charco de gotitas extendiéndose a lo largo de toda la superficie de la colisión (Figura 3). Los quarks y gluones están dentro de ese charco y ya no están confinados dentro de las partículas elementales, sino que ocupan toda la superficie. La percolación de cuerdas tiene importantes consecuencias experimentales alguna de ellas fue comprobada posteriormente a la predicción

En mi trayectoria investigadora colabore con muchos investigadores. Permítanme agradecer a todos ellos, con los que disfrute y discutí sobre Física durante mucho tiempo de mi vida. Algunos de ellos forman parte del Instituto Gallego de Altas Energías, Instituto que alcanzo en 2015 el reconocimiento como Centro de Excelencia María de Maeztu y tiene un amplio reconocimiento internacional. Varios de sus miembros han

conseguido Advanced Grants y Starting Grants y muchos de ellos tuvieron en su tiempo contratos Ramon y Cajal. En el Instituto no se realiza solamente Física Teórica sino también Experimental, lo que entraña dificultades adicionales. Es un orgullo constatar el aprecio que tienen a los grupos experimentales del IGFAE las colaboraciones internacionales, especialmente en el CERN.

Hace 43 años, en Septiembre de 1979, empezaba la Física de Partículas con un despacho de 5 metros cuadrados dentro de la Facultad de Químicas. El edificio de la Facultad de Física se inauguró en el curso 85-86, la Facultad oficialmente se creó en el DOE de 25 Julio de 1981, día de Galicia y de Santiago. Ahora es una satisfacción constatar que el proceso iniciado dio sus frutos, en un camino no exento de dificultades e incomprensiones, gracias al trabajo, a la ilusión y calidad científica de sus miembros.

Para mi es un orgullo constatar que mi consideración internacional es en gran parte debida a mis discípulos que muchos de ellos son indispensables y requeridos para plenarios en las principales conferencias del campo y en muchos proyectos y consejos científicos internacionales. Sus publicaciones están entre las más citadas del campo y de nuestra Universidad. Mi agradecimiento a todos ellos.

No quiero acabar el apartado de agradecimientos sin mencionar a mi hija y a mi mujer. Sin la última, no me hubiese quedado en esta querida tierra.

Permitirme ahora hacer unas pequeñas reflexiones sobre la Sencillez y Belleza en la Ciencia y en la Naturaleza.

La sencillez es una cualidad que la apreciamos y de alguna manera nos atrae. A veces nos referimos a personas sencillas a

las que viven sin grandes alharacas y sin darse importancia, no tienen doblez alguna, actúan naturalmente. No se trata de que interiormente se crean importantes y a pesar de ello digan que no tienen importancia, sino que lo dicen porque están convencidos de que realmente son tan importantes como los demás, no más. Los sencillos están abiertos a la vida. Nuestra capacidad de conocer esta en relación con nuestra disponibilidad ante la vida. María Zambrano dijo "todo es revelación, todo lo sería de ser recibido en estado naciente". Es decir, recibir todo como lo hacen los niños que son verdaderas esponjas.

La sencillez es un atributo que se reserva para las personas o para determinadas cosas o problemas, sin embargo, es menos frecuente decir que la naturaleza es simple. A veces utilizamos para ella otros atributos como decir madre naturaleza como el título de la famosa novela de Emilia Pardo Bazán, o hermana naturaleza como decía Francisco de Asís. Al expresarnos así reflejamos de una manera cariñosa que nos sentimos abrazados por ella y que también deseamos abrazarla. Consideramos a la naturaleza como un ser vivo. De hecho, la raíz de la palabra naturaleza es nacer.

La sencillez y simplicidad de la naturaleza han sido expresadas por filósofos y científicos a lo largo de la humanidad dando voz al sentimiento humano.

Aristóteles dice " La naturaleza no hace nada en vano" Averroes insiste en la misma idea diciendo " En la naturaleza no hay nada superfluo" .El fraile franciscano Occam en el siglo XIII dice: De todas las posibilidades la teoría más sencilla es la más probable.

Newton, en el principio de la tercera parte de la obra Principios Matemáticos de Filosofía Natural, titulada el sistema del Mundo, dice: La naturaleza no hace las cosas en vano y es vano lo que

sucede por efecto de mucho cuando basta con menos. La naturaleza es simple y no prodiga la causa de las cosas. Más adelante “ Es evidente que no se puede fantasear contra el curso de los experimentos, ni alejarse de la analogía de la naturaleza, ya que esta es siempre simple y coherente”.

Dando un salto al siglo XX, Heisenberg dice: El conseguir conjugar la diversidad de la naturaleza con la unidad y que esa diversidad aparezca en ella unificada, tiene como consecuencia que la podamos percibir como algo simple y bello al mismo tiempo. El papel que desenvuelve la belleza en el descubrimiento de la verdad fue reconocido y señalado en toda época. La expresión latina “Simplex sigillum veri” (la simplicidad es el sello de lo verdadero) aparece escrita en el Auditorio de la Facultad de Física de la Universidad de Gottingen, a modo de admiración, para los que pretenden descubrir la verdad. Otra expresión “Pulchritudo splendor veritatis” (la belleza es el resplandor de la verdad) puede interpretarse en el sentido de que el investigador puede reconocer la verdad en primer lugar por su resplandor, por la forma que como resplandece su brillo.

El gran físico C.N.Yang decía en Santiago: A mí me fascinan las simples y bellas reglas que rigen nuestro Universo, su belleza es increíble. No es fácil expresarlo con palabras. La inmensidad de esa belleza me da una sensación de respeto. Me pregunto como se pudo crear una estructura tan magnífica. Me da una sensación profundamente religiosa en el sentido más intenso de la palabra.

¿Por qué la naturaleza es simple y bella? No es fácil contestar a esa pregunta fuera de la Religión.

Unificar la diversidad de fenómenos que se da en la naturaleza ha sido una constante en los avances de la Ciencia. En la naturaleza existe una maravillosa diversidad que se extiende a todas las escalas y tiempos desde la más pequeña a la más

grande, desde las hojas de un mismo árbol donde no nunca hay dos iguales, a las de dos árboles de la misma especie situados uno al lado del otro y sin embargo nunca iguales, la configuración interna de dos protones nunca iguales o a dos galaxias próximas siempre diferentes, o dos estrellas dentro de ellas, sin mencionar el hecho de no existir ni haber existido dos seres humanos iguales. Tampoco hay dos días iguales.

El gran físico matemático Freeman Dyson argumentaba que en la teoría de la evolución, se debía añadir el principio de que la naturaleza iba siempre hacia la máxima diversidad posible. De acuerdo a ello, añade "las leyes de la Naturaleza y las condiciones iniciales son tales que hacen el Universo lo más interesante posible". El biólogo Margalef en sus estudios sobre la Termodinámica de los ecosistemas, también apuntaba en la misma dirección

En la Historia de la Ciencia ha habido grandes unificaciones que han dado lugar a grandes avances científicos y algunas también a profundas consecuencias sociales y económicas. Se puede decir que el primer gran unificador fue Newton al darse cuenta que la caída de una manzana de un árbol se regía por la misma ley que las órbitas de los planetas alrededor del Sol, proponiendo la ley de la gravedad y al mismo tiempo formular las leyes que debían cumplir todos los movimientos. Para calcular las trayectorias tuvo que desarrollar el cálculo diferencial. (Al mismo tiempo lo hacía Leibniz) La diversidad de movimientos quedaban unificados por las leyes, principios les llama. Su obra de 1666 (a sus 23 años) tuvo una repercusión enorme y es clave para la Historia de la Humanidad. Incluso territorios aparentemente alejados, como el de la Economía, fueron influenciados y lo hicieron el sentido de unificación de fenómenos. De hecho, en la obra fundamental de Adam Smith: La riqueza de las naciones, aparecen muchas similitudes, tanto en la metodología, como en el uso de términos

(por ejemplo, usa principios como Newton y no leyes) y en el análisis. El comportamiento de los precios de los bienes se interpreta como si fuesen atraídos por un centro de gravitación que actuaría como punto ideal de equilibrio. Smith, inspirado por Newton, unifica todos los intercambios comerciales mediante el principio del equilibrio entre la oferta y la demanda.

