

Las fronteras teóricas del Universo

*Un repaso del conocimiento que tenemos sobre sus
constituyentes fundamentales*

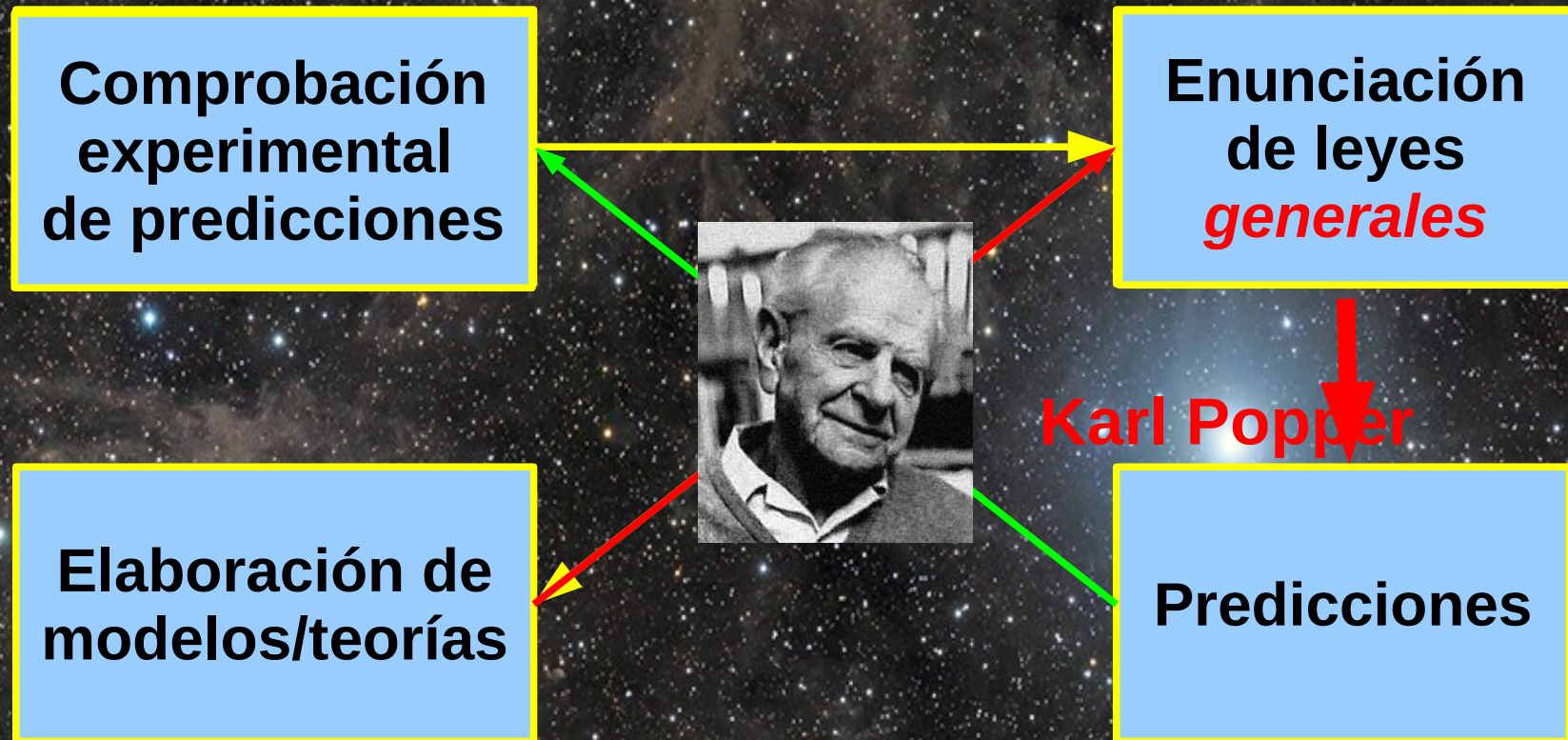
Y algunas ideas para ir más allá.

Tomás Ortín Miguel

Instituto de Física Teórica UAM/CSIC

Imágenes del (Hubble) Space Telescope Science Institute (STScI, NASA) si no se indica otra cosa.

Utilizando el método científico



Unificación-Simetría-Reducción

No son **prejuicios teóricos** sino principios que subyacen a absolutamente todos los avances que hemos hecho en la comprensión del Universo:

La formulación de leyes físicas requiere que veamos muchos fenómenos como casos particulares la manifestación de uno sólo. Formular leyes más generales requiere unificar más casos particulares (*abstracción*).

Para comprender la gran variedad de fenómenos del Universo **necesitamos reducir** su número. La **unificación** y la **simetría** son los mecanismos básicos para hacerlo.

A la vez, la **unificación** y la **simetría** implican una cierta renuncia a lo absoluto...



**Lo realmente sorprendente
es que
encontramos en el Universo
la **simetría**
y
la **unicidad**
que nos
permiten entenderlo.**

Las leyes fundamentales de nuestro Universo

Dos niveles: **1.- Teorías marco:**

- a) La Relatividad Especial.
- b) La Mecánica Cuántica.
- c) Las Teorías Cuánticas de Campos.
- d) La Relatividad General.

2.- Modelo concreto: el Modelo Estándar

- a) Interacciones determinadas (bosones).
- b) Contenido en campos de materia (fermiones) determinado.
- c) Elección de vacío particular (Higgs).

El marco teórico:

I.- La Relatividad Especial

Surge de un principio de unificación/simetría:

Principio de Relatividad Galileano:
(Galileo Galilei, Isaac Newton)



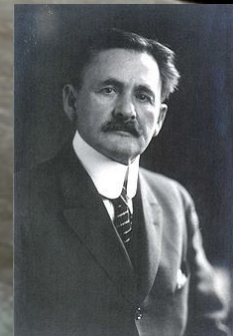
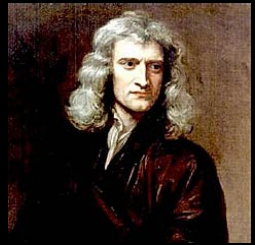
Las leyes de la dinámica son las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales.

Principio de Relatividad Especial: (Albert Einstein)

Todas las leyes de la Física son las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales.

Los cambios de coordenadas de un sistema inercial a otro son simetrías de todas las teorías físicas.

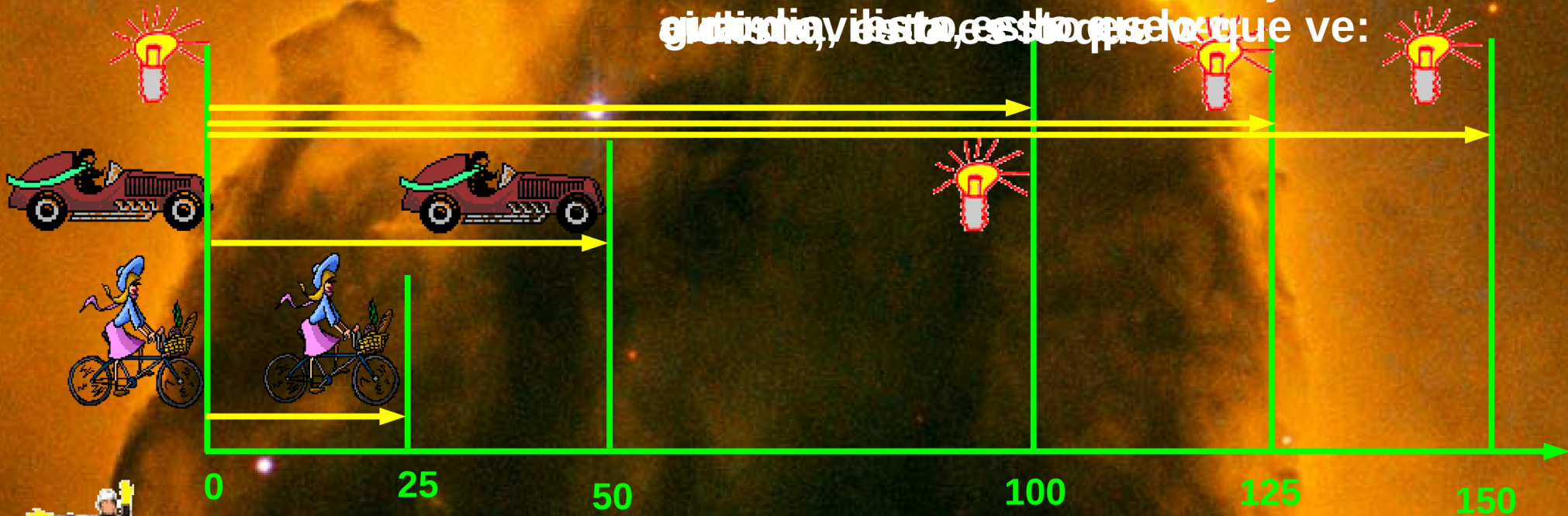
Las leyes de Maxwell del Electromagnetismo son relativistas y en ellas c es la misma constante en todos los sistemas de referencia inerciales
(Albert Michelson y Edward Morley 1887)



Gedankenexperiment: Consecuencias

Una ciclista que se desplaza con una velocidad de $c/4$ (25 Kms/h) y un automóvil que se desplaza a una velocidad de $c/2$ (50 Kms/h) parten a la vez que un rayo de luz del semáforo, observados por un guardia.

Al cabo de una hora del reloj del guardia, ¿cómo ve esto el ciclista y el conductor?



Los relojes y las reglas del guardia, el ciclista y el automovilista son distintas (**relatividad**). Más diferentes cuanto mayor es la velocidad relativa. Con respecto a la luz siempre ha de ser c y nunca se puede alcanzar esa velocidad, que es **máxima**.

La Relatividad Especial unifica dos conceptos que son distintos en la Mecánica de Newton: masa M y energía E

$$E=mc^2$$

También unifica las dos *condiciones a priori del entendimiento* (Kant) **espacio y tiempo** en una única entidad: **el espacio-tiempo**.

Toda la Relatividad Especial se puede ver como consecuencia de esta unificación **espacio-temporal**.

Pero hay que renunciar a que **espacio y tiempo sean absolutos**.

El marco teórico:

II.- La Mecánica Cuántica

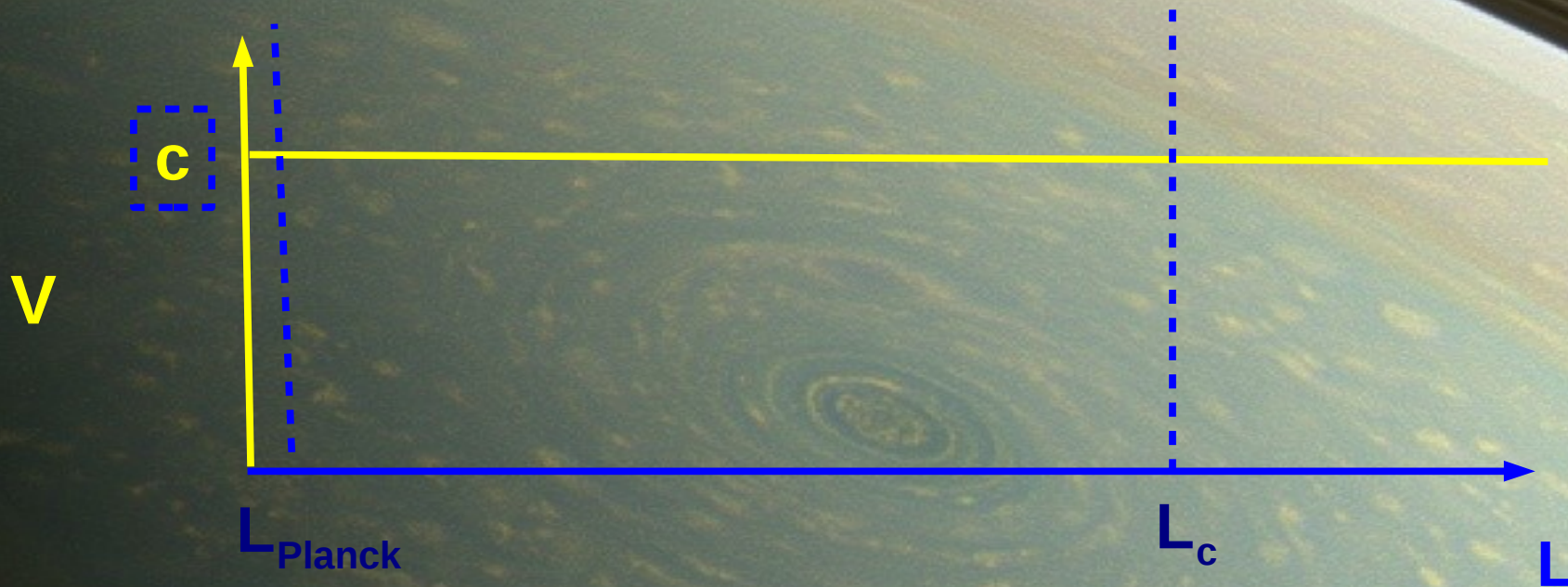
Unifica los comportamientos **ondulatorios** y **corpúsculares** de la materia reflejados en las relaciones

$$E = h \nu \quad p = h \lambda$$

en un nuevo concepto de **partícula cuántica** que tiene un comportamiento **dual** descrito por un único objeto: la **función de onda**.

Pero hay que renunciar a que las partículas tengan posición y momento bien definidos simultáneamente.

Límites de aplicación



Clásico: $v \ll c$, $L > L_c$

Relativista: $v < c$, pero cercana a c .

Cuántico: $L \lesssim L_c$ donde L_c es la longitud de onda Compton \hbar/mc o de de Broglie \hbar/p .



Para describir electrones a grandes velocidades hace falta un nuevo marco teórico que **unifique** la **Relatividad Especial** con la **Mecánica Cuántica**.

El nuevo marco
NO
puede ser simplemente una
Mecánica Cuántica Relativista

El marco teórico:

III.- La Teoría Cuántica de Campos

Unifica los conceptos de **campo (relativista)** y **partícula cuántica**.

El precio a pagar es la renuncia al **concepto absoluto de partícula**, que existe eternamente.

Surge al tratar de integrar dos descripciones contradictorias de la luz:

1.- (Huyghens, Young, Maxwell) la **luz** es una perturbación del **campo electromagnético** que se propaga como una onda.

2.- (Einstein *et alia*) la **luz** está hecha de **partículas (fotones)** con energía $E=h\nu$ absorbidas y emitidas por otras partículas.



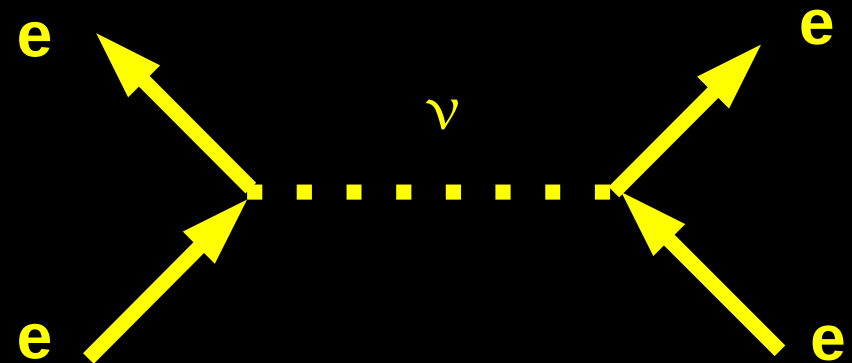
En la **Teoría Cuántica de Campos** hay un campo relativista por cada tipo de partícula de la Naturaleza y un **estado fundamental**, de mínima energía, el **vacío**.

Los estados de energía del campo están cuantizados y pasar de uno a otro es **crear o destruir** una partícula del tipo asociado a ese campo.

La **creación y destrucción de partículas** está normalmente asociada a la **emisión y absorción** de éstas por otras.

Todas las interacciones fundamentales entre partículas o entre partículas y campos se producen así: como emisión o absorción de partículas intermediarias

Por ejemplo, dos **electrones** se repelen porque intercambian **photones** así:



Resultados generales de las TCCs

0.-Nuevo paradigma para las partículas elementales: excitaciones de campo sobre un estado fundamental: el **vacío**.



Identidad de las partículas elementales.
Concepto de vacío cuántico.

1.- Creación y destrucción de partículas.

2.- **Espín: bosones y fermiones.**

3.- **Principio de Exclusión de Pauli y estabilidad de la materia (Freeman Dyson).**

4.- Nuevo paradigma para todas las **interacciones fundamentales: intercambio de partículas Intermediarias (siempre bosones, espín entero)** de la interacción entre partículas cargadas.



El marco teórico:

IV.- La Relatividad General

Propuesta por Einstein (y David Hilbert) en 1915 como resultado de los intentos fallidos de construir una teoría relativista (especial) del campo gravitatorio. Va mucho más allá del objetivo inicial.



Se puede construir partir de otro principio de unificación/simetría:



Principio de Relatividad General:

Todas las leyes de la Física tienen la misma forma en todos los sistemas de referencia (inerciales o no).

La Relatividad General unifica el espacio-tiempo y el campo gravitatorio, que es sólo una manifestación de la curvatura del primero.



¿A qué renunciamos en la RG?

**A la gravedad como
fuerza.**

**A la energía como algo
localizado.**

La **RG** debería sustituir a la RE como teoría marco:

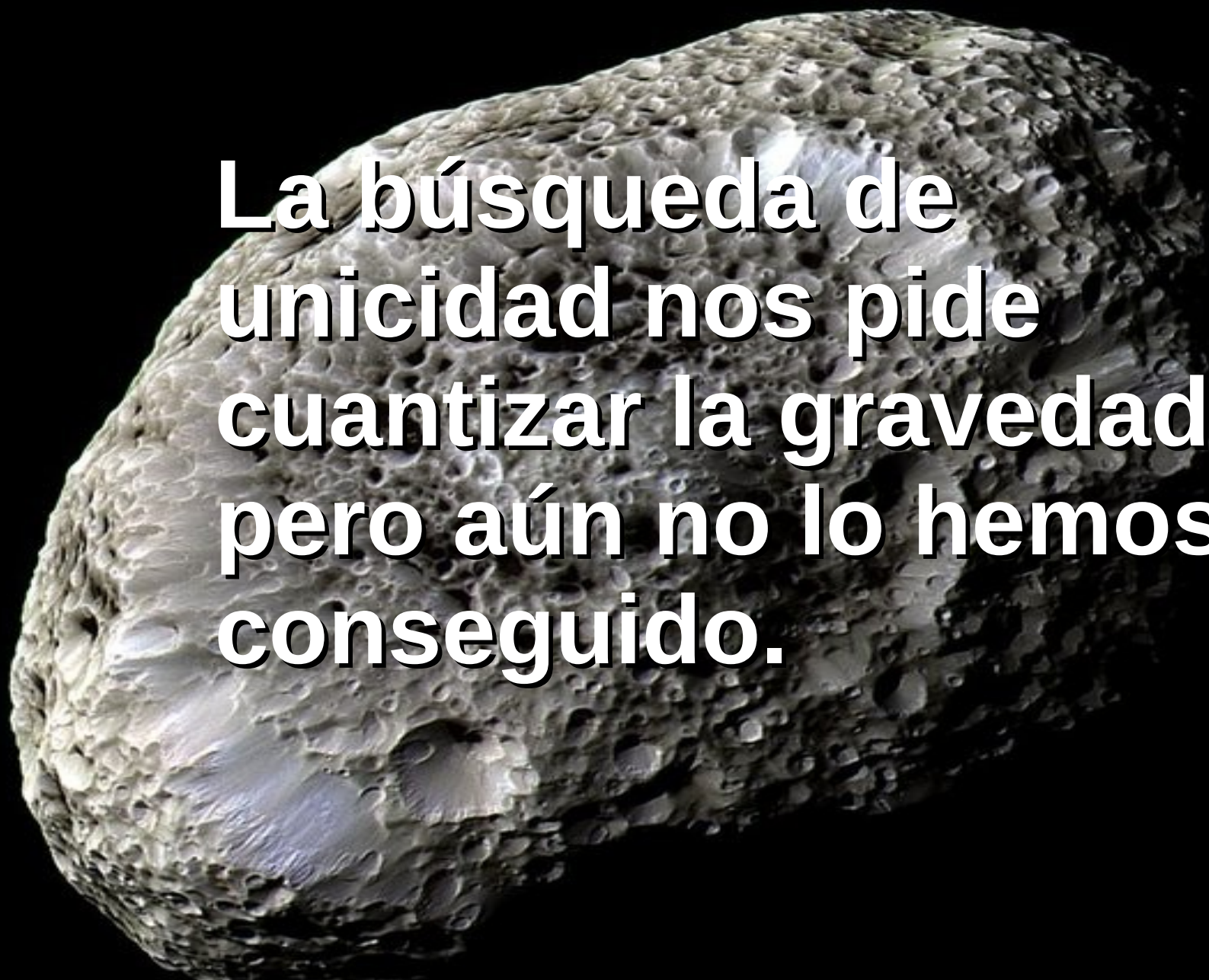
El **Principio de Relatividad General** exige que todas las interacciones estén descritas por **Teorías de Campos Relativistas (Generales)**:
¡todos los campos gravitan!

Lo natural sería construir **TCCs Relativistas Generales**.

Pero el espacio-tiempo de la RG no está fijo: evoluciona e interactúa con los campos cuánticos.

¿Cuantizar la RG?

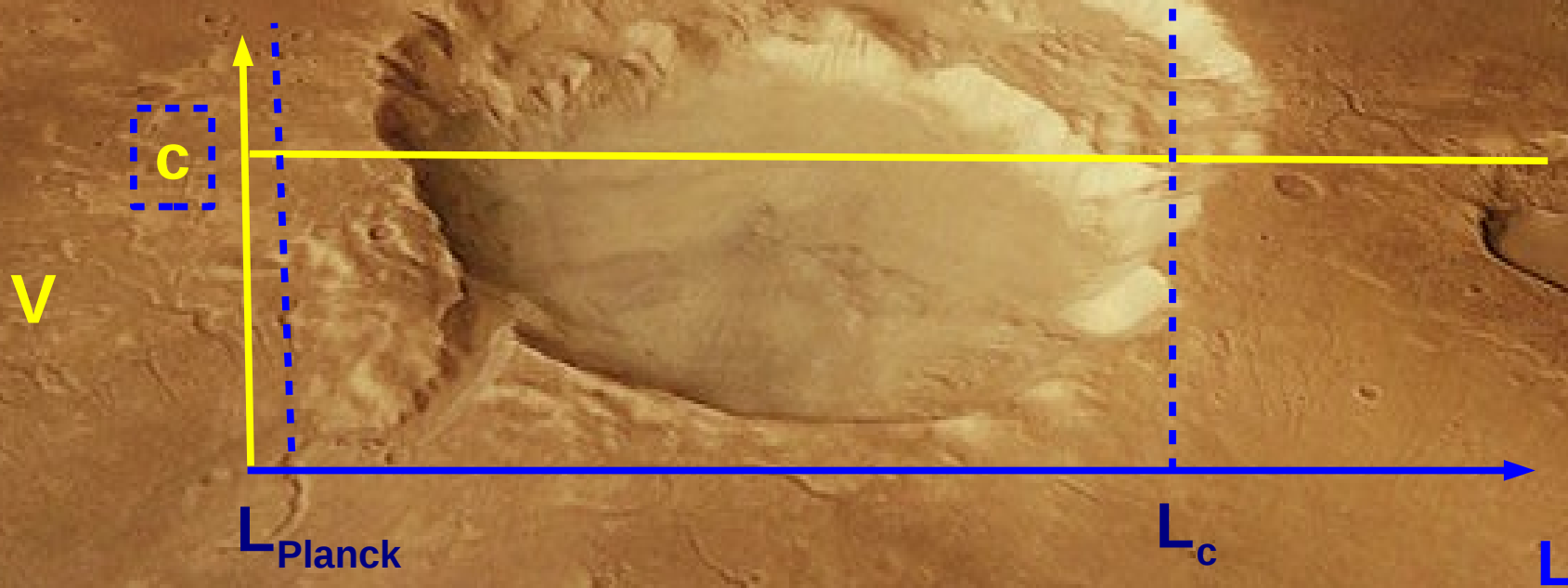
¿No cuantizarla?

A large, dark, cratered asteroid or meteorite is shown against a black background. The surface is covered in numerous small, circular craters of varying sizes, giving it a textured, pockmarked appearance. The lighting highlights the irregular shape and the depth of the craters.

**La búsqueda de
unicidad nos pide
cuantizar la gravedad,
pero aún no lo hemos
conseguido.**

¿Qué simetría habría detrás?

¿Cuándo sería necesaria la GC?



La RG es válida a las escalas del Sistema Solar y mayores.
(Pero ¿materia y energía oscura?)



Una aproximación al problema:

**TCCs en espacio-tiempos
curvos, fijos**

Resultados sorprendentes:

**¡La existencia de partículas depende del
observador! (Efecto **Fulling-Davies-Unruh**)**



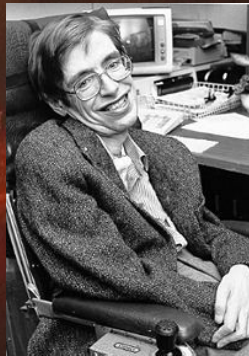
Radiación de Hawking

La RG clásica nos dice que los agujeros negros se comportan como sistemas termodinámicos calientes (J.M. Bardeen, B. Carter, S.W. Hawking (1973))

La temperatura ha de ser la de la **radiación de Hawking**. (¡Cálculo cuántico!)

Que tengan entropía (Bekenstein (1972)) apunta a que almacenan la información de todo lo que cae dentro.

La RG es una ventana a...





**Esta es la frontera
de
nuestras teorías-
marco.**

Las leyes fundamentales de nuestro Universo

Dos niveles: **1.- Teorías marco:**

- a) La Relatividad Especial.
- b) La Mecánica Cuántica.
- c) Las Teorías Cuánticas de Campos.
- d) La Relatividad General.

2.- Modelo concreto: el Modelo Estándar

- a) Interacciones determinadas (bosones).
- b) Contenido en campos de materia (fermiones) determinado.
- c) Elección de vacío particular (Higgs).

El Modelo Estándar

de las partículas e interacciones fundamentales

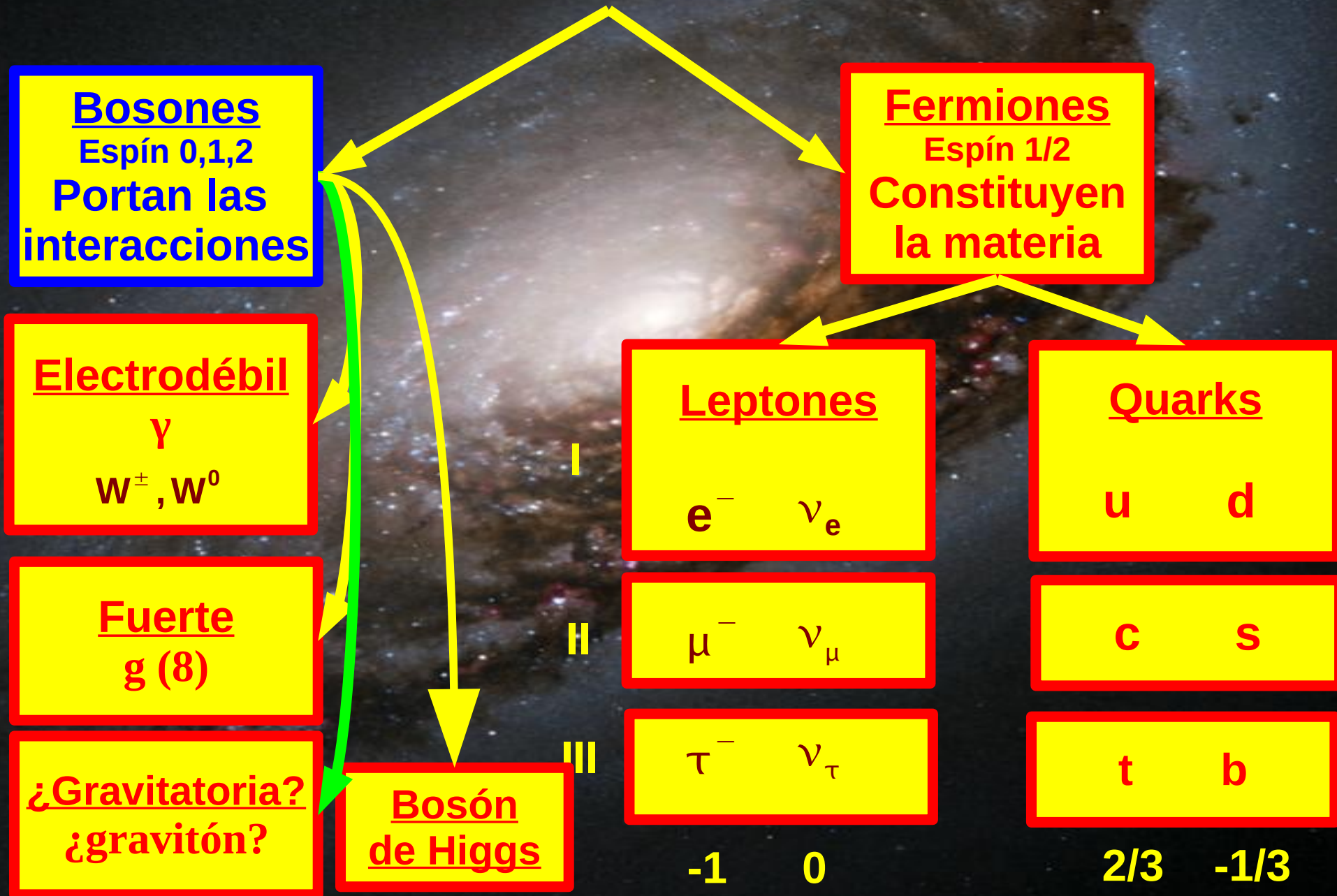
I.- Las interacciones (no gravitatorias)

Tres interacciones fundamentales descritas por Teorías Cuánticas de Campos Relativistas (Especiales):

- 1.- **Electromagnética** (de **largo alcance**, que actúa sobre partículas con **carga eléctrica**).
- 2.- **Nuclear débil** (de **corto alcance**, que actúa sobre partículas con carga de “sabor” (“quarks” y “leptones”)).
- 3.- **Nuclear fuerte** (de **corto alcance**, que sólo actúa sobre partículas con carga de “color” llamadas “quarks” (3 tipos: **azul**, **rojo**, **verde**)).

El Modelo Estándar

II.- Las partículas elementales



Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model is a quantum theory that summarizes our current knowledge of the physics of fundamental particles and fundamental interactions (interactions are manifested by forces and by decay rates of unstable particles).

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_l lightest neutrino*	(0-0.13) $\times 10^{-9}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_M middle neutrino*	(0.009-0.13) $\times 10^{-9}$	0
μ muon	0.106	-1
ν_H heaviest neutrino*	(0.04-0.14) $\times 10^{-9}$	0
τ tau	1.777	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.002	2/3
d down	0.005	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	173	2/3
b bottom	4.2	-1/3

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W ⁻	80.39	-1
W ⁺	80.39	+1
Z ⁰ Z boson	91.188	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge
Only quarks and gluons carry "strong charge" (also called "color charge") and can have strong interactions. Each quark carries three types of color charge. These charges have nothing to do with the colors of visible light. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions, color-charged particles interact by exchanging gluons.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

Quarks and gluons cannot be isolated – they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs. The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge.

Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons** $q\bar{q}$ and **baryons** qqq . Among the mesons are the pion π^+ ($u\bar{d}$), kaon K^+ ($u\bar{s}$), B^0 ($d\bar{b}$), and η_c ($c\bar{c}$). Their charges are +1, -1, 0, 0 respectively.

*See the neutrino paragraph below.
Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25}$ GeV s = 1.05×10^{-34} J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is 1.60×10^{-19} coulombs.

The energy unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. Masses are given in GeV/c² (remember $E = mc^2$) where $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-10} \text{ J}$. The mass of the proton is $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Neutrinos
Neutrinos are produced in the sun, supernovae, rare particle collisions, and many other processes. Any produced neutrino can be described as one of three neutrino flavor states ν_e, ν_μ, ν_τ , labelled by the type of charged lepton associated with its production. Each is a defined quantum mixture of the three definite mass neutrinos ν_L, ν_M, ν_H for which currently allowed mass ranges are shown in the table. Further exploration of the properties of neutrinos may yield powerful clues to puzzles about matter and antimatter and the evolution of stars and galaxy structures.

Matter and Antimatter
For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0, γ , and $\eta_c = c\bar{c}$ but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

Particle Processes

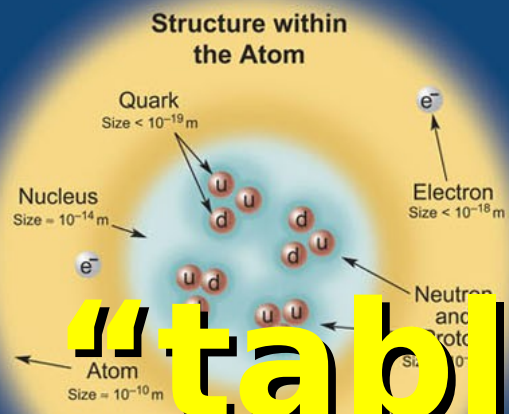
These diagrams are an artist's conception. Blue-green shaded areas represent the cloud of gluons.

$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$

A free neutron (udd) decays to a proton (uud), an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is neutron β (beta) decay.

$e^+ e^- \rightarrow B^0 \bar{B}^0$

An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce B^0 and B^0 mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.



If the proton and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the nucleus would be about 10 km across.

La "tabla periódica" del Siglo XXI

Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (Electroweak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acting on	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experienced	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons
Particle range	Infinite	W ⁻ Z ⁰	Infinite	Gluons
Strength	10^{-39}	0.8	1	25
Size of interaction	3×10^{-17} m	10^{-4}	10^{-10} m	60

Unsolved Mysteries

Driven by new puzzles in our understanding of the physical world, particle physicists are following paths to new wonders and startling discoveries. Experiments may even find extra dimensions of space, mini-black holes, and/or evidence of string theory.

Universe Accelerating?

The expansion of the universe appears to be accelerating. Is this due to Einstein's Cosmological Constant? If not, will experiments reveal a new force of nature or even extra (hidden) dimensions of space?

Why No Antimatter?

Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

Dark Matter?

Invisible forms of matter make up much of the mass observed in galaxies and clusters of galaxies. Does this dark matter consist of new types of particles that interact very weakly with ordinary matter?

Origin of Mass?

In the Standard Model, for fundamental particles to have masses, there must exist a particle called the Higgs boson. Will it be discovered soon? Is supersymmetry theory correct in predicting more than one type of Higgs?

Visit the award-winning web feature **The Particle Adventure** at ParticleAdventure.org
This chart has been made possible by the generous support of:
U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
©2006 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. For more information see CPEPweb.org

La unificación **electro-débil**

Las fuerzas **electromagnéticas** y **nucleares débiles** están unificadas en el Modelo Estándar.

¿Cómo es posible si son tan diferentes?

Electromagnetismo

- **Largo alcance**
- **Partícula intermediaria sin masa**

Nuclear débil

- **Corto alcance**
- **Partículas intermediarias masivas**

La simetría está “**espontáneamente rota**” por el **mecanismo de Higgs**.

El Modelo Estándar

III.- El vacío: el mecanismo de Higgs

Stückelberg, Brout, Englert, Higgs Guralnik, Hagen, Kibble

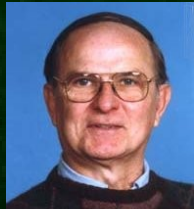
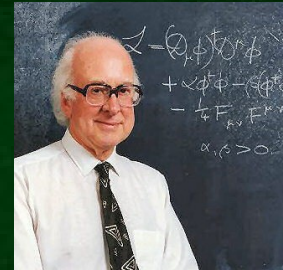
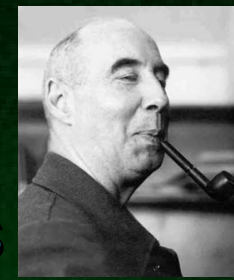
El **vacío** de una **TCC** determina muchas de sus propiedades.

Un **vacío** puede tener **menos simetría** que la **TCC**

El **vacío** de **Higgs** tiene **menos simetría** que la teoría electrodébil y distingue entre electromagnetismo y fuerza nuclear débil.

➡ **¡Masas diferentes!**

Esto afecta también a los fermiones...



Es el campo de Higgs el que “elige” y determina el vacío del Model Estándar siguiendo el principio de mínima energía.

La partícula asociada ha sido recientemente descubierta...

El mecanismo es tan general y exitoso que dan ganas de utilizarlo en más casos.

A cosmic background image featuring a dark blue and black space filled with numerous small white stars. A prominent, colorful nebula with swirling patterns of orange, yellow, and blue is visible on the right side. The text is overlaid in the center-left area.

La **unificación electrodébil**
y la “**desunificación**” por el
mecanismo de Higgs
no son un capricho:
sólo así
es consistente
el ***Modelo Estándar***

El Modelo Estándar

IV.- Éxitos y nuevos interrogantes

El **Modelo Estándar** da cuenta de todas las partículas e interacciones conocidas (**algunas de ellas predichas por él**).

A día de hoy no hay ningún **dato experimental** que lo contradiga o no pueda explicar.

Y sin embargo, la mayoría de los físicos lo consideran **incompleto** y quizá **tan sólo una aproximación** a una teoría

Unsolved Mysteries

Driven by new puzzles in our understanding of the physical world, particle physicists are following paths to new wonders and startling discoveries. Experiments may even find extra dimensions of space, mini-black holes, and/or evidence of string theory.

Universe Accelerating?



Hay razones teóricas (y filosóficas) pero también observacionales que nos hacen pensar así. Varias tienen que ver con la **gravitación (cosmología)**:

The expansion of the universe appears to be accelerating. Is this due to Einstein's Cosmological Constant? If not, will experiments reveal a new force of nature or even extra (hidden) dimensions of space?

Why No Antimatter?



Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

Dark Matter?



Invisible forms of matter make up much of the mass observed in galaxies and clusters of galaxies. Does this dark matter consist of new types of particles that interact very weakly with ordinary matter?

Origin of Mass?



In the Standard Model, for fundamental particles to have masses, there must exist a particle called the Higgs boson. Will it be discovered soon? Is supersymmetry theory correct in predicting more than one type of Higgs?

¿Más allá del *Modelo Estándar*?

Muchos físicos teóricos creen que las respuestas a esos problemas están en teorías con un mayor grado de **unificación**.

Las motivaciones para buscar mayor unificación son diversas, pero en general son de índole **histórico-filosófico-estéticas**.

Lo más evidente:

- **Interacciones no gravitatorias** (menos constantes de acoplo independientes)
- **Partículas** (**bosones** y **fermiones** juegan papeles muy diferentes y hay muchas masas independientes)
- **La gravitación con las demás interacciones** (una aparece ligada a una teoría-marco sin cuantizar y las otras a **TCCs**)

**En el fondo, no sabemos
qué es lo que va a funcionar.**



**¡Pero el método científico nos
exige probar suerte!**

Ideas: I.- Gran Unificación

Las **Teorías de Gran Unificación (GUTs)** proponen generalizar la **unificación electrodébil** del **Modelo Estándar**: se unificaría ésta con la **interacción nuclear fuerte** y se añadirían más **campos de Higgs** para romper **espontáneamente** la simetría.

Las **Teorías de Gran Unificación (GUTs)** no son conceptualmente muy innovadoras, sino la culminación del programa unificador del **Modelo Estándar**. Eliminan algunos **parámetros libres**, pero las partículas e interacciones son aún **arbitrarias** y sólo responden a algunos **porqués**.

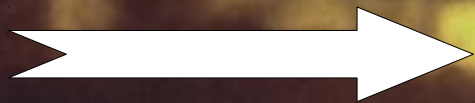
Sin embargo, las **GUTs**, sin ingredientes adicionales, están experimentalmente descartadas porque **predicen la desintegración observable del protón (nunca observada) ...**

Ideas: II.- Supersimetría

La **supersimetría** es una simetría que **unifica(ría)** **bosones** y **fermiones**, que **aparecerían en parejas con la misma masa**.

La **supersimetría** es la Relatividad Especial del **super-espacio-tiempo**.

Las partículas que conocemos **no aparecen en parejas**



¡Super-mecanismo de Higgs!

Si la Naturaleza es supesimétrica **tenemos que añadir más partículas** (para formar parejas **b-f supersimétricas**) al **Modelo Estándar**: **¿materia oscura?** (neutralino).

Si se añade **supersimetría** a las **GUTs**, se arreglan algunos de sus problemas (se alarga la vida media del protón).

Observación: ¡no hay simetrías más generales para una TCC!
(Haag, Lopuszanski, Sohnius).



En principio la **supersimetría** elimina bastantes parámetros libres del **Modelo Estándar**, pero no **explica** las **partículas e interacciones** que hay. La **supersimetría simple** no restringe las posibilidades.

La **supersimetría simple (N=1)** se puede generalizar (**supersimetría extendida N=2,3,4,...,8**). Aparecen algunas restricciones **espontáneamente** más **supersimetría**).

Ideas: III.- Teorías de Kaluza-Klein

Observación (Kaluza, 1921, Klein, 1926): La **gravedad** en una quinta dimensión se ve como **gravedad+electromagnetismo** desde las otras cuatro. La quinta dimensión tiene que estar **compactificada** en un círculo muy pequeño para ser **inobservable**.



→ ¡La **gravitación** y el **electromagnetismo** se **unifican**!

Generalización: **más interacciones** se **unifican** añadiendo más **dimensiones compactas** con una **geometría determinada**.

La **compactificación** de las **dimensiones adicionales** es equivalente a la **elección de vacío** en las TCCs. El **vacío** (la **geometría de las dimensiones compactas**) determina **las interacciones**.

Enorme grado de unificación conceptual a nivel clásico:

GRAVITACIÓN=GEOMETRÍA=LAS DEMÁS INTERACCIONES

Problemas: 1.- Los inherentes a cuantizar la **gravedad**.

2.- La materia (**fermiones**) no se unifica. Su introducción es completamente **ad hoc**.

3.- La elección de **dimensiones compactas (vacío)** es completamente **ad hoc** porque no hay un principio de mínima energía aplicable.

Este último problema aparece en todas las teorías en las que hay gravedad (en la **Relatividad General, Supergravedad, Supercuerdas (landscape)**...) y no tiene solución conocida.

El segundo problema tendría solución si hubiese **un principio que dictase la introducción de los fermiones...**

SUPERSIMETRIA

Kaluza-Klein necesita **gravedad**.

Kaluza-Klein **supersimétrica**
necesita

gravedad+supersimetría

=

SUPERGRAVEDAD

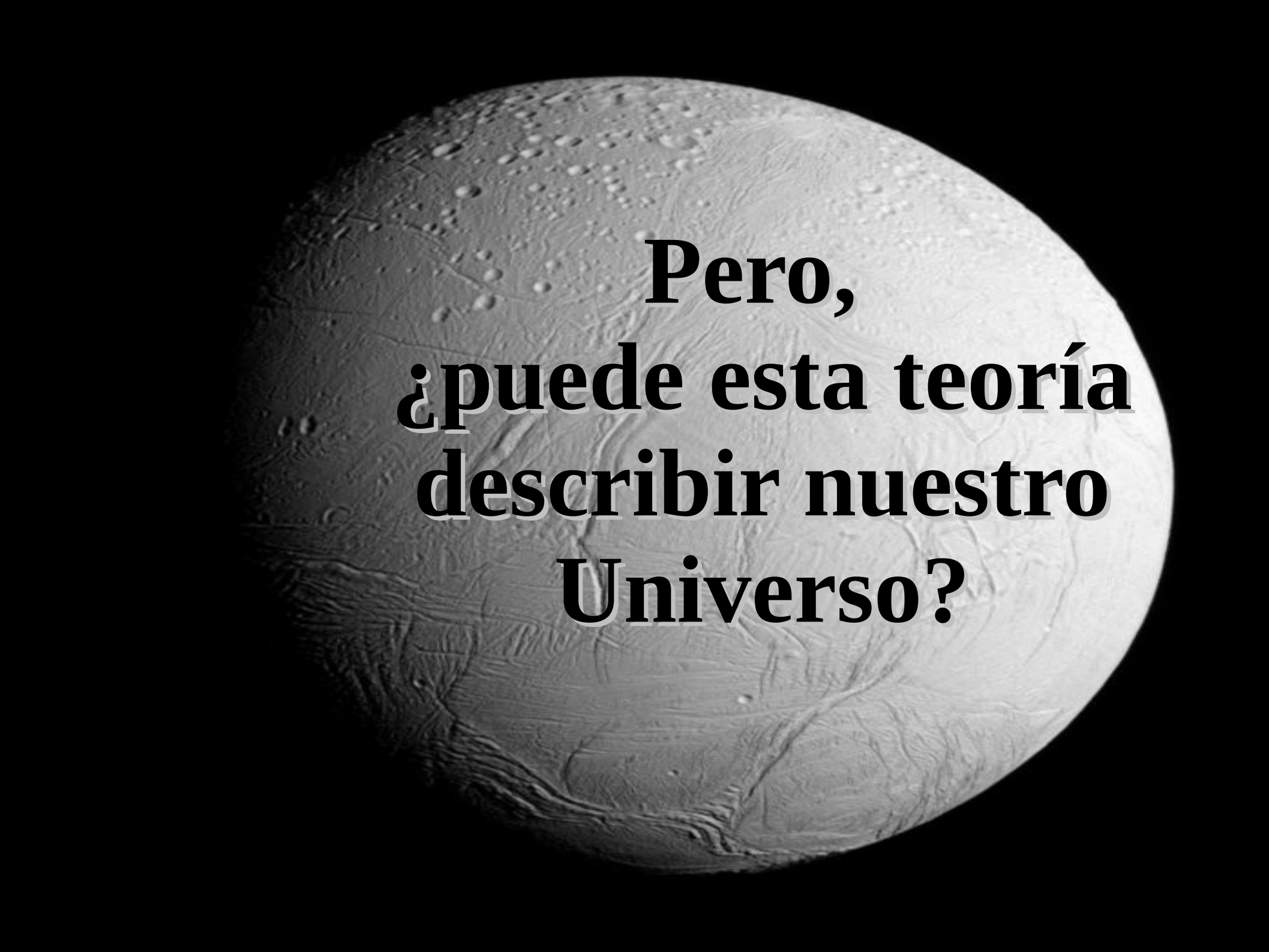
Ideas: IV.- Supergravedad

La supergravedad es la Relatividad General del superespacio.

La supersimetría impone muchas restricciones a las teorías de Kaluza-Klein:

- No podemos añadir más de 7 dimensiones (11)
- Sólo hay una supergravedad en $d=11$

En esta teoría el contenido de bosones y fermiones está completamente determinado por la simetría y hay unificación total.



**Pero,
¿puede esta teoría
describir nuestro
Universo?**

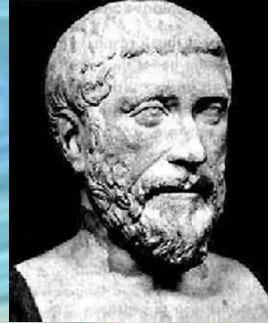
Las 7 dimensiones extra pueden acomodar las fuerzas del **Modelo Estándar** y hay suficientes fermiones.

Pero hay muchas geometrías (**vacíos**) posibles para estas 7 dimensiones y no hay forma de decidir entre ellas... (el **problema del landscape** de nuevo)

Hay otros problemas, pero estas teorías son mágicas: apuntan a las supercuerdas y quizá permitan cuantizar la gravedad (**Bern, Dixon, Kosower**).

Ideas: V.- Supercuerdas

Las **Teorías de cuerdas** proponen aún mayor unificación desde un punto de vista diferente: *¡no son Teorías de Campos!*



- Un sólo componente elemental: **cuerda**.
- Las partículas elementales son distintos **estados vibracionales de la cuerda** (¡**Pitágoras de Samos!**).
- Un estado vibracional es siempre el **gravitón**.
- Una sólo interacción fundamental: **las cuerdas se cortan y se unen**.

La **Mecánica Cuántica** no permite que las **cuerdas** se propaguen en cualquier **espacio-tiempo**:

¡Sólo en los que satisfacen las ecuaciones de **Einstein** de la **Relatividad General!**


Las teorías de supercuerdas son teorías de cuerdas con supersimetría.

La supersimetría parece ser imprescindible para que las teorías de cuerdas sean consistentes.

Las supercuerdas se pueden cuantizar en los espacio-tiempos que cumplen las ecuaciones de teorías de supergravedad en $d=10$. Además, de forma efectiva, a bajas energías, son equivalentes a una teoría de supergravedad en $d=10$, pero sin algunos de sus problemas (anomalías).

De nuevo tenemos un esquema de unificación completa (partículas, interacciones, parámetros) en el que el problema se “reduce” a encontrar el vacío correcto.

Aunque ese vacío aún no se haya encontrado, no se puede subestimar el progreso conceptual que supone reducir todo a la búsqueda de un vacío.



**En otras teorías
ni siquiera se puede
formular esta
pregunta**



**Además podemos
concebir otros universos
con física diferente
porque tienen un
vacío
diferente**

Nuevas ideas: Dualidad

Es una extensión de la idea de simetría al espacio de teorías físicas (TCCs en general). Otra manifestación de la necesidad de unificación...

Nuevas ideas: Holografía

Una nueva extensión: dualidad entre teorías con gravedad y teorías sin gravedad en una dimensión menos...

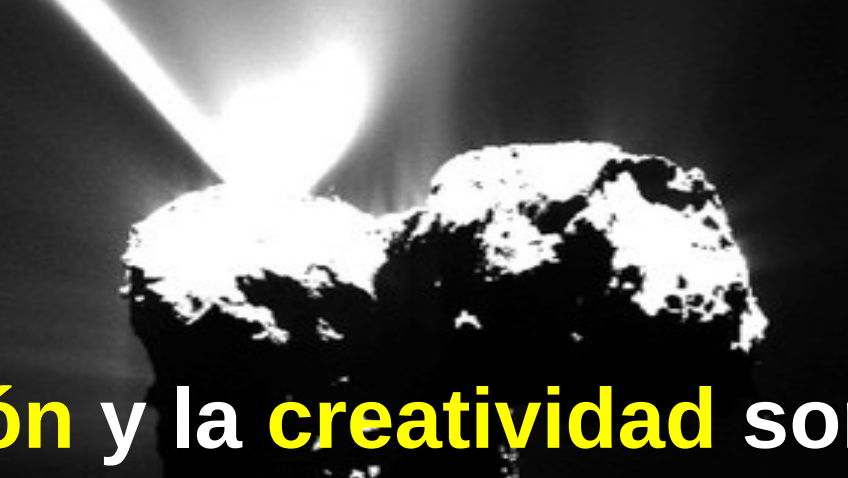
Conclusión

La historia de la Física es la de la búsqueda de unificación, que aún continúa.

El *Modelo Estándar* es hito en nuestro conocimiento de la Naturaleza al nivel más fundamental, pero no satisface nuestra curiosidad que busca explicaciones profundas a construcciones aún muy empíricas (aunque tremendamente eficaces) y una teoría cuántica de la gravedad.

La superación del *Modelo Estándar* quizá requiera buscar mayor unificación, aunque no sabemos qué es lo que habrá que unificar: ¿información o energía con espaciotiempo?

Sin duda, la **gravedad** es la piedra angular de la próxima revolución científica y el Siglo XXI es el de la gravedad, como el XX ha sido el de la **Mecánica Cuántica**.



La **imaginación** y la **creatividad** son más necesarias que nunca para proponer **nuevas teorías** que resuelvan los misterios que los experimentos y observaciones han puesto sobre la mesa.

FIN