

# *Unificación y teoría de cuerdas*

Oscar Varela



Instituto de  
Física  
Teórica  
UAM-CSIC

Instituto de Física Teórica, Madrid  
y  
Utah State University, EEUU



Residencia de Estudiantes, Madrid  
8 de noviembre de 2018



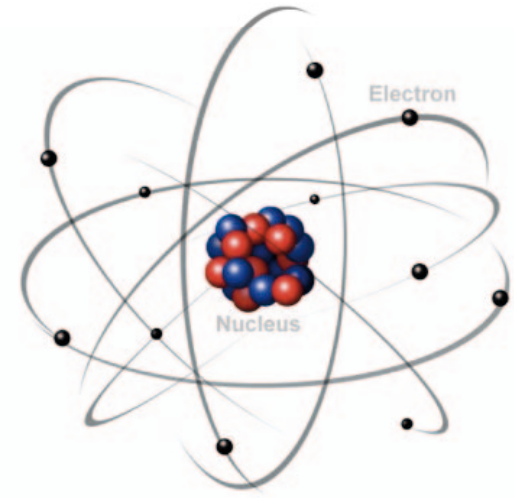


1. Estado de cosas
2. Hacia la 10<sup>a</sup> dimensión
3. Compactificaciones de flujo
4. La correspondencia AdS/CFT
5. Perspectivas de futuro

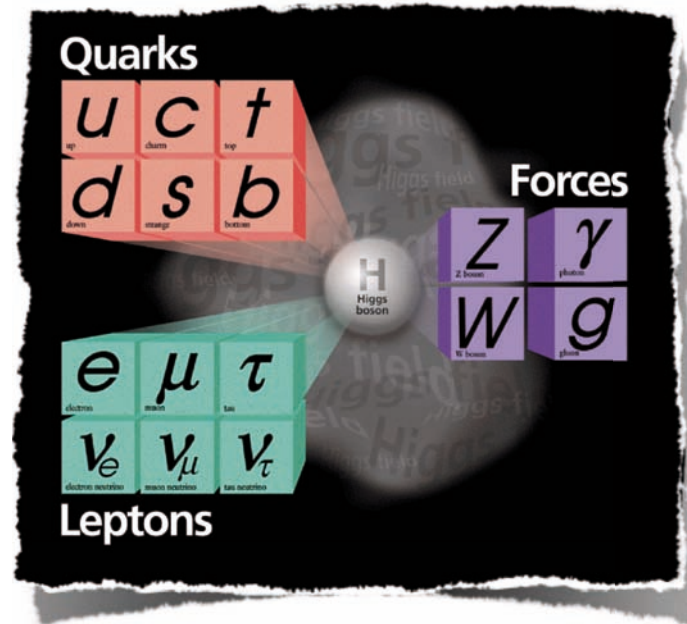
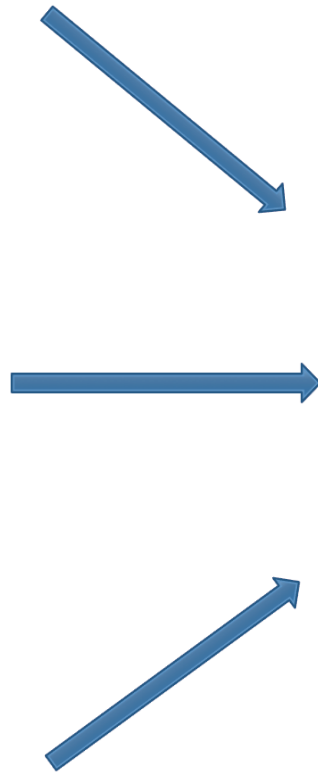
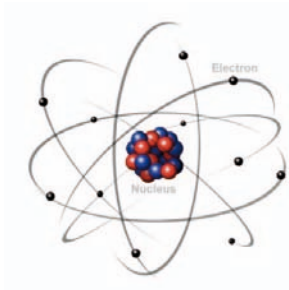
z e c p p c z z

# Energy and Matter

---



¿??? ¿??? ¿j e???u



Comprobado en el LHC de CERN (Ginebra, Suiza)

# Teoría de la Gravitación



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Comprobado en el sistema solar  
y a escalas astrofísicas y  
cosmológicas.

h<sup>?</sup> j A



የኃይል ምንጭ ለምሳሌ የግብርና ለምሳሌ የግብርና ለምሳሌ የግብርና ለምሳሌ የግብርና

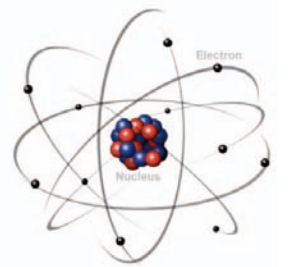
---



*ħ*



*ħ*

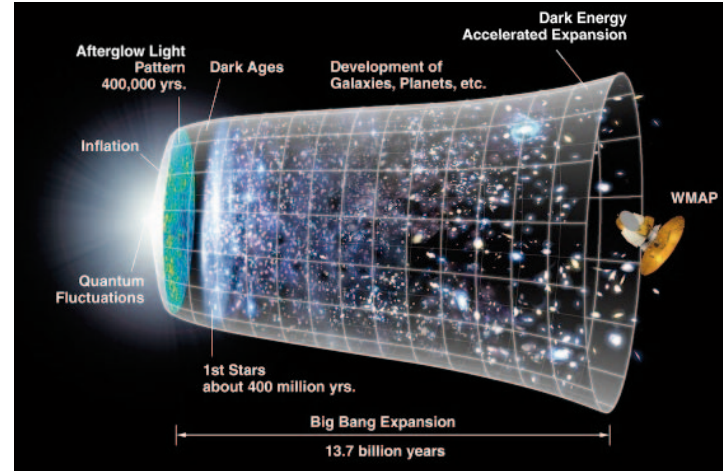
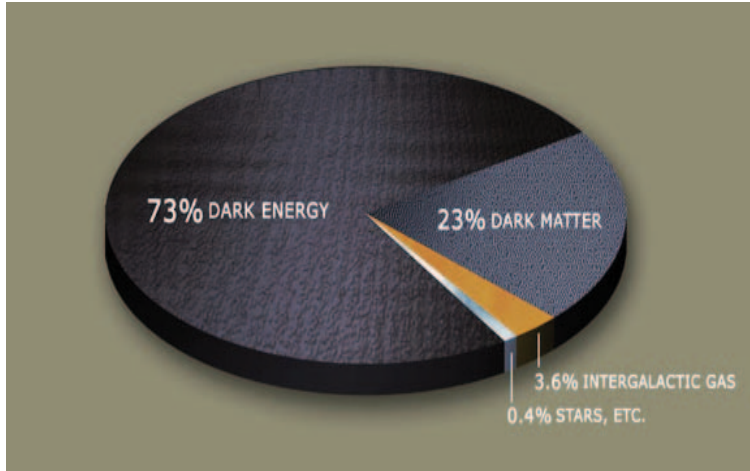