En el siglo XIX el proceso de unificación en Ciencia prosiguió. Mendeleiev reúne y clasifica a los diversos elementos químicos en filas y columnas de acuerdo con sus propiedades empíricas. Más adelante en el siglo XX, se comprendería que este sistema periódico de los elementos es debido a las simetrías que tiene el potencial coulombiano y el principio de Pauli. Este principio es debido también a la simetría que poseen los electrones, a saber, de las representaciones del grupo de las permutaciones, la naturaleza elige para los electrones la que es antisimétrica, lo cual implica que dos electrones no pueden tener los mismos números cuánticos o en otro lenguaje, los electrones no pueden estar en el mismo estado, o si se quiere que a los electrones no les gusta estar juntos, les gusta la soledad. Por el contrario, para un sistema de partículas con spin entero, bosones, la naturaleza elige la simétrica lo que implica que a los bosones les gusta estar juntos. Estas propiedades tienen importantes consecuencias tanto en la evolución de la estabilidad de ciertas estructuras como las estrellas y las estrellas de neutrones, como en aplicaciones, por ejemplo, en los fundamentos del laser

¿Por qué la naturaleza elige estas representaciones y no otras?
¿Por qué elige las más simples?

En el siglo XIX también se unificó la Electricidad y el Magnetismo debido a los trabajos de Faraday y Ampere , englobando todos los fenómenos en las ecuaciones de Maxwell, que son simétricas bajo las transformaciones de gauge de un grupo uniparamétrico, $U(1)$. Además, la propagación de la luz no

es nada más que la propagación de campos electromagnéticos. La Óptica queda así incluida en esta unificación

Siendo esta unificación científica importante y de gran impacto, hubo otra, quizás de mayor repercusión, nos referimos a la Teoría de la evolución de Darwin y Wallace. Bajo ella, toda la diversidad de las especies vivas, aparecen relacionadas mediante el proceso evolutivo. Los avances de la genética en el siglo XX, con especial mención al descubrimiento de la estructura y composición del ADN por Crick y Watson, hicieron más palpable la unificación de todas las especies. Todo ello implica una revolución en muchos campos, empezando por la Medicina.

En el siglo XX se acentúan las unificaciones y el papel en ellas de la Simetría y de la Geometría. La importancia de la Simetría en Física no se hizo evidente hasta el nacimiento de la Mecánica Cuántica, aunque Lie y sus grupos continuos pertenecen al siglo XIX. En ella los estados de un sistema dinámico aparecen denominados por números cuánticos que designan las propiedades de Simetría del estado. Además de los números cuánticos hay reglas de selección que gobiernan el cambio de números cuánticos en las transiciones entre estados. Los números cuánticos y las reglas de selección fueron descubiertos empíricamente antes de la Mecánica Cuántica pero su significado en términos de Simetrías solo se evidencia después de su nacimiento. Las leyes de conservación de la energía, del momento o del momento angular no son nada más que consecuencia de la invariancia de las leyes de la Física frente a las traslaciones temporales, traslaciones espaciales o de rotación respectivamente. Así, después de 1925, la Simetría empieza a impregnar la Física Atómica y luego la Nuclear y la Física de Partículas Elementales.

Sin embargo, la Simetría en la Naturaleza ha sido fuente de inspiración de la humanidad a lo largo de toda su Historia, fuera

de la Ciencia, sin esperar al nacimiento de la Mecánica Cuántica. Pongamos tres ejemplos:

La arquitectura y la escultura de Grecia, paradigma del clasicismo. En ella se acuña la definición de la belleza: La conformidad de las partes con el todo. La diversidad de las partes son contempladas unificadas en el conjunto de la obra. El todo es más que las partes, no es solo la suma de las partes. (Figuras 4 y 5)

Figura 4





Figura 5

El segundo ejemplo es la cultura árabe que se manifiesta en las mezquitas, palacios y jardines. La Alhambra es uno de sus máximos exponentes. (Figura 6) En sus mosaicos y decoraciones se pueden encontrar representados los 17 grupos cristalográficos. La existencia de solo 17 grupos cristalográficos fue demostrado por Fedorov al final del siglo XIX. Estos 17 son los únicos grupos espaciales en dos dimensiones (Figura 7). Los

arquitectos y artistas árabes no conocían el teorema, pero conocían e impulsaron la Geometría y el Álgebra, lo que conjuntamente con su búsqueda de la belleza, hizo que su inspiración quedase plasmada en la Alhambra. (Figura 8)



Figura 6

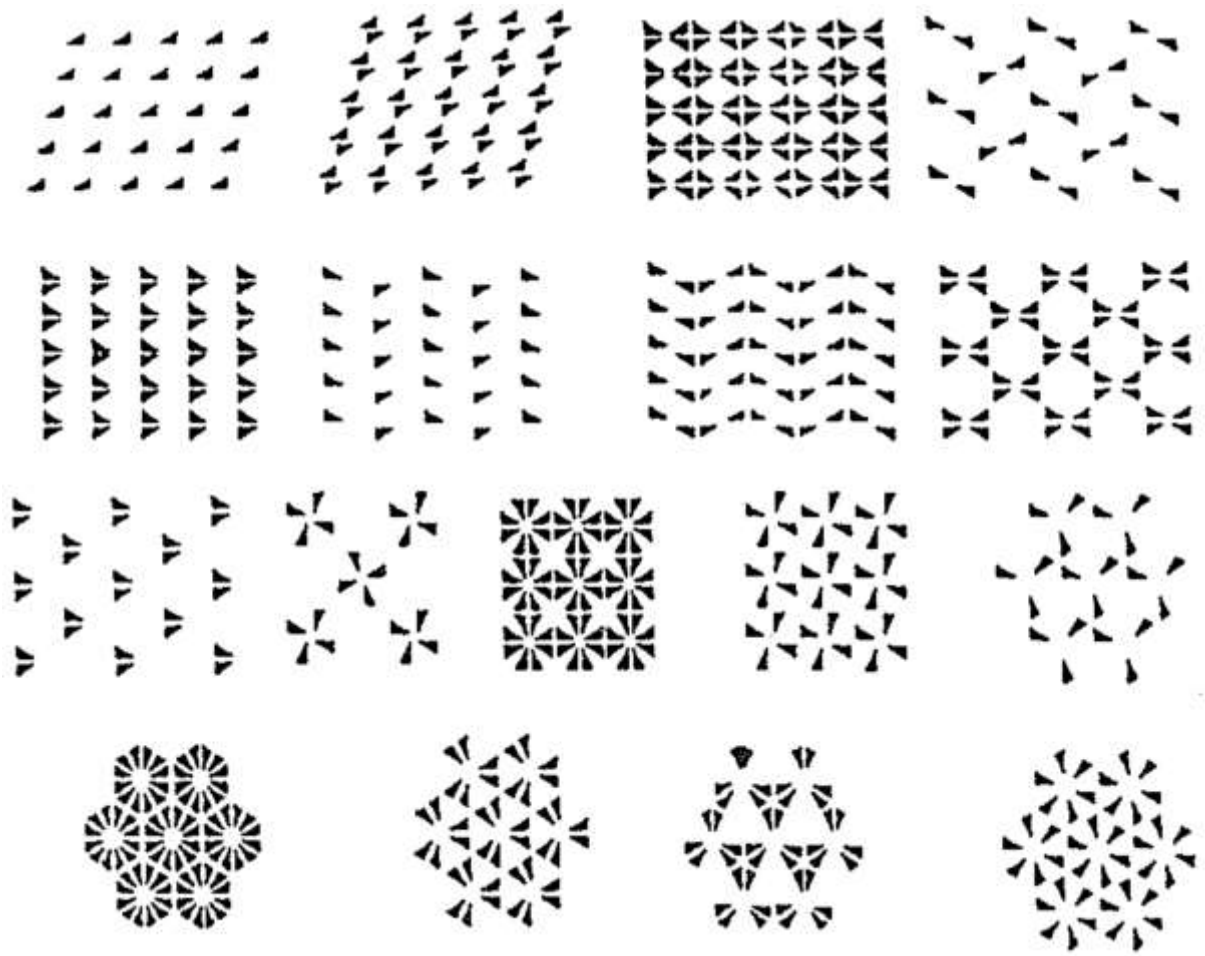


Figura 7

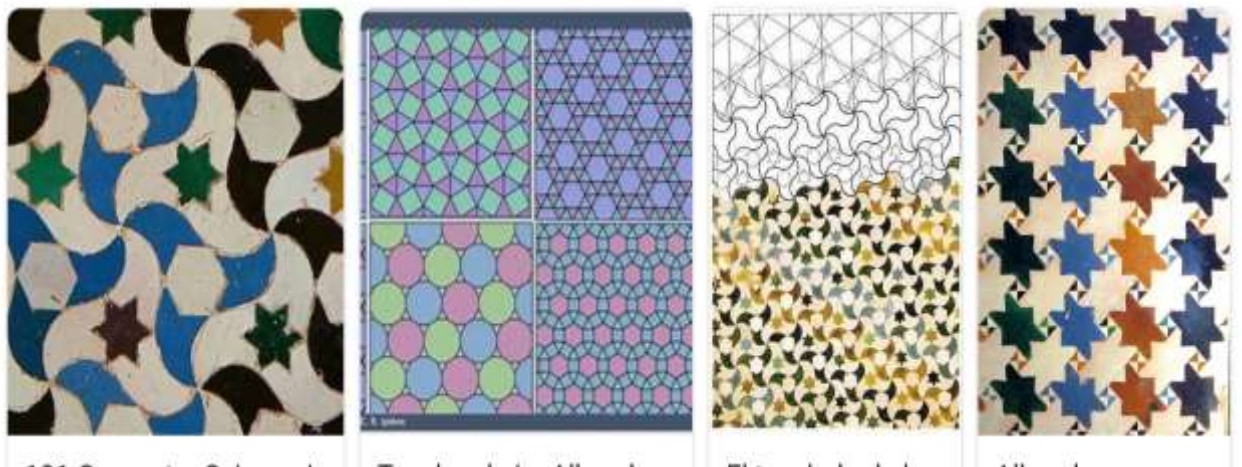




Figura 8

Un tercer ejemplo es la música y en particular Johan Sebastián Bach. La música de Bach por su estructura, sus proporciones, contrapunto y belleza se ha asociado a las Matemáticas. C.N. Yang en una conferencia dada en la USC, mostro la partitura de la transcripción para un dueto de violines del Canon del Cangrejo de la Oferta Musical de Bach. En ella la música de un violín es la versión revertida temporalmente de la música del otro. (Figura 9) La composición es invariante frente a la inversión temporal. Es claro que para componer tal música Bach debía tener interiormente un profundo sentido de la Simetría, asociado a la belleza.



Figura 9

El siglo XX empieza con una de las revoluciones de la Física. En 1905 Einstein publica la Teoría de la Relatividad Restringida donde el espacio y el tiempo están entrelazados. De alguna

manera son simétricos. Los cambios de un sistema de referencia a otro que se mueve respecto al anterior con una velocidad constante, se realizan mediante las transformaciones del grupo de Lorentz, transformaciones que dejan invariante las distancias del espacio-tiempo, distancias que no son euclídeas sino que obedecen a las métricas de un espacio-tiempo curvo. Este hecho lo puso de manifiesto un artículo famoso de Minkowski. Una consecuencia de la relación entre el espacio y el tiempo es que la energía y la masa están relacionadas, pudiéndose transformar una en otra. Espacio-Tiempo y Masa-Energía aparecen así unificados, significando un cambio conceptual extraordinario, por lo que su aceptación tuvo muchas resistencias.

El hecho de que todas las leyes de la Física, en especial las ecuaciones de Maxwell fuesen invariantes bajo el grupo de Lorentz no dejó totalmente satisfecho a Einstein quién en 1908 escribió " el requisito básico de la teoría especial de la relatividad (invariancia bajo el grupo de Lorentz) es demasiado estrecho y una invariancia de las leyes deben ser postuladas también bajo las transformaciones no lineales de coordenadas en el continuo de cuatro dimensiones" Esta invariancia más grande, perseguida por Einstein, después de ocho años, dio sus frutos en la Teoría de la Relatividad General. C.N. Yang apunta que este es el primer ejemplo de que la Simetría dicta (establece) las interacciones. No es solo que establece leyes de conservación, sino que determina la interacción. En la Teoría General de la Relatividad el espacio-tiempo está determinado por la energía-masa mediante la famosa ecuación de Einstein. La métrica del espacio-tiempo está determinada por la energía. El espacio y el tiempo se curvan fuertemente cerca de una alta densidad de materia o de energía. La relación entre la Geometría y la Física se hace de esta manera muy patente.

Nada más proponerse los cimientos de la Mecánica Cuántica y la ecuación de Schrödinger, Dirac propone en 1927 una ecuación relativista para los electrones (y demás partículas de spin semientero) que también admitía soluciones para las partículas que resultaban de aplicar la simetría de la conjugación de carga a los electrones (y demás partículas de spin semientero). Por tanto predijo la existencia de muchas otras partículas que fueron descubriéndose posteriormente, empezando por el positrón, antipartícula del electrón. Para su ecuación era necesario usar el álgebra de Clifford y sus representaciones. Dirac no lo conocía (era muy joven, veintitantos años) pero la construyó por necesidad. No es extraño que afirmase: Una ley física debe poseer belleza matemática.

En 1954 C.N. Yang y R. Mills proponen las teorías de gauge no abelianas, simétricas bajo transformaciones no conmutativas, que después resultarían clave para la unificación de la interacción débil con la electrodinámica y también para establecer la teoría de las interacciones fuertes, la cromodinámica cuántica (QCD). La propuesta no gustó a algunos científicos notables como Pauli que estaba pensando correctamente en que los intermediarios de la interacción débil deberían tener mucha masa para explicar que la interacción debía ser de muy corto alcance, y además su carácter débil. En principio la simetría gauge, como en el caso de la electrodinámica, implicaba que la masa de las partículas mediadoras de la interacción, bosones de spin 1, debía ser cero, como en el caso del fotón.

C. N. Yang cuenta, que en el seminario que dio en Princeton para explicar su trabajo, Pauli a los cinco minutos le pregunto cual era la masa de los bosones vectoriales de la teoría. Yang dijo que más adelante de su exposición lo discutiría. Al cabo de otros 10 minutos Pauli se levanto y dijo que si no contestaba a su

pregunta no merecería la pena continuar. Oppenheimer director de Princeton, intervino tratando de intermediar, proponiendo que los presentes pensasen como podrían adquirir masa esos bosones vectoriales. Después de más de tres cuartos de hora, nadie fue capaz de dar con una respuesta acertada. Solo diez años después, P.Higgs e independientemente Brout y Englert propusieron la solución. Es la llamada rotura espontánea de la simetría. El hamiltoniano que describe la interacción tiene la simetría. Los estados propios de él también, pero si están degenerados, cada uno aislado no la tiene, aunque la tiene el conjunto. El sistema se conduce a uno de ellos de los de más baja energía rompiendo la simetría y pudiendo dar masa. Es el llamado mecanismo de Higgs que implica la existencia de una nueva partícula, el llamado bosón de Higgs, encontrado muchos años después en el LHC (gran acelerador de hadrones) del CERN en 2012, por las colaboraciones Atlas y CMS en una de las búsquedas más intensas y apasionantes de la historia de la Ciencia.

El fenómeno de rotura espontánea de la naturaleza se da en muchas otras ocasiones y no solo en el caso de la unificación de débiles y electromagnéticas. De hecho, en la evolución del Universo y en la formación de estructuras aparece el mismo fenómeno.

Relacionado con las interacciones débiles aparecen violaciones de simetrías discretas como la violación de la paridad, intercambio de la derecha por la izquierda, del producto de la conjugación de la carga por la paridad y de la inversión temporal.

La propuesta de la violación de la paridad para explicar la desintegraciones de los kaones neutros, por T.D.Lee y C.N.Yang (figura 10) en 1956 y su posterior confirmación experimental por madame Wu el año posterior, tuvo que sobreponerse a las dificultades que le pusieron algunos científicos entre los que

estaba Pauli. Este acababa de demostrar la invariancia de todas las leyes bajo

Symmetry and Physics
Chen Ning Yang



Figura 10

la transformación CPT. Los requisitos eran mínimos para esa demostración y por ello Pauli no creía en ninguna violación. Pauli

se opuso tenazmente, incluso llegando a meter en el cajetín del correo de Madame Wu anónimos en el que la decía que no perdiese en tiempo en esa tontería. Cuando el experimento mostro la violación de la paridad, Pauli dijo que menos mal que no había apostado nada. Al año siguiente de la propuesta, en 1957, dieron el premio Nobel a los jóvenes Lee y Yang. (Yang me conto que ser premio Nobel a lo largo de toda una vida tiene también inconvenientes) Inexplicablemente no se lo dieron a Madame Wu. Inexplicablemente tampoco le dieron a Yang un segundo Nobel, por entre otras contribuciones, la teoría de Yang-Mills.

En 1964 Cronin (Figura 11) y Fitch descubrieron la violación de CP, por ello les concedieron el Nobel en 1980. La violación de CP debido a la invariancia de CPT implica una violación de T, la inversión temporal, es decir no es lo mismo ir hacia adelante en el tiempo que hacia atrás. La violación de CP se estudia detalladamente en el experimento LHCb del CERN, experimento en el que participa haciendo contribuciones notables un grupo experimental del IGFAE, revelando que se necesita algo más a lo que se conoce como el modelo standard. La existencia de materia y no de antimateria en el Universo, significa que en los primeros instantes debió de haber una violación de CP.

La violación de las simetrías discretas, como P y T abre interrogaciones sobre su relación con procesos macroscópicos conocidos.

En el caso de la paridad P, se ha preguntado si su violación microscópica por la interacción débil esta relacionada con que en todos los procesos biológicos que intervienen aminoácidos solo lo hacen en la forma levógira y no dextrógira, como descubrió Pasteur. Solo después de la muerte se equilibran las dos modalidades, 50% levógira y 50% dextrógira. La respuesta parece ser negativa. (Observemos que la famosa síntesis de los

aminoácidos realizada por Miller y propuesta como camino para sintetizar vida en laboratorio, producía aminoácidos 50-50, no solo levógiros)



Figura 11

En el caso de la violación de T, se puede pensar que es una manera de señalar la flecha del tiempo y de distinguir el pasado del futuro. A partir del siglo XIX se conoce el segundo principio de la Termodinámica, la entropía de un sistema cerrado siempre aumenta. Este principio, fue fundamentado al final de ese siglo

por Boltzmann, en términos de evolución hacia un mayor desorden o por Shannon en el siglo XX en término de evolución hacia una pérdida de información. Se ha preguntado como si todas las leyes de la Física son invariantes frente a la inversión temporal, cómo puede ser cierta el segundo principio que marca una clara distinción entre antes y después de acuerdo con los fenómenos que observamos cada día. La violación de T en las interacciones débiles no puede ser la respuesta, entre otras cosas el segundo principio no se restringe solo a interacciones débiles. La respuesta tiene más que ver con los procesos fuera del equilibrio y su no linealidad.

En la década de los sesenta hubo unificaciones espectaculares. En 1964 Gell-Mann, Zweig y Nee'man proponen la simetría SU(3) para explicar y clasificar a los cientos de partículas que se estaban descubriendo. Su propuesta era que existían tres entes matemáticos, quarks, (y sus conjugados de carga, antiquarks,) asociados a la representación fundamental 3 (a la representación conjugada 3*). (Figura 12) Parece como si fuese un revival de Platón.

Los hadrones estaban asociados a las representaciones irreducibles que se obtenían de los productos tensoriales qqq y qq^* . De esta manera quedaron clasificados todos los hadrones conocidos prediciendo además la existencia de una partícula de masa 1670 Mev, descubierta unos meses después en el acelerador americano de Brookhaven. (Figuras 14 y 15) Posteriormente, en el acelerador de Stanford, en 1967, se puso de manifiesto que los quarks existían dentro de los hadrones y no solamente eran entes matemáticos, aunque no existan como libres en condiciones normales.

3 por 3* = 8 + 1 quark-antiquark = octete + singlete (mesones)

3 por 3 por 3 = 10 + 8 + 8 + 1 decuplete + octetes + singlete (bariones)

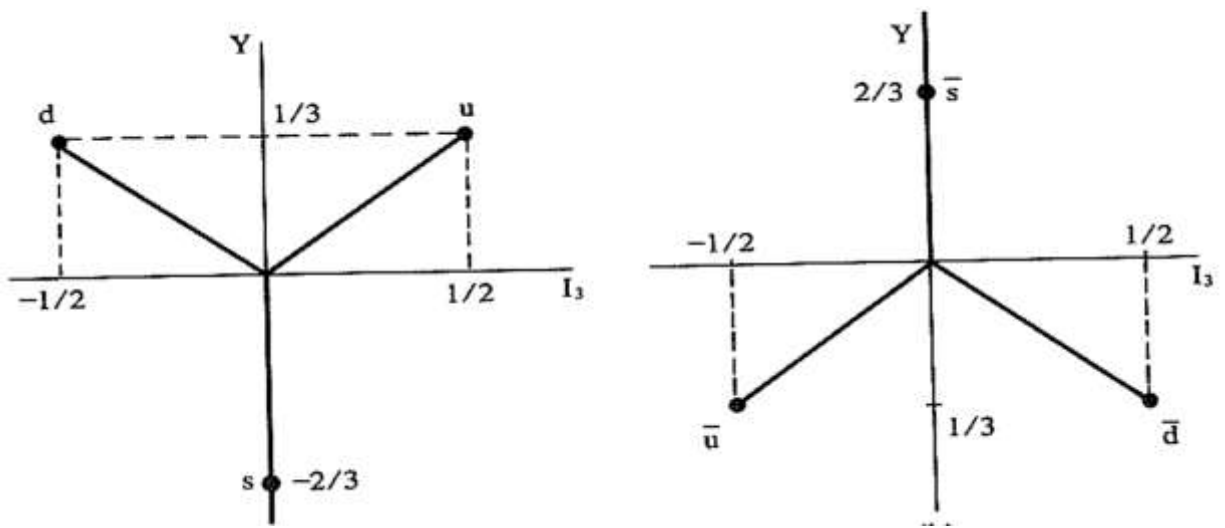


Figura 12

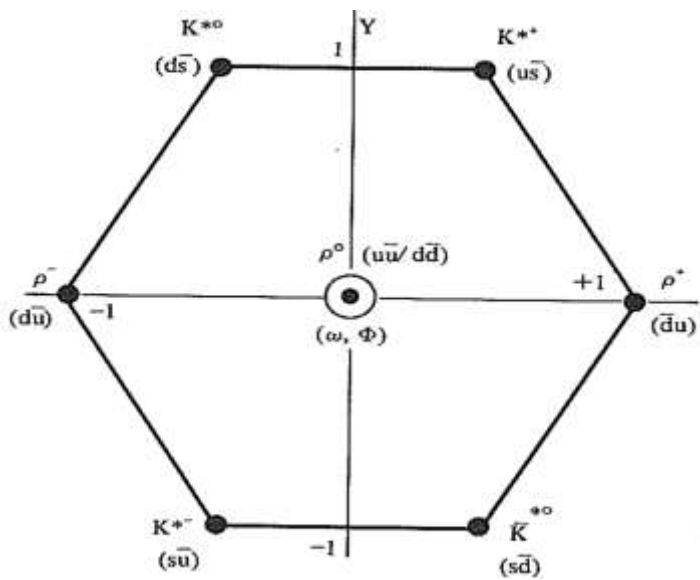
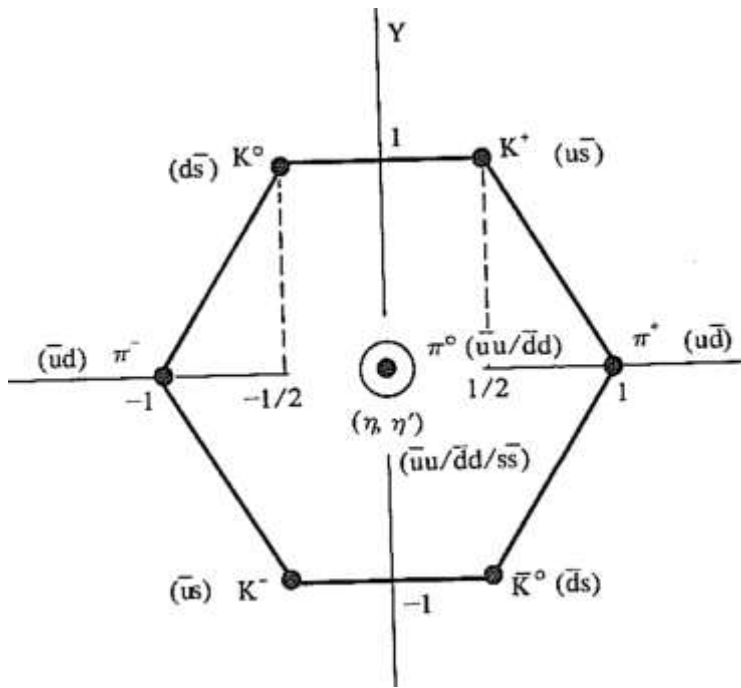


Figura 13

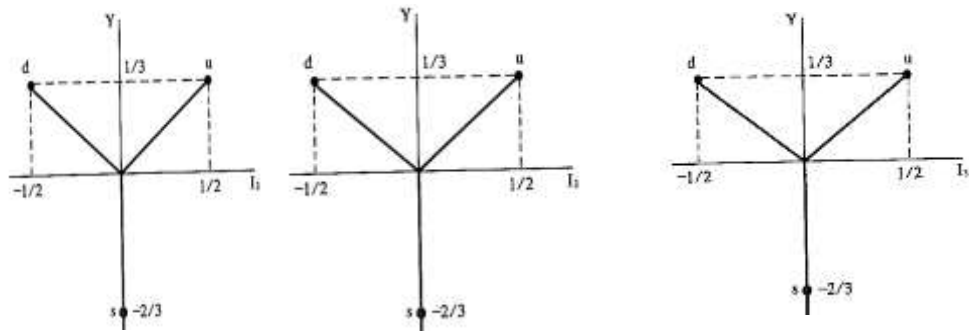


Figura 14

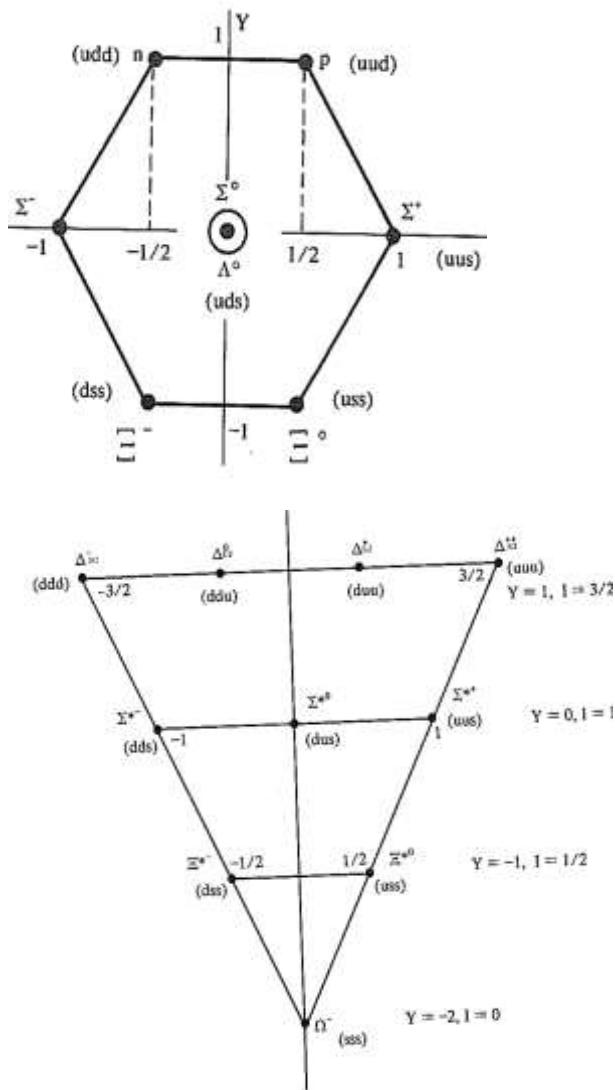


Figura 15

En la misma década Weinberg y Salam, en 1967, unifican las interacciones débiles y electromagnéticas, mediante la simetría de gauge $SU(2) \times U(1)$, prediciendo la existencia de tres bosones vectoriales además del fotón con masas enormes, del orden de 80-90 veces la del hidrógeno. Su detección en 1983 por una colaboración en el CERN, liderada por Carlo Rubbia, tuvo una gran repercusión, significando el liderazgo de Europa en la Física experimental de Partículas. El New York Times título en primera página Europa 3 USA 0.

Carlo Rubbia estuvo a punto de anunciar su descubrimiento en un congreso celebrado en Santiago en 1983, con la asistencia de destacados investigadores como S.Ting premio Nobel o E.Schopper Director General del CERN. Finalmente, Carlo Rubbia decidió esperar tres meses para tener más estadística. Al año siguiente le fue concedido el premio Nobel



Figura 16

El boson de Higgs necesario para dar masa a dicho bosones igual que a los electrones e quarks, fue descubierto es el 2012 en el LHC del CERN culminando un desafío científico apasionante. En las figuras 16, 17, 18 y 19 se puede ver una vista aérea del LHC con un perímetro de 27 Km del LHC, el túnel del acelerador, una vista de la situación de un detector y uno de los grandes detectores, el de la colaboración ATLAS donde se puede apreciar su complejidad y el gran volumen que ocupa



**El
tunel
del
LHC**

Varios miles de imanes superconductores a muy baja temperatura

La temperatura es de $-271.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ El lugar más frío del Universo !!!

Los protones, van case a la velocidad de la luz (300.000 km/s)

Dan más de 10.000 vueltas por segundo !!!

Figura 17

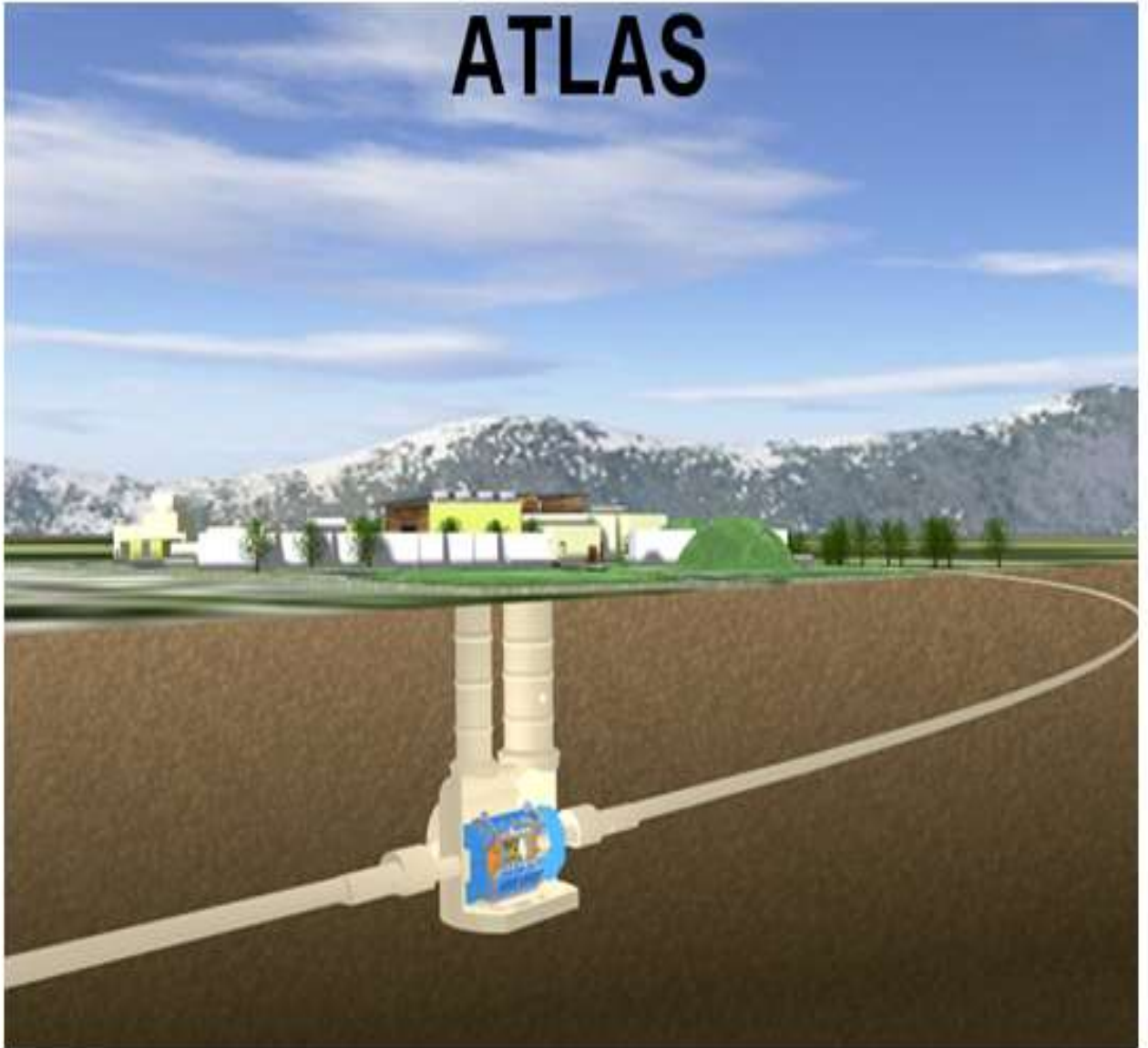


Figura 18

ATLAS

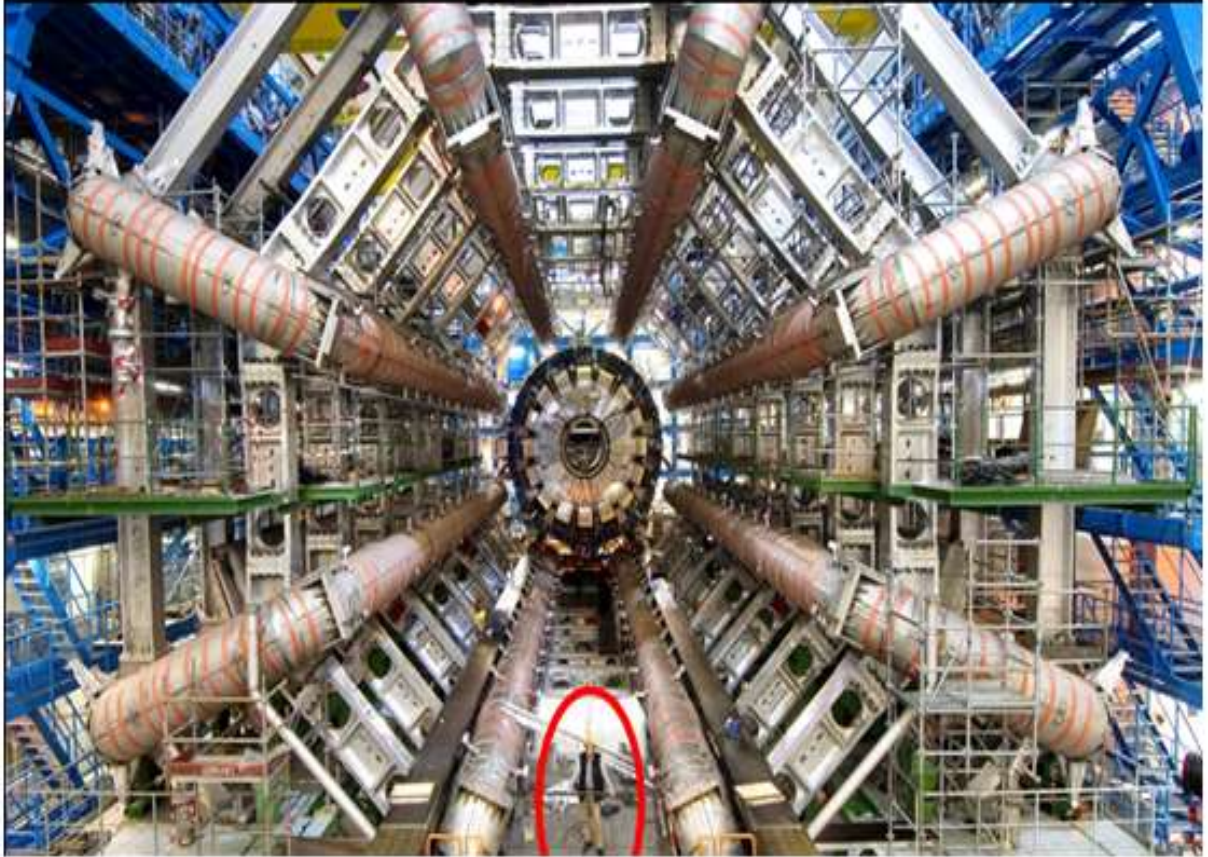


Figura 19

Las interacciones fuertes fueron clarificadas con el advenimiento de la Cromodinámica Cuántica (QCD), teoría que tiene la simetría de gauge $SU(3)$, simetría no abeliana. La teoría explica porque los quarks se comportan como libres dentro de los hadrones, mostrando que la interacción es pequeña a cortas distancias, es la llamada libertad asintótica. Por cierto, este hecho es anti-intuitivo porque siempre pensamos que para cuanto más nos acercamos más interaccionamos. Sin embargo,

los quarks están confinados en los hadrones sin poder liberarse, esclavitud infraroja, porque la interacción es grande a distancias del tamaño de un hadron (1fm). El hecho que sea no abeliana es crucial para explicar la libertad asintótica y el confinamiento.

Todas las propiedades de las interacciones fuertes y por tanto de los cientos de hadrones y sus propiedades como masa, spin, números cuánticos, así como interaccionan, están dentro del lagrangiano de QCD que se escribe en una línea escasa.

$$\mathcal{L}_{QCD} = \bar{\psi}_q i \gamma^\mu D_\mu \psi_q - m_q \bar{\psi}_q \psi_q = \bar{\psi}_q i \gamma^\mu \partial_\mu \psi_q - g_s \bar{\psi}_q i \gamma^\mu \psi_q T_a G_\mu^a - m_q \bar{\psi}_q \psi_q - \frac{1}{4} F_a^{\mu\nu} F_{\mu\nu}^a, \quad F_{\mu\nu}^a = \partial_\mu G_\nu^a - \partial_\nu G_\mu^a - g_s f_{abc} G_\mu^b G_\nu^c.$$

Este lagrangiano tiene muchas simetrías además de la de gauge SU(3) de color. Tiene la de SU(2) de isospín, tiene en el límite de masas de quarks cero la Simetría quiral SU(2) por SU(2), que es espontáneamente rota porque el estado de más baja energía no la tiene. Tiene la simetría conforme en ese mismo límite, simetría que es rota cuánticamente y crucial en la transición de quarks confinados a desconfinados. También tiene clásicamente la simetría axial pero no cuánticamente.

El hecho de que mediante un sencillo lagrangiano, lleno de simetrías, se puedan explicar y deducir una diversidad de fenómenos, es causa de admiración y asombro.

La unificación de fuerzas continua y se cree que la electrodébil se puede unificar con la fuerte probablemente con la simetría de otro grupo, SO(10), donde ahora la masa de los bosones vectoriales no es del orden de 10 elevado a 2 Gev, sino de 10 elevado a 16 Gev. (Figura 20) El anhelo de unificar lleva a buscar

como unificar la gravedad con el resto de las fuerzas de la Naturaleza. Para ello habrá que superar la dificultad que significa la incompatibilidad de la teoría General de la Relatividad con la Mecánica Cuántica, debido al principio de Heisenberg, a escalas de la masa de Planck (10 elevado a 19 GeV) o de longitudes o equivalentemente a tiempos muy pequeños (10 elevado a -43 seg). Las teorías de la gravedad cuántica o la teoría de cuerdas intentan resolverlo, pero con resultados discutibles en cuanto a su capacidad de predicción experimental.

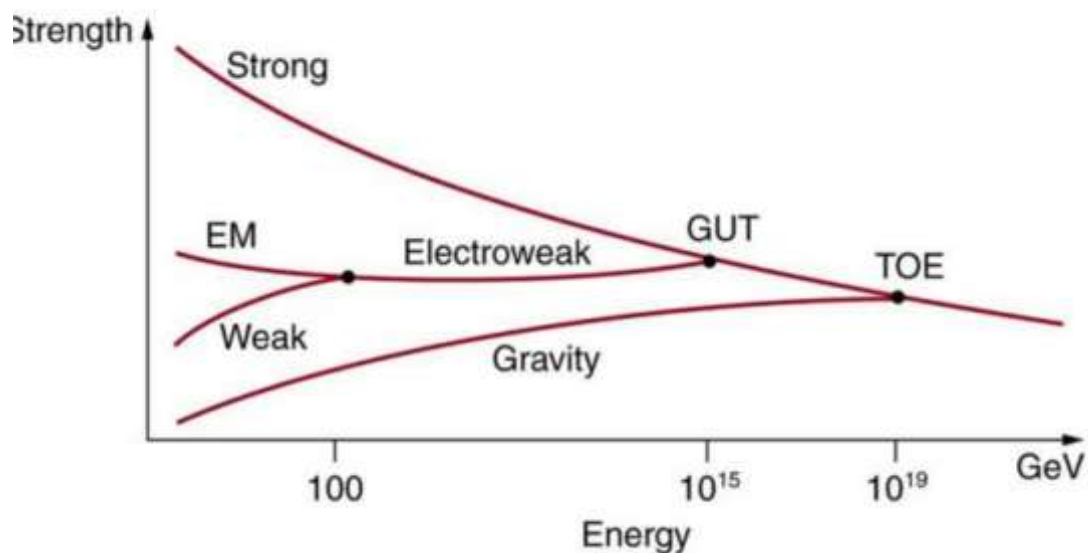


Figura 20

La búsqueda de la simetría nos ha llevado al conocimiento de la evolución del Universo donde se relaciona lo más pequeño y lo más grande. El Universo ha pasado por toda una serie de etapas y de transiciones de fase, desde lo más pequeño, (fotones, electrones, quarks, gluones) a lo más grande (galaxias, cúmulo de galaxias) pasando por los núcleos, átomos, moléculas,... Es un proceso, en que a la medida que el tiempo transcurre desde el tiempo de Planck, muy próximo al Big-Bang, (10 elevado a menos 43 segundos) hasta nuestro días, durante estos 13700

millones de años, se va rompiendo la simetría original, originando la diferenciación de las fuerzas, de los fenómenos físicos y emergiendo las diferentes estructuras. Desde un estado ordenado de muy baja entropía al estado actual. El dar marcha atrás, investigando las primeras etapas de la evolución, es en gran medida, buscar la simetría perdida. (Figura 21)

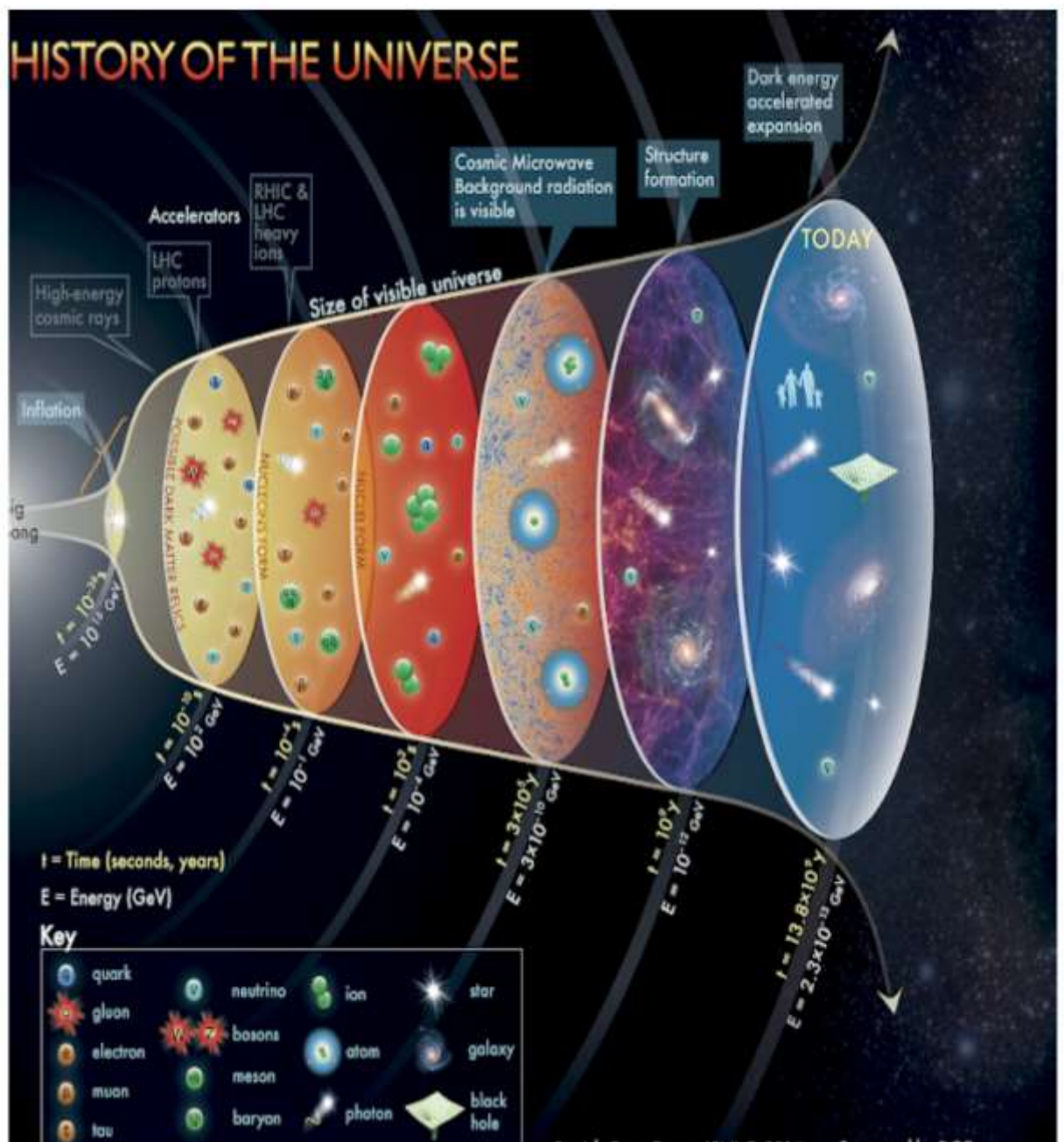


Figura 21

Últimamente, se ha especulado sobre el potencial de los estados entrelazados de la Mecánica Cuántica, en el sentido que pueden llevar consigo información sobre la simetría del sistema que describen. Los estados entrelazados son clave para entender sistemas abiertos y ya han dado lugar a aplicaciones espectaculares como la computación cuántica. Puede que nos den más sorpresas en relación con las simetrías.

La euforia por el gran avance conseguido en las unificaciones de las fuerzas de la naturaleza en el siglo XX, hizo pensar a algunos, como sucedió al final del siglo XIX cuando se unificó la fuerza eléctrica con la magnética y con la óptica, que se estaba cerca de tener una teoría del todo, que explicase todo. La soberbia de algunos fue curada con la observación de que la expansión del Universo se aceleraba y como consecuencia se necesitaba una energía del orden del 70% de toda la masa-energía del Universo. Sumada a la materia oscura, supone que alrededor del 96% del balance materia-energía del Universo tiene una naturaleza desconocida. De saber casi todo se pasó a no saber casi nada.

La realidad nos hace constatar que el proceso de la investigación es profundo, y cuanto mayor conocimiento tenemos más ventanas y horizontes se nos abren que nos hacen preguntarnos más y más, mostrándonos nuestro desconocimiento de la realidad que tenemos delante. Investigar es conseguir abrir ventanas para descubrir con el conocimiento revelado, nuestro desconocimiento, y lo mucho que queda por conocer a la humanidad. La simplicidad y la belleza no se agotan ni pueden agotarse.

Quizás por esto, Newton muchas veces prepotente y orgulloso, plenamente consciente de sus formidables hallazgos también lo fue de la limitación de lo encontrado y por eso humildemente dijo: No se la impresión que produciré ante el mundo, pero para

mí mismo me asemejo a un niño que juega en la playa y que de vez en cuando atrapa una piedra más redonda o una concha más hermosa que de ordinario, mientras sigue sin desvelar el gran océano de la verdad que tiene delante de sus ojos.

Solo sabemos que no sabemos casi nada. Cuanto más amplio es nuestro conocimiento, más profunda nos parece nuestra ignorancia.

Los científicos experimentamos en mayor o menor grado la sensación de acercarnos al misterio de la naturaleza y al de nuestra existencia. La evolución del Universo ha hecho posible que desde los constituyentes de la materia, electrones, fotones, neutrinos, quarks y gluones, emergen primero partículas elementales como el neutrón y el protón, luego los núcleos, después los átomos y posteriormente en una evolución continua más de cien mil millones de galaxias cada una con más de cien mil millones de estrellas, en una de las cuales esta nuestro planeta orbitando en torno a ella, y en ella surge la vida con una enorme variedad de especies y en una de ellas surgen más cien mil millones de neuronas conectadas de las que aparece un "yo" que se asombra y maravilla frente a esa inmensidad y diversidad así como a la profundidad de sus leyes. En la medida que se van descubriendo estas leyes se revela su sencillez y belleza. Al llegar a este misterio, el científico guarda silencio, pero igual que el resto de los hombres se pregunta ¿por qué?

Carlos Pajares