

El Primer Segundo del Universo

(y los siguiente 13.700.000.000 de años!)

Daniel G. Figueroa
CERN, Theory Division



Cosmología = 'Tratado/Estudio' del 'Cosmos/Orden'
(Wikipedia)

*Cosmología = Estudio del Universo como un **TODO***

(Evolución, Contenido,
"Nacimiento", "Muerte",...)

Método científico:

Observar + Medir → Deducir Leyes

Leyes → Predecir nuevos fenómenos

(**OJO!**: No podemos manipular el Universo, sólo observarlo!)

EL UNiVERSO



**Un 'espacio'
CONTENEDOR ...**



... de MATERIA

(átomos, galaxias, ...

+ 'objetos' más exóticos)

EL UNiVERSO



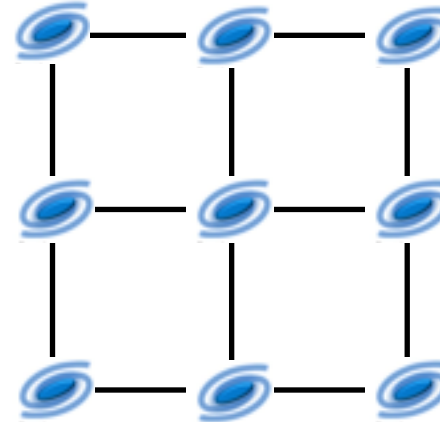
Un 'espacio'
CONTENEDOR ...



... de **MATERIA**

(átomos, galaxias, ...

+ 'objetos' más exóticos)



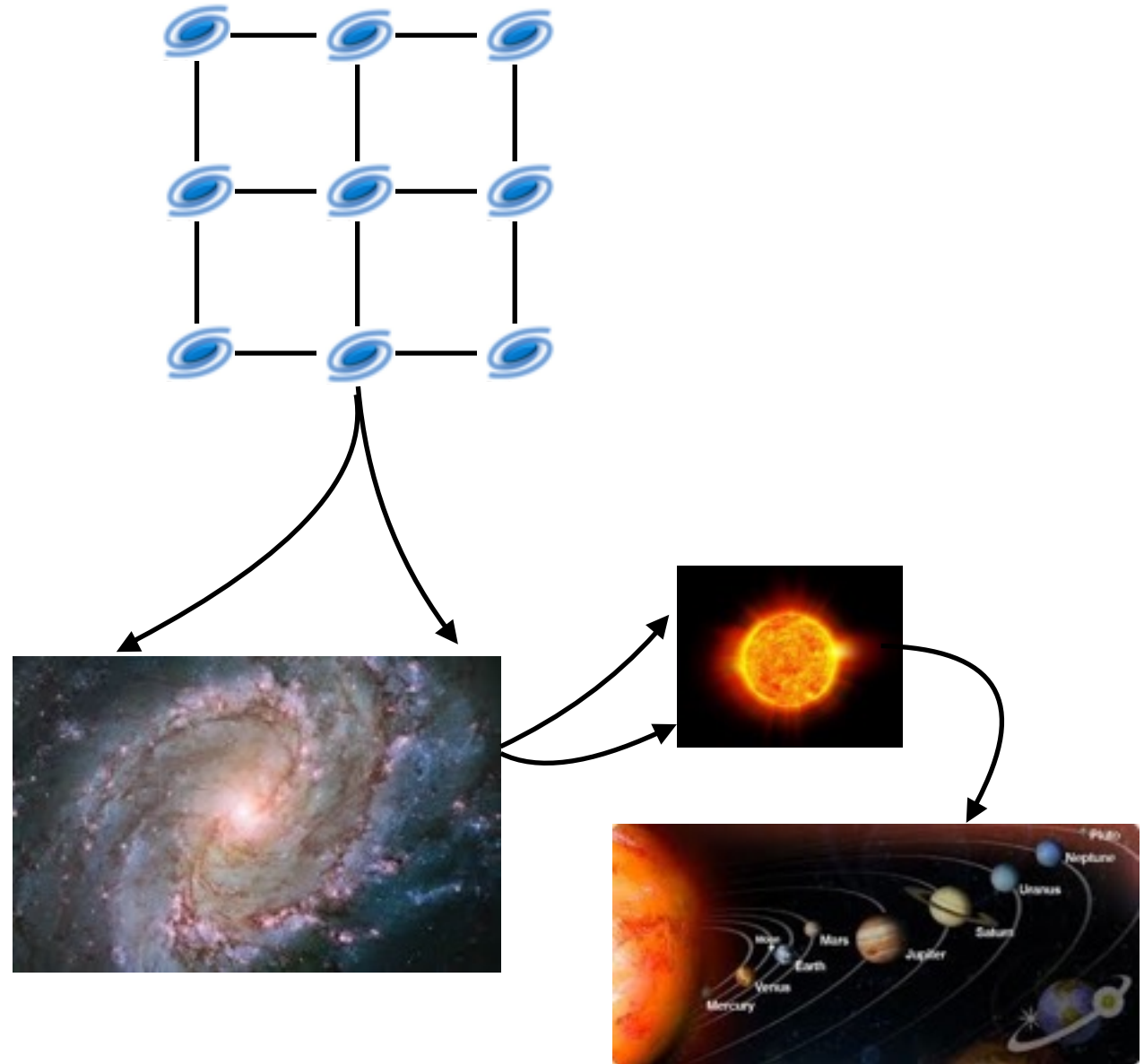
EL UNiVERSO



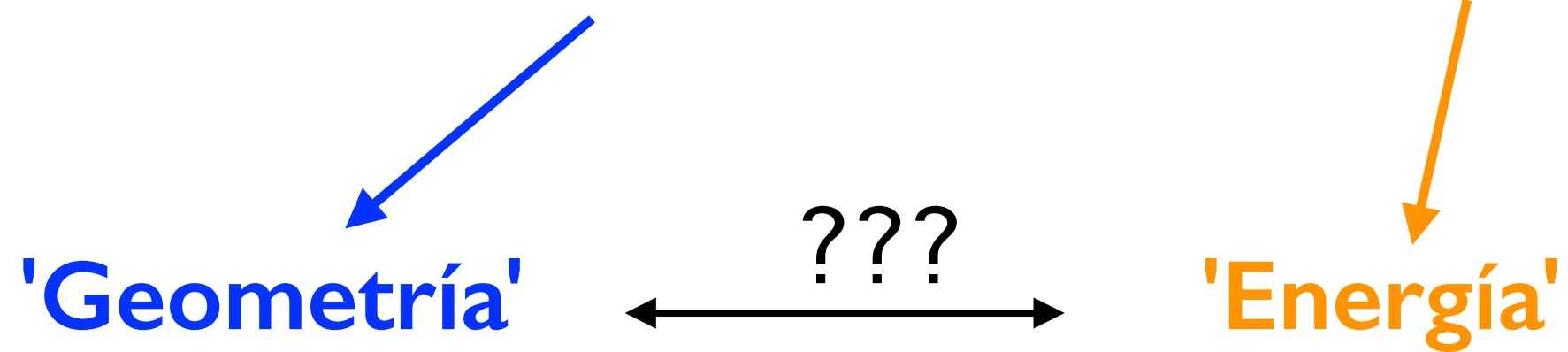
Un 'espacio'
CONTENEDOR ...



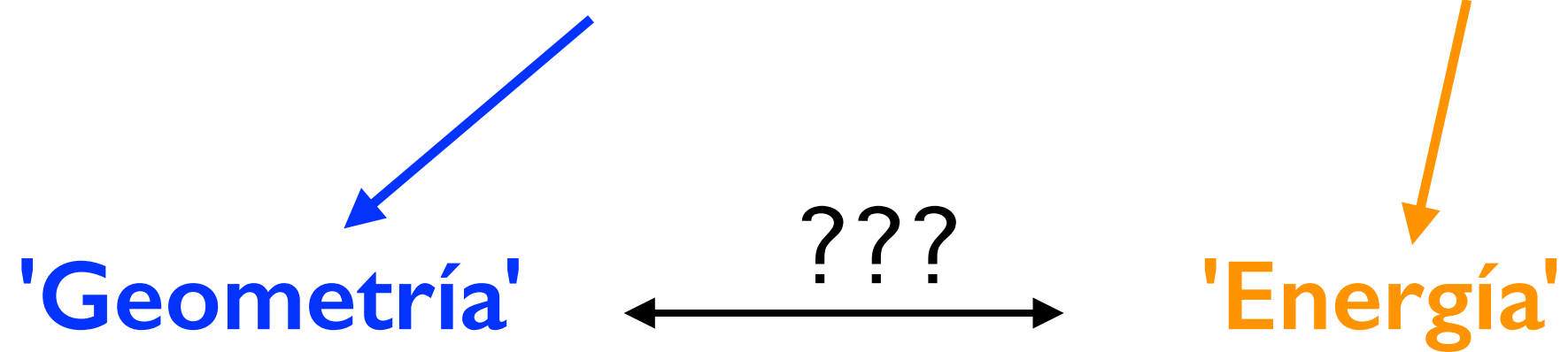
... de MATERIA
(átomos, galaxias, ...
+ 'objetos' más exóticos)



UNiVERSO = Espacio Contenedor de Materia

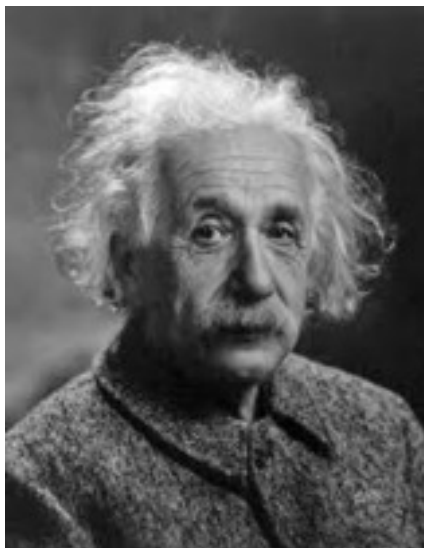


UNiVERSO = Espacio Contenedor de Materia

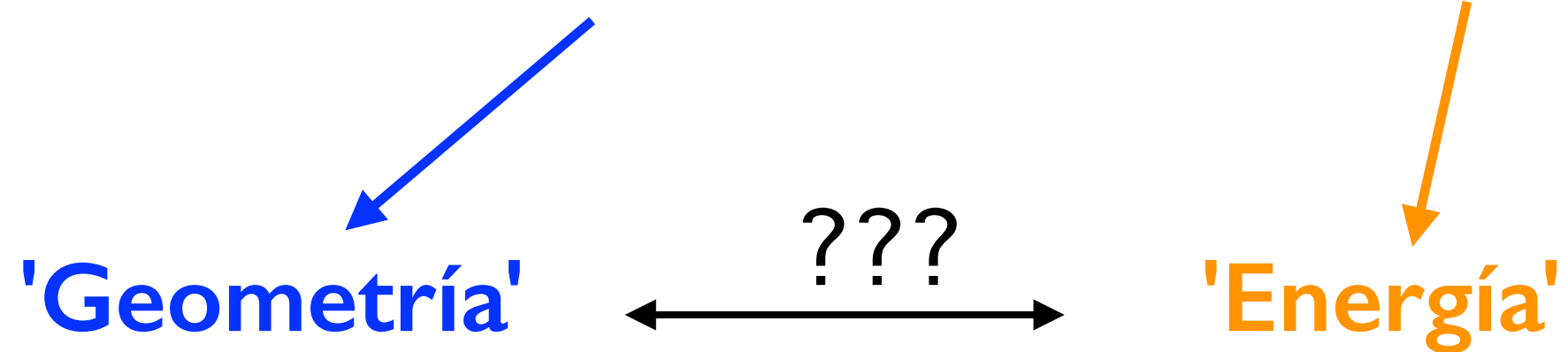


Geometría 'Espacio-Tiempo'
dicta **Movimiento de la Materia**

Presencia de Materia (Energía)
dicta **Geometría del Espacio-Tiempo**

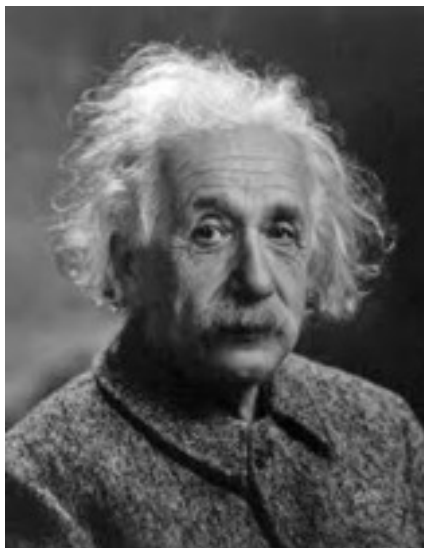


UNiVERSO = Espacio Contenedor de Materia

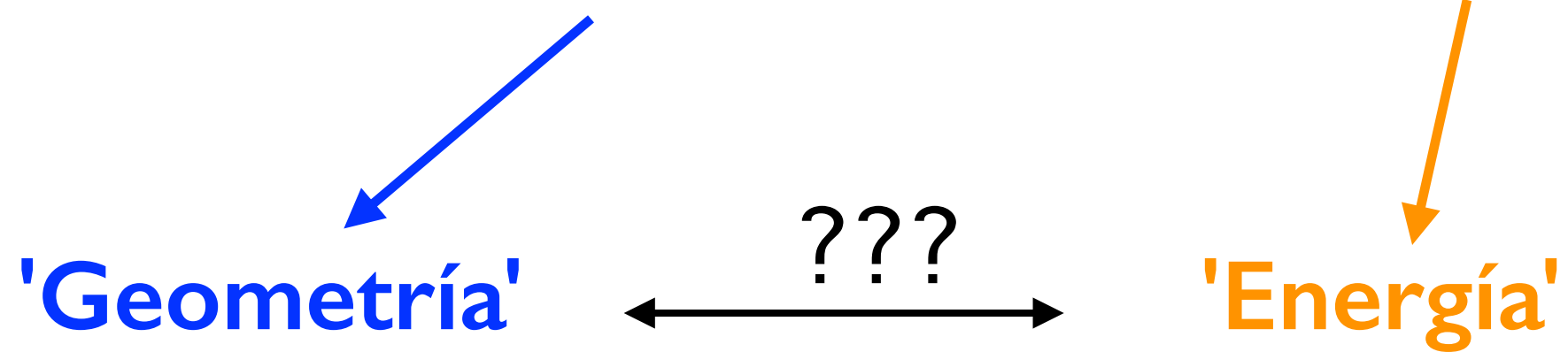


Geometría 'Espacio-Tiempo'
dicta **Movimiento de la Materia**

Presencia de Materia
dicta **Geometría del Espacio-Tiempo**

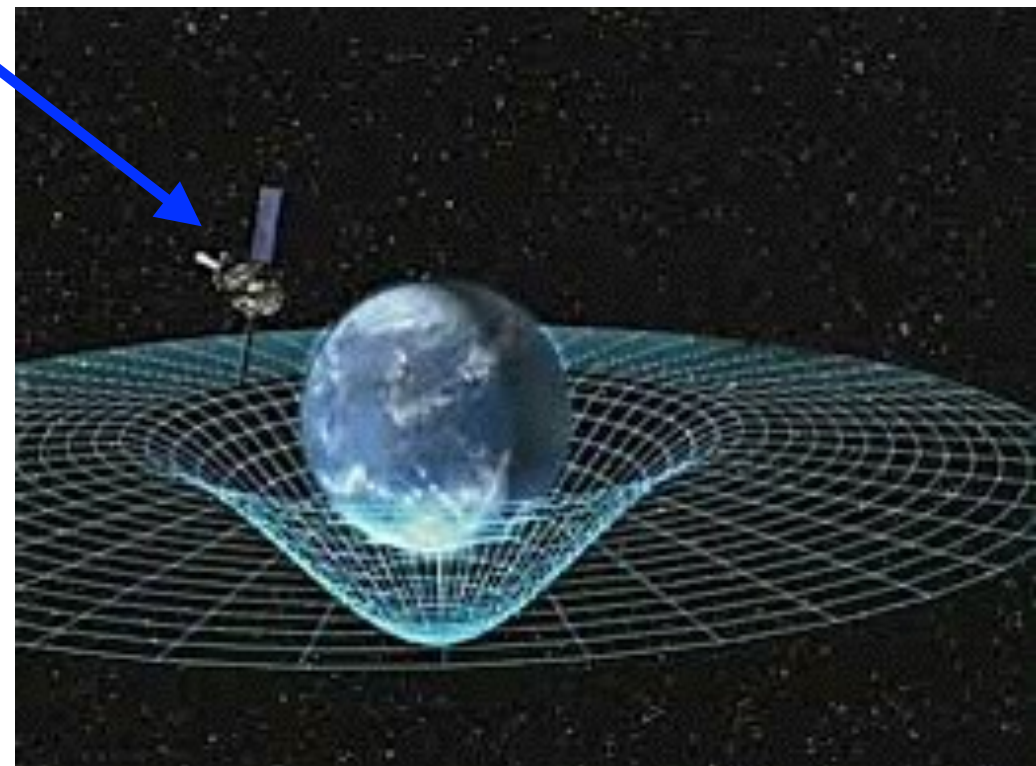
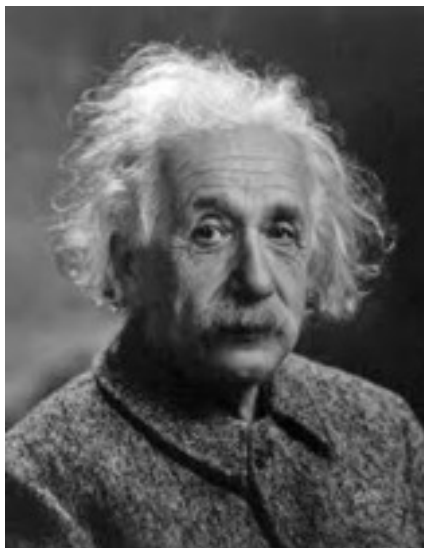


UNiVERSO = Espacio Contenedor de Materia

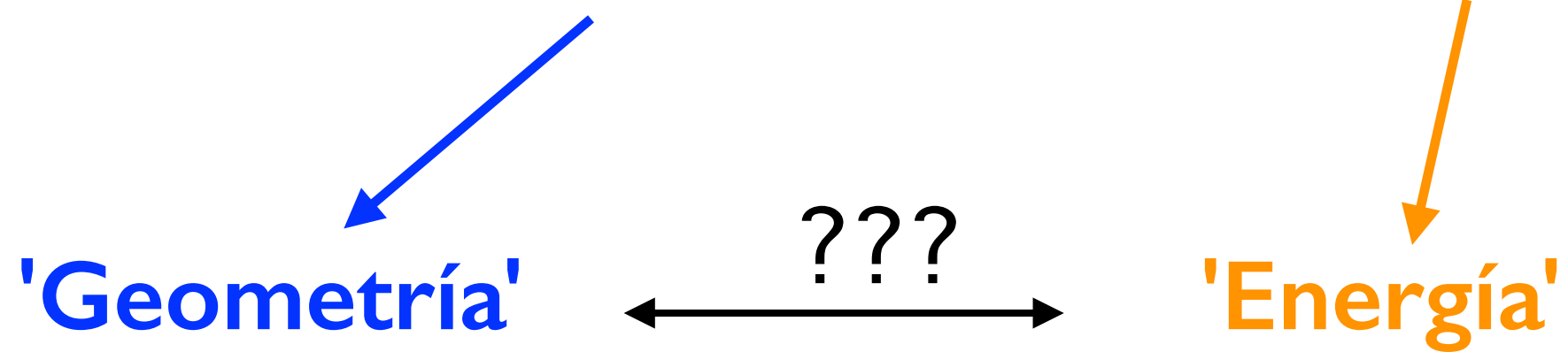


Geometría 'Espacio-Tiempo'
dicta **Movimiento de la Materia**

Presencia de Materia
dicta **Geometría del Espacio-Tiempo**

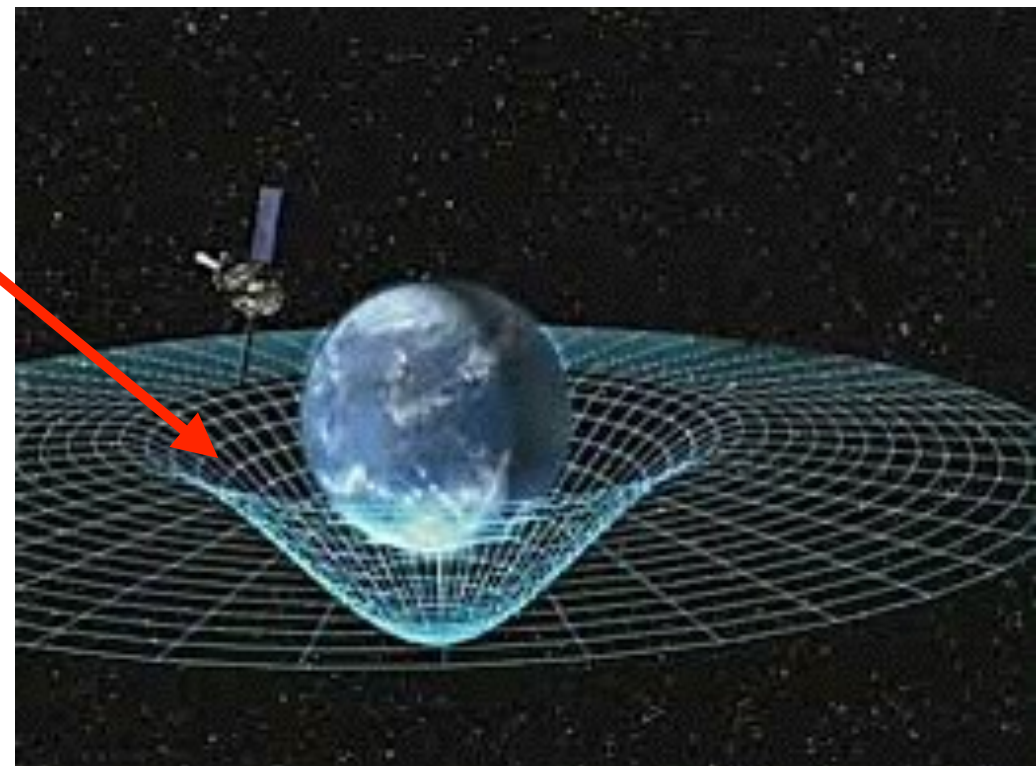
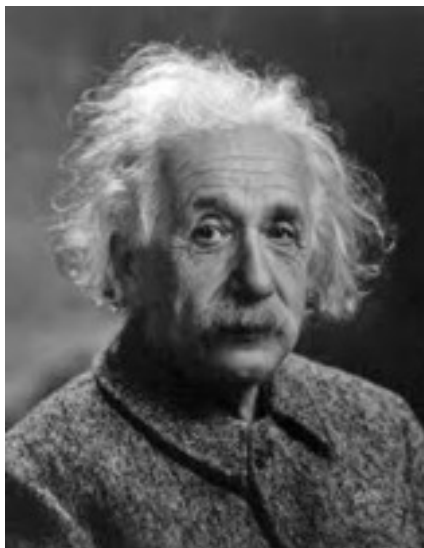


UNiVERSO = Espacio Contenedor de Materia



Geometría 'Espacio-Tiempo'
dicta **Movimiento de la Materia**

Presencia de Materia
dicta **Geometría del Espacio-Tiempo**



Espacio-Tiempo ↔ **Materia**

Teoría de la RELATIVIDAD
GENERAL (Einstein, 1916)

RELATIVIDAD GENERAL = TEORÍA de la GRAVEDAD



Espacio-Tiempo ↔ **Materia**

Teoría de la RELATIVIDAD
GENERAL (Einstein, 1916)

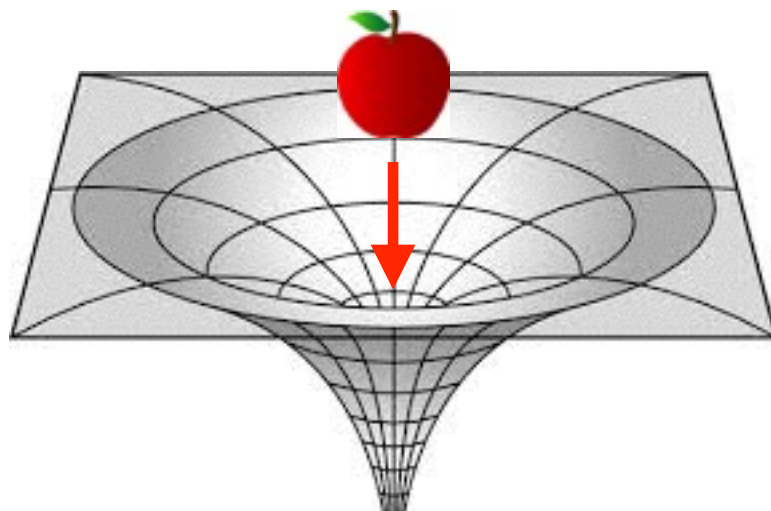
RELATIVIDAD GENERAL = TEORÍA de la GRAVEDAD



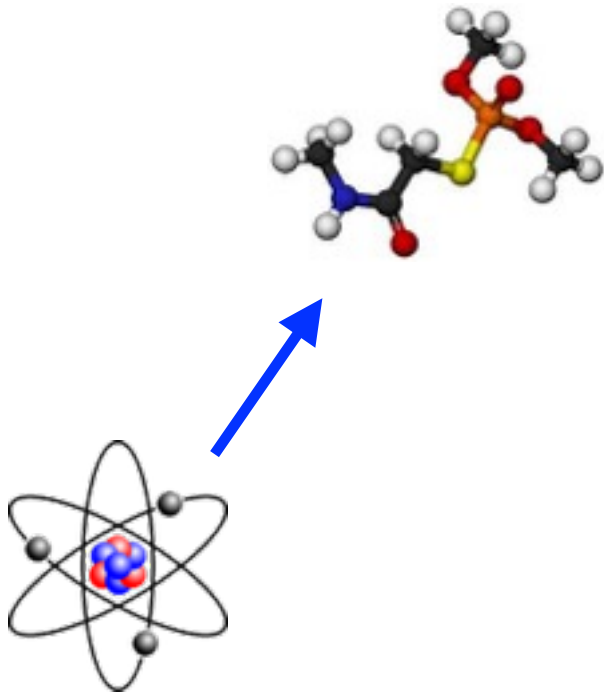
Espacio-Tiempo ↔ **Materia**

Teoría de la RELATIVIDAD
GENERAL (Einstein, 1916)

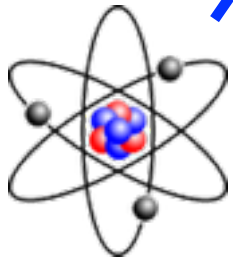
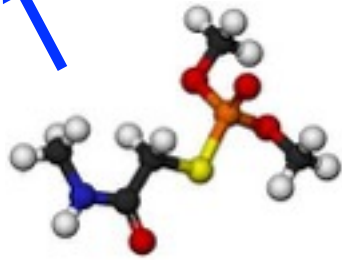
RELATIVIDAD GENERAL = TEORÍA de la GRAVEDAD



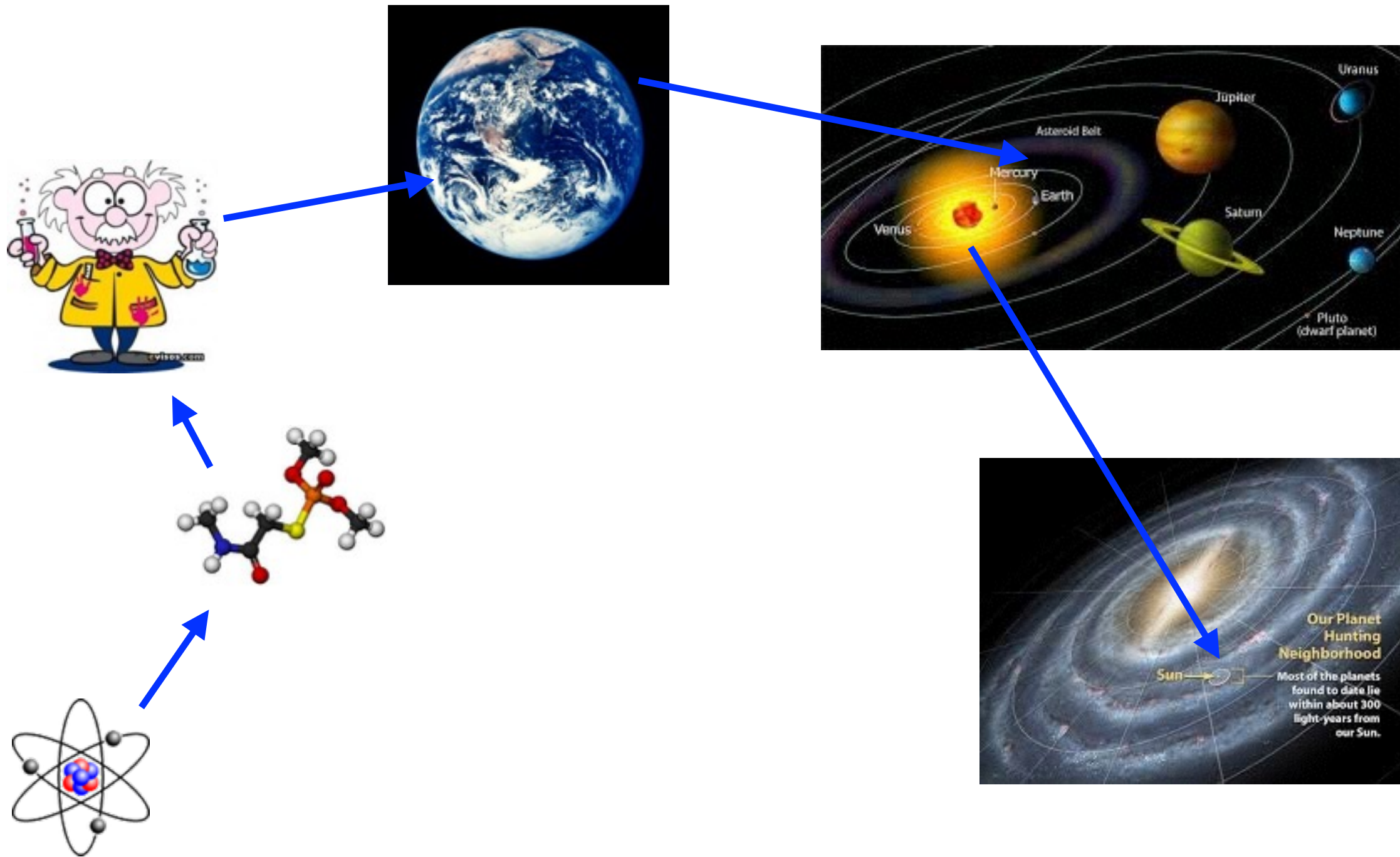
UNiVERSO = Contiene TODA la MATERIA



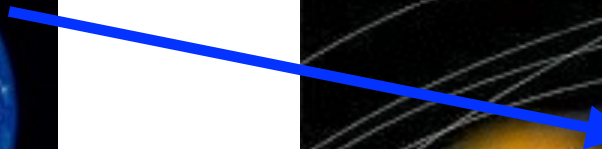
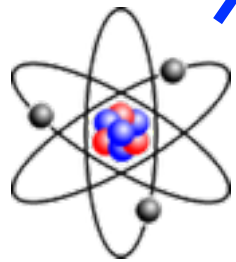
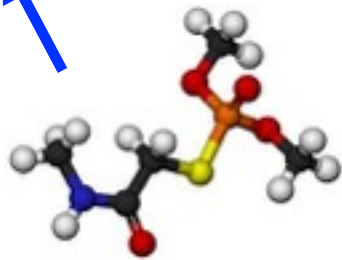
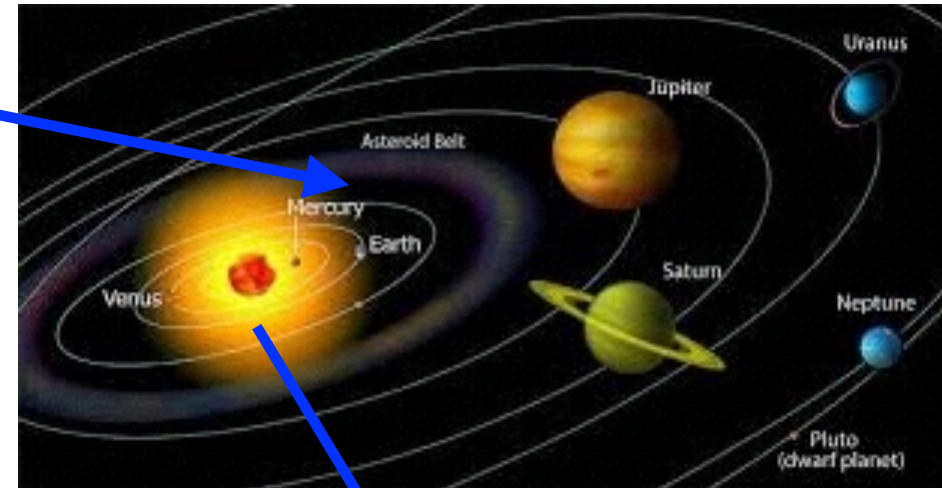
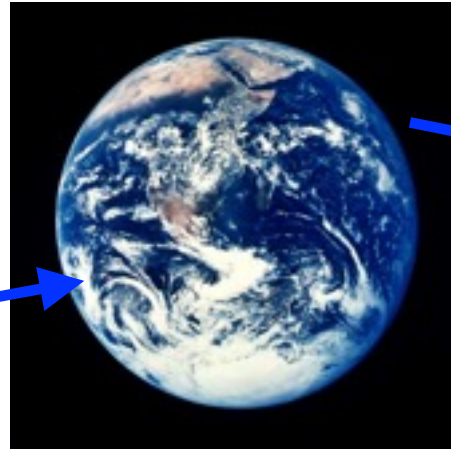
UNiVERSO = Contiene TODA la MATERIA



UNiVERSO = Contiene TODA la MATERIA



UNiVERSO = Contiene TODA la MATERIA



¿ UNiVERSO a GRAN ESCALA ?



¿ UNiVERSO a GRAN ESCALA ?



Principio Cosmológico:
HOMOGÉNEO e ISÓTROPO

¿ UNiVERSO a GRAN ESCALA ?



Principio Cosmológico:
HOMOGÉNEO e ISÓTROPO



IGUAL EN TODAS PARTES !!!

¿ UNiVERSO a GRAN ESCALA ?

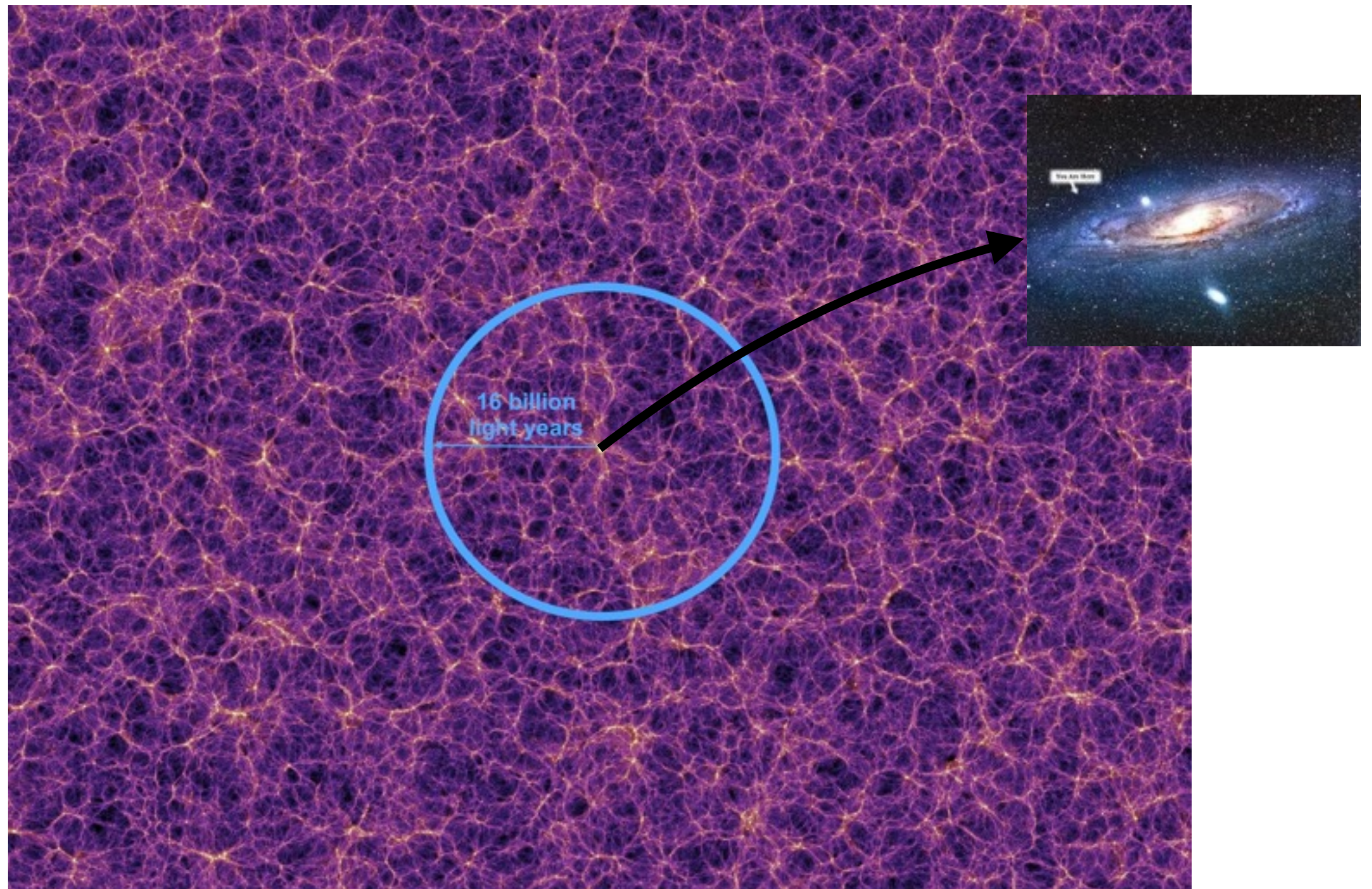


Principio Cosmológico:
HOMOGÉNEO e ISÓTROPO

IGUAL EN TODAS PARTES !!!

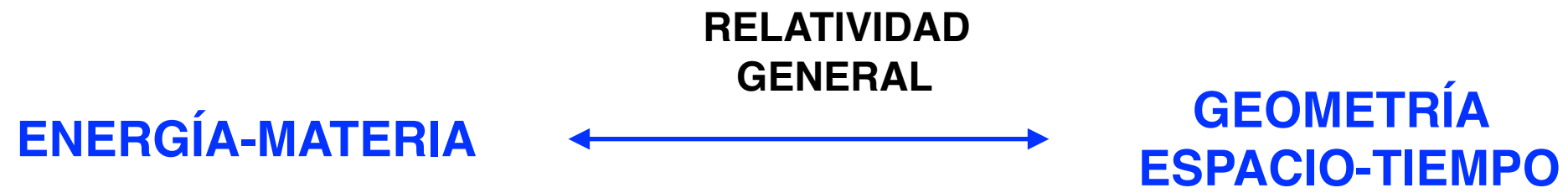
IGUAL EN TODAS DIRECCIONES !!!

UNiVERSO HOMOGÉNEO e iSÓTROPO

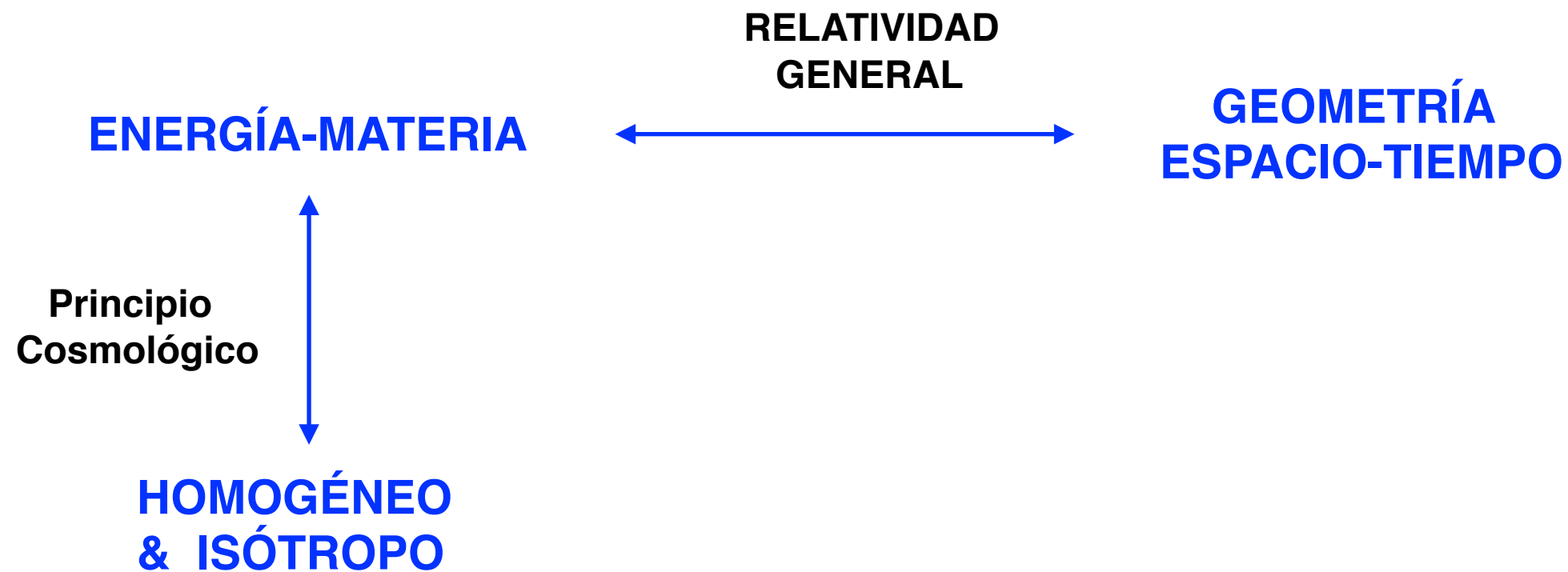


(Milkenium Simulation)

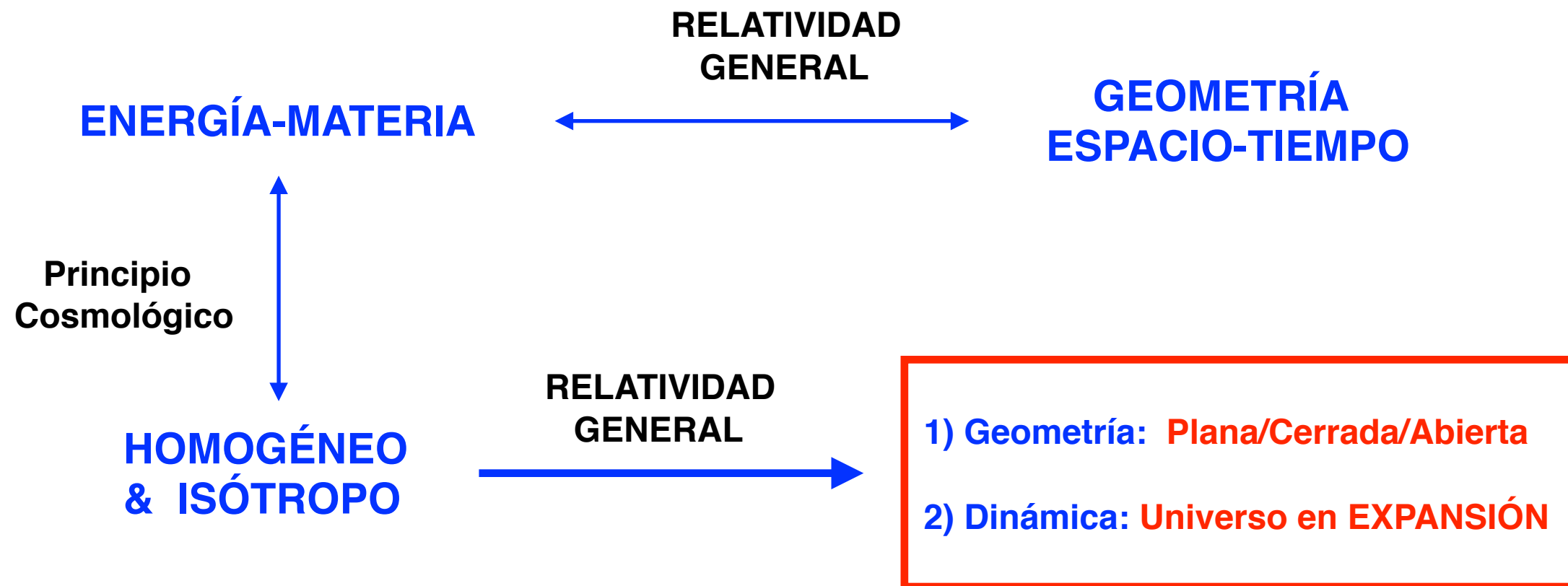
UNiVERSO HOMOGÉNEO e iSÓTROPO



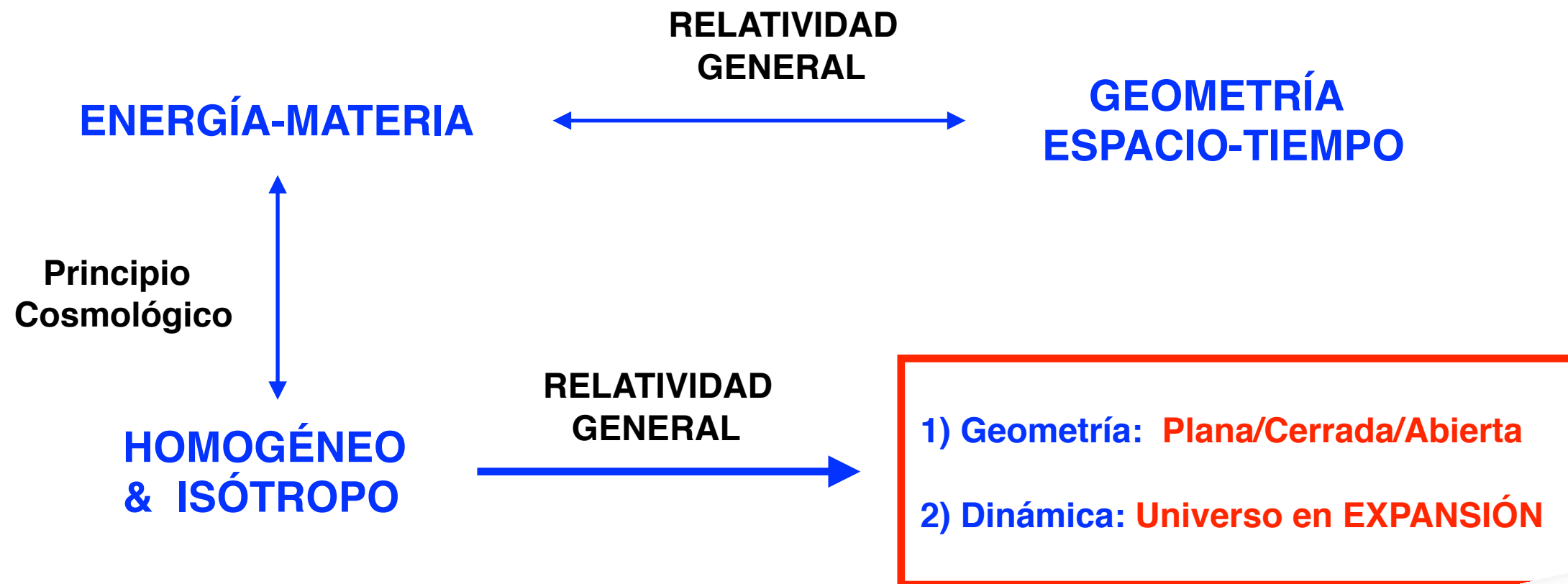
UNiVERSO HOMOGÉNEO e iSÓTROPO



UNiVERSO HOMOGÉNEO e iSÓTROPO



UNiVERSO HOMOGÉNEO e iSÓTROPO



Base de la Teoría del BIG BANG !!!

UNiVERSO HOMOGÉNEO e iSÓTROPO

TEORÍA DEL BIG BANG:

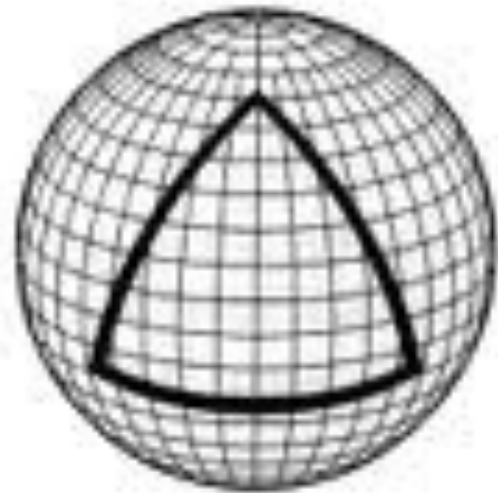
{ Geometría: Cerrada/Negativa/Plana
Dinámica: Universo en EXPANSIÓN

UNiVERSO HOMOGÉNEO e iSÓTROPO