*ħ*

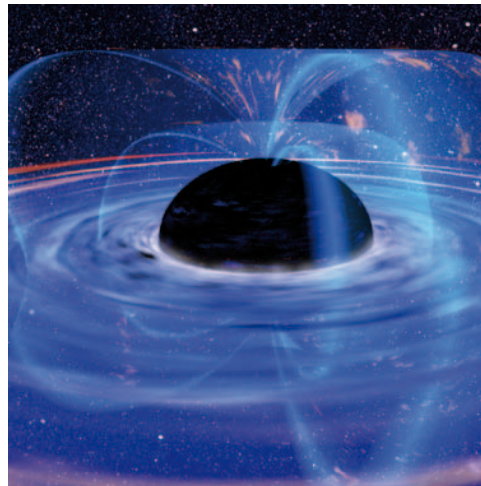


*ħ*

# ¿Qué es la materia oscura? ¿Qué es la energía oscura? ¿Cómo se relacionan con la expansión del universo?



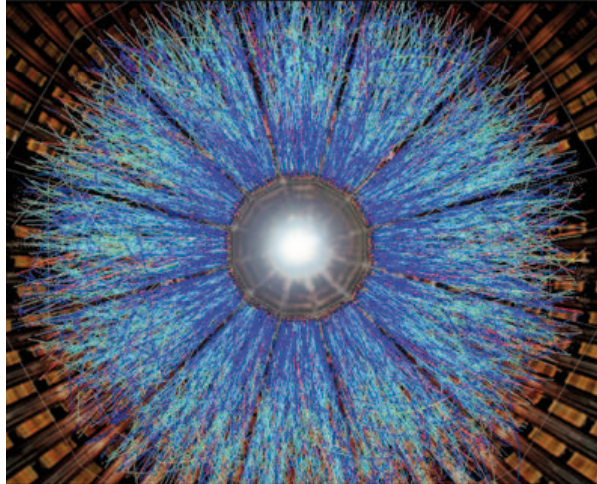
Materia oscura  
Energía oscura



Inflación

Gravedad cuántica

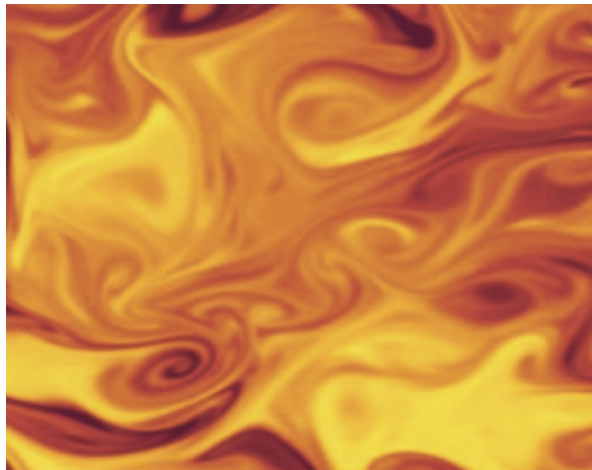
¿¿¿A? ¿¿¿¿j ¿¿¿¿¿g¿¿¿¿ ¿¿¿¿e¿ ¿r ¿ue?



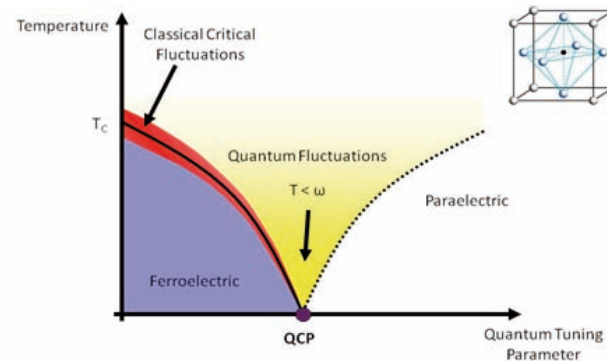
Quark Gluon Plasma



Superconductores no convencionales



Turbulencia



Puntos críticos cuánticos

d[?] [?] [??] i u[?] [?] [??] ? ¿ r [?] [??] [??] [??] ¿ c

---

¿Existe un formalismo capaz de describir:

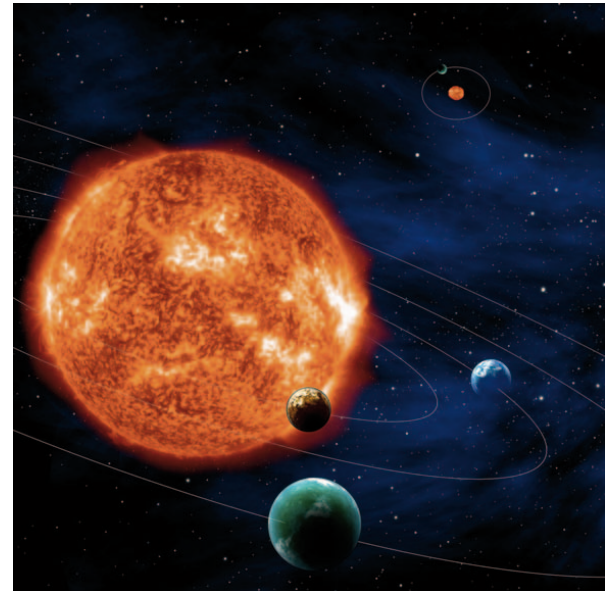
las cuatro interacciones fundamentales

(en particular, gravedad cuántica)

de forma unificada?

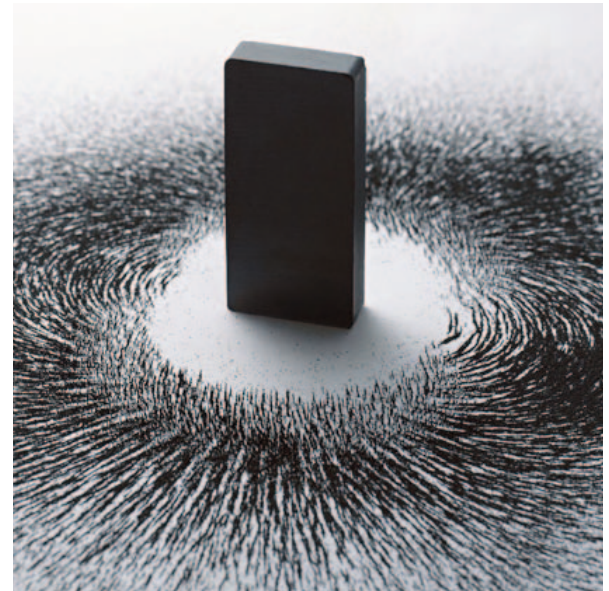
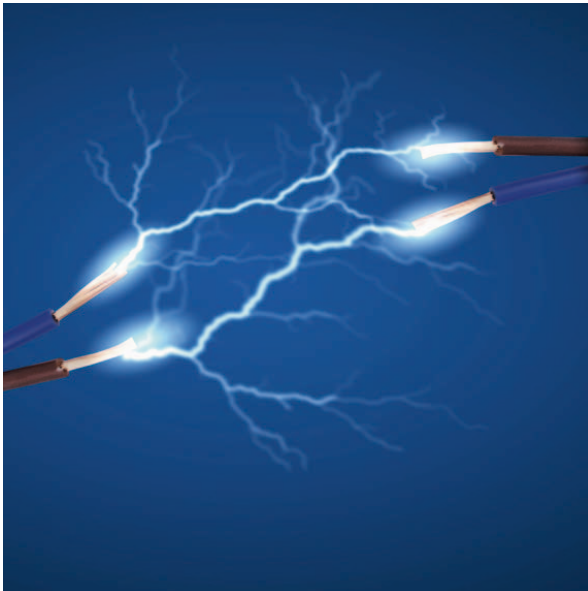
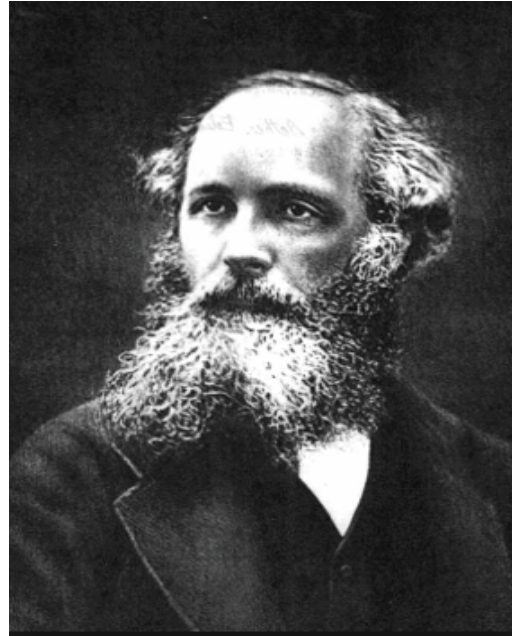
¿Podría ese formalismo usarse para estudiar teoría cuántica de campos a acoplamiento fuerte?

Newton's Law of Gravity

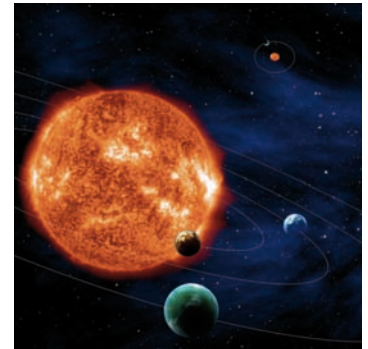
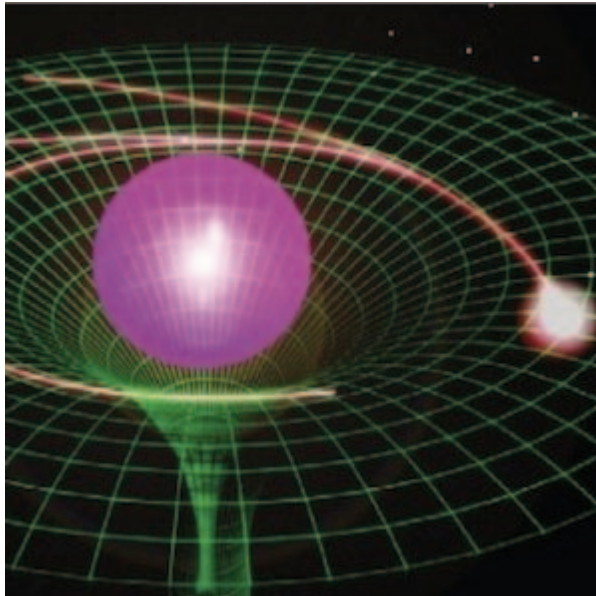
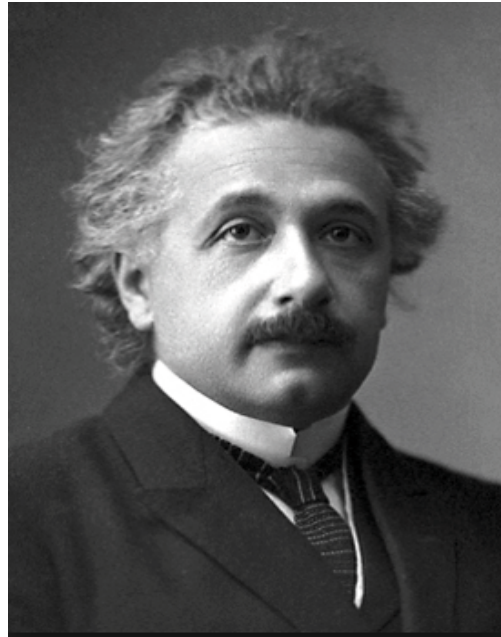




?? ????A? t?? ?eü ? ????e? ? ç



Albert Einstein's theory of general relativity



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

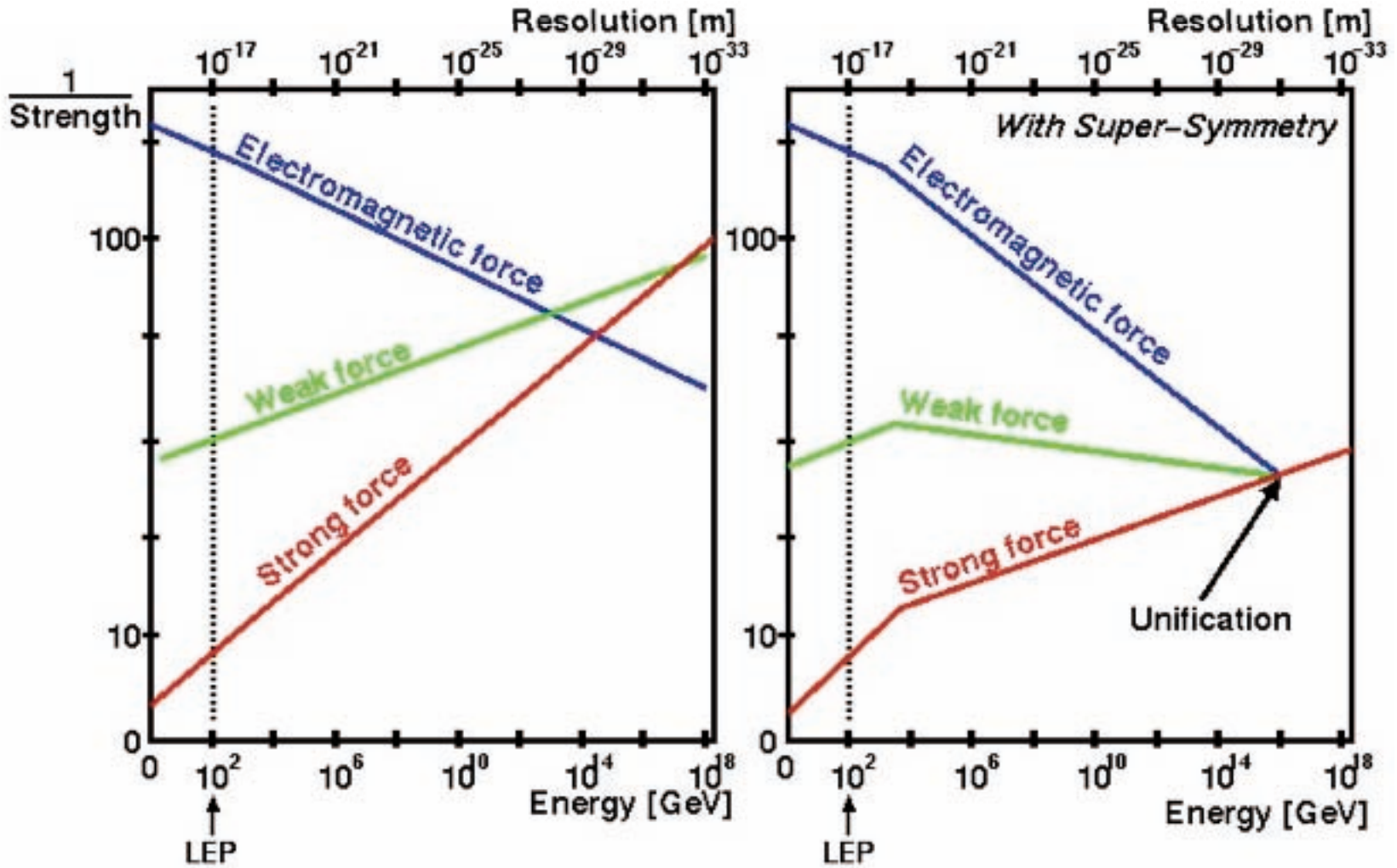




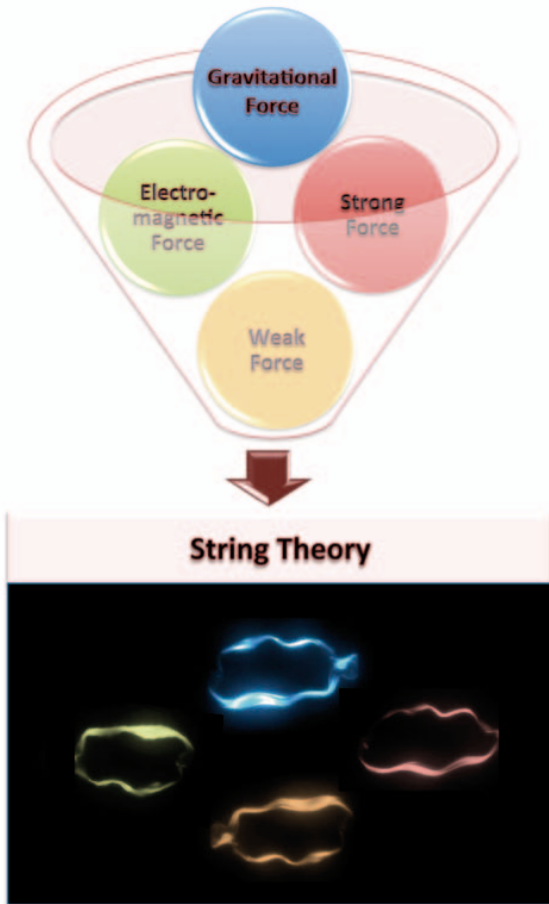




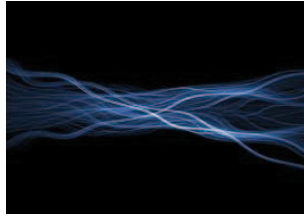
# Force Unification



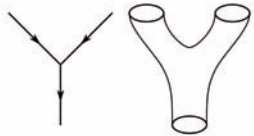
??¿ u?? ????r ?u??j



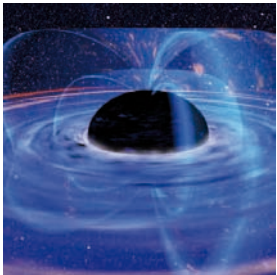
# Teoría de cuerdas



Los distintos modos de vibración de las cuerdas producen diferentes partículas



Interacciones bien comportadas cuánticamente



Gravedad cuántica: la entropía de Bekenstein-Hawking

$$S = \frac{A}{4\hbar G}$$

se puede reproducir con teoría de cuerdas

Bosones

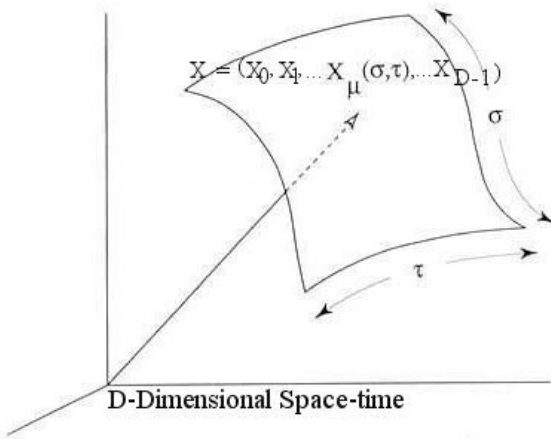


Fermiones



Incorpora supersimetría

# ¿? ¿? ¿? ¿? ¿? ¿? ¿? ¿? ¿? ¿?



La cuerda barre una superfície 2-dimensional al propagarse por el espaciotiempo: la *hoja de universo*.

En la hoja de universo viene definida una teoría de campos:

$$I = \frac{1}{4\pi\alpha'} \int d^2z \sqrt{\gamma} [\gamma^{ij} \partial_i x^M \partial_j x^N g_{MN}(x) + i\epsilon^{ij} \partial_i x^M \partial_j x^N A_{MN}(x) + \alpha' R(\gamma) \phi(x)]$$

$\int \mathcal{L}(\eta, \dot{\eta}, x) dx$

---

El buen comportamiento cuántico de la hoja de universo tiene un precio: la dimensión del espaciotiempo ha de fijarse a cierto valor.

La teoría de cuerdas predice que la dimensión del espaciotiempo es  $D=10$  (no  $D=4$ ).

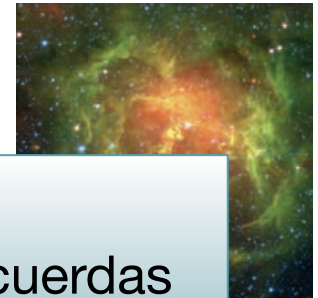
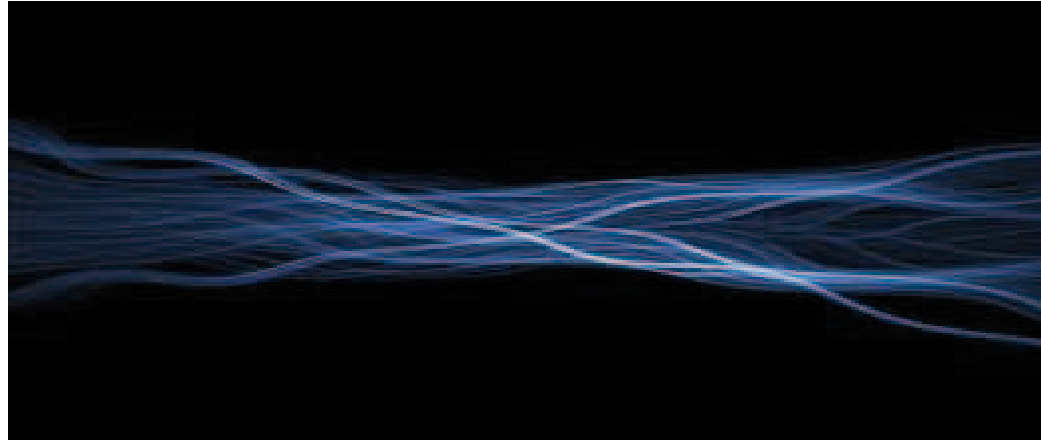


????r g?u?u ??? ???? ???? L?

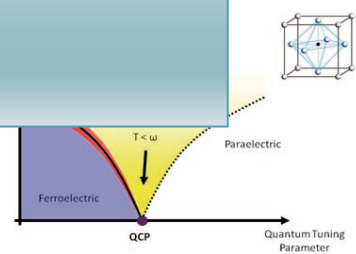
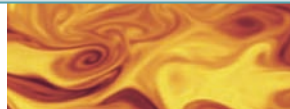
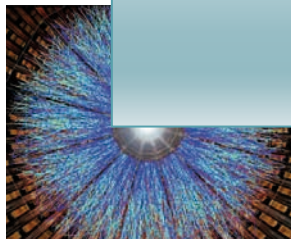
---



String Theory and Quantum Gravity



Recuperar la física 4D a partir de la teoría de cuerdas





g e n e r a l i z a t i o n

# 10-Dim Supergravity Backgrounds

4-Dim

+

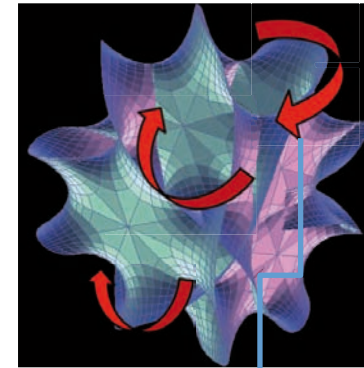
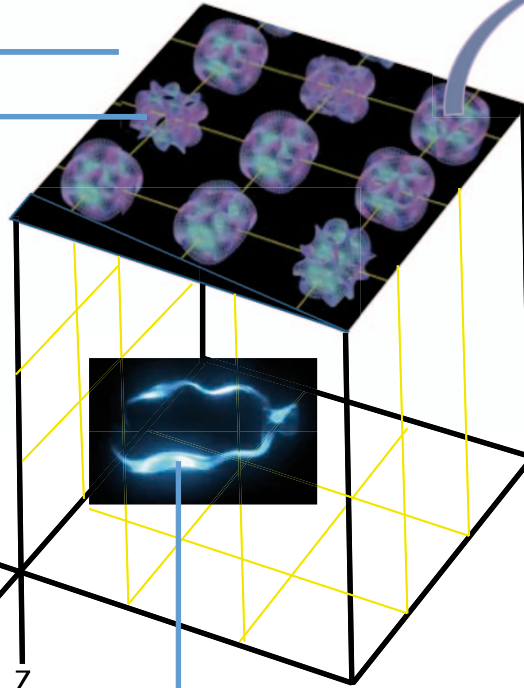
6-Dim

At each 4D point, there exists a different 6D internal space

Supersymmetry requires the 6D Space to be Calabi-Yau

Time +

x  
y  
z



The 10D supergravity fields take vevs (fluxes) on the internal space

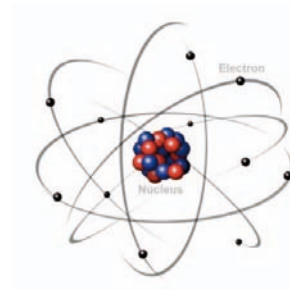
Strings propagate in this background.  
The 4D theory is gauged supergravity.

# La geometría de las dimensiones extra determina:

La geometría de las dimensiones extra determina:

- el contenido en campos y
- las interacciones

de la física en 4D.



g u t

Teoría de cuerdas predice teorías 4D *parecidas* a las del Modelo Estándar, pero no exactamente las mismas.

La teoría da cabida a  $10^{500}$  universos distintos.





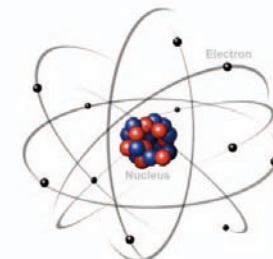


La correspondencia AdS/CFT conjetura la equivalencia de:

Gravedad en 5D  
(a grandes curvaturas)



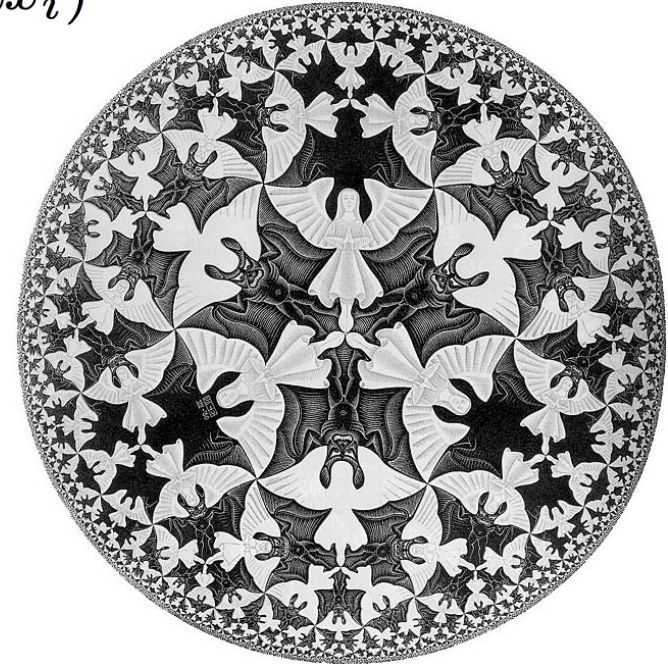
4D teoría cuántica de campos  
(a acoplamiento fuerte)



# Geometría de espacios de Einstein

$$\text{AdS}_5 : \quad ds^2 = \frac{dr^2}{r^2} + r^2 (-dt^2 + dx^i dx_i)$$

es una solución de las ecuaciones de Einstein (con constante cosmológica negativa)

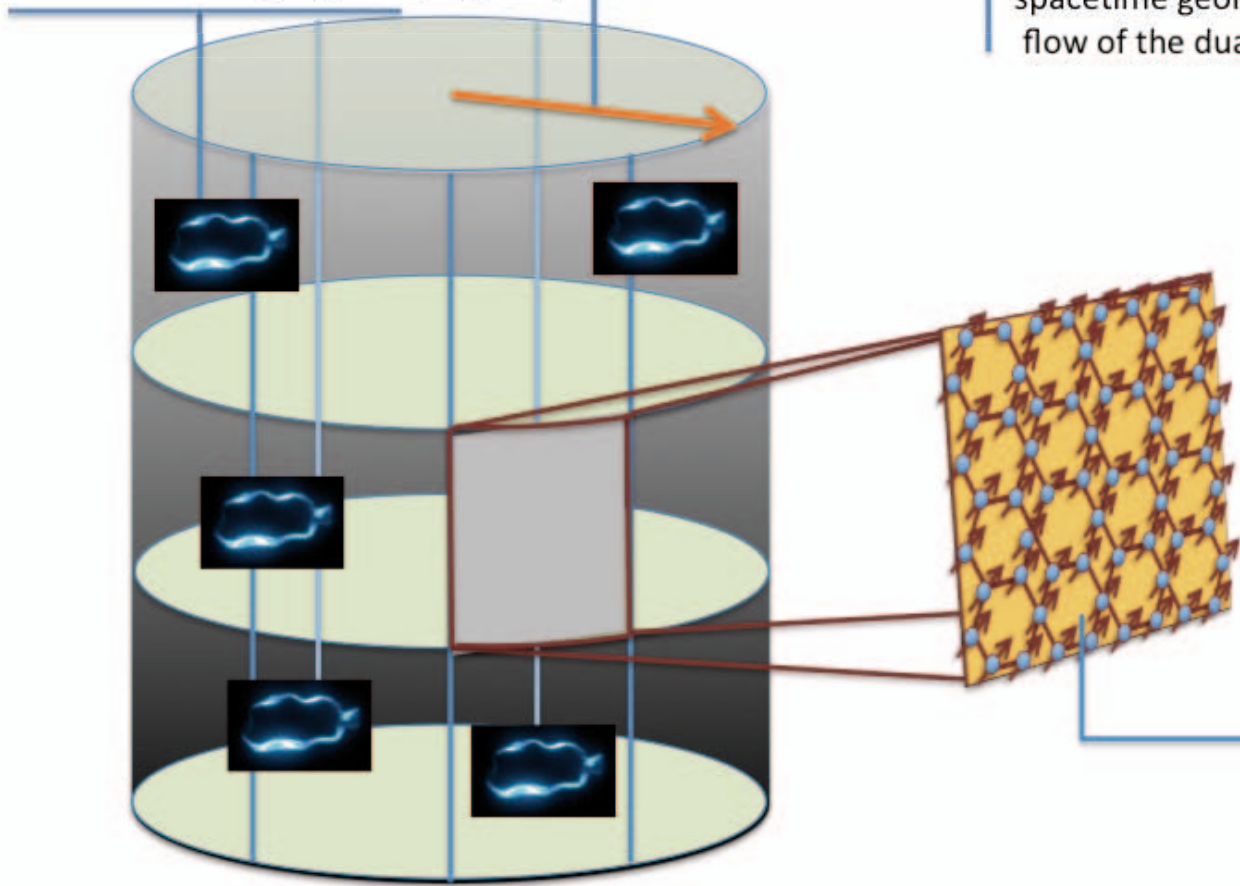




# AdS/CFT

Strings propagate on AdS or Lifshitz space. Their effective modes define a gauged supergravity

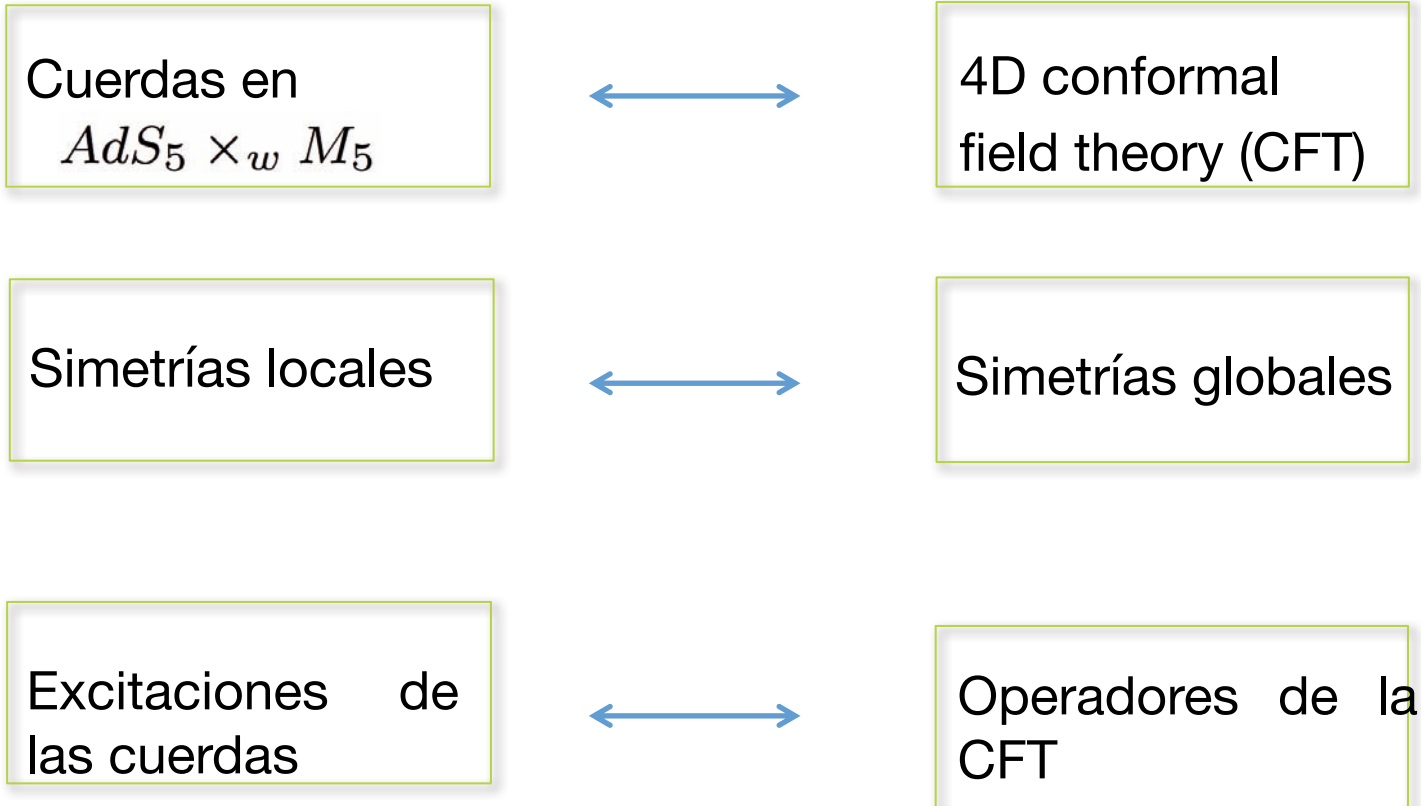
The radial direction of AdS or Lifshitz spacetime geometrises renormalisation group flow of the dual field theory



The dual field theory is defined on the boundary of AdS or Lifshitz spacetime



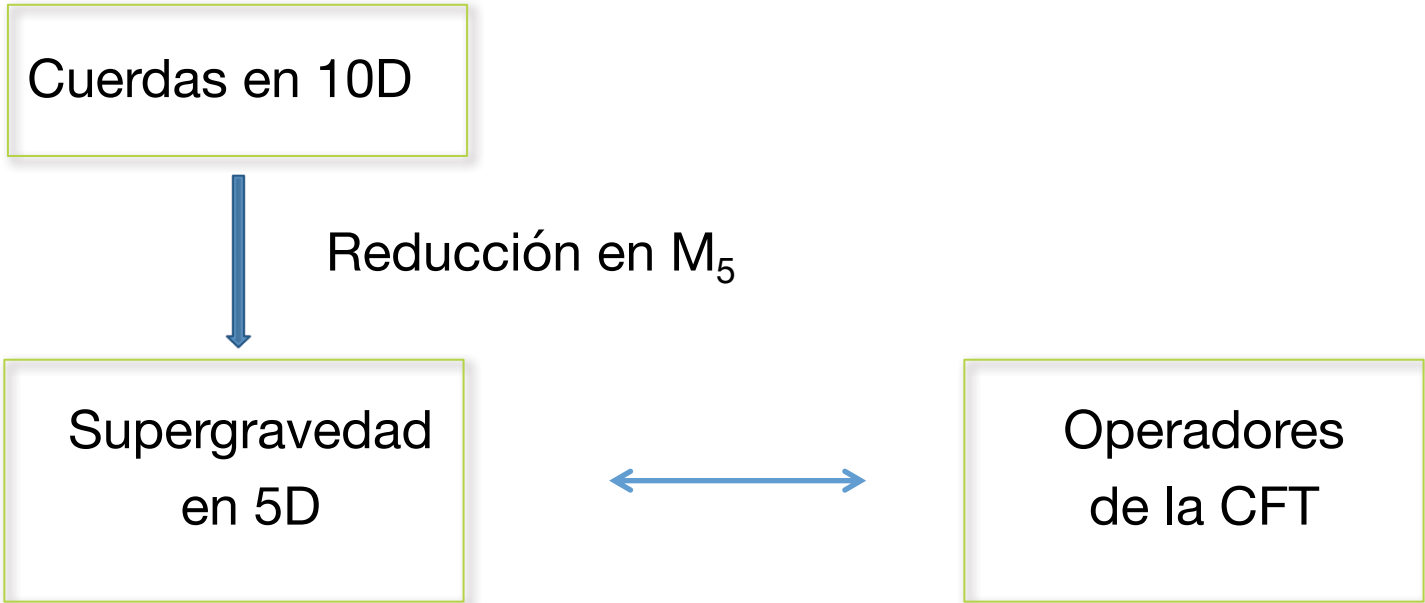
??????



AdS/CFT es una dualidad fuerte/débil

?? v P ? ? ? ? ? ? ? ? ? ? ? ?

---



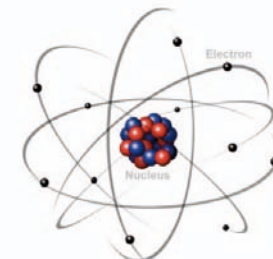


La correspondencia AdS/CFT conjetura la equivalencia de:

Gravedad en 5D  
(a grandes curvaturas)

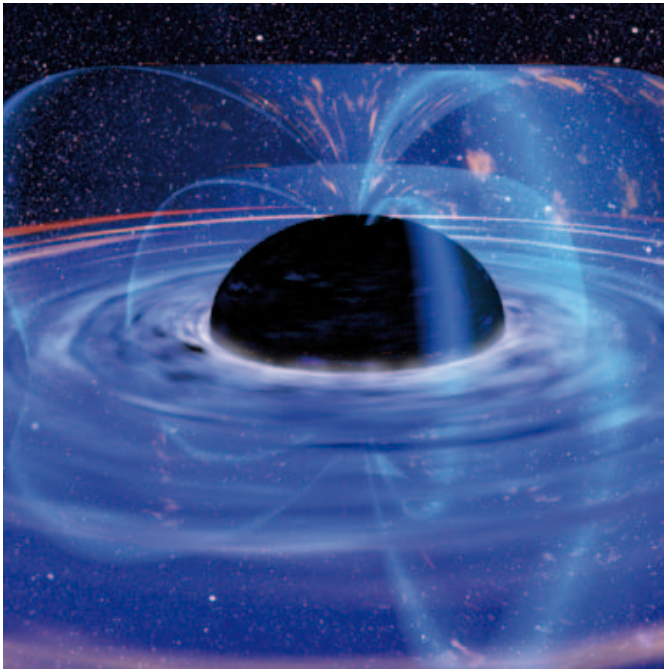


4D teoría cuántica de campos  
(a acoplamiento fuerte)



የግንባታ ስነ-ምግባር ስነ-ምግባር ስነ-ምግባር ስነ-ምግባር ስነ-ምግባር

---



Agujeros negros



Superconductores

?? y g ?? e o ? j ?? ? ? r er u

## ¿Puede la teoría de cuerdas hacer contacto de forma precisa con la física 4D mediante compactificaciones de flujo?

---

- Puede la teoría de cuerdas hacer contacto de forma precisa con la física 4D mediante compactificaciones de flujo?
- Puede la teoría de cuerdas describir teorías realistas como QCD mediante (modificaciones) de QCD?
- Da la teoría cuenta de fenómenos observados pero no explicados?

u? ? ? j p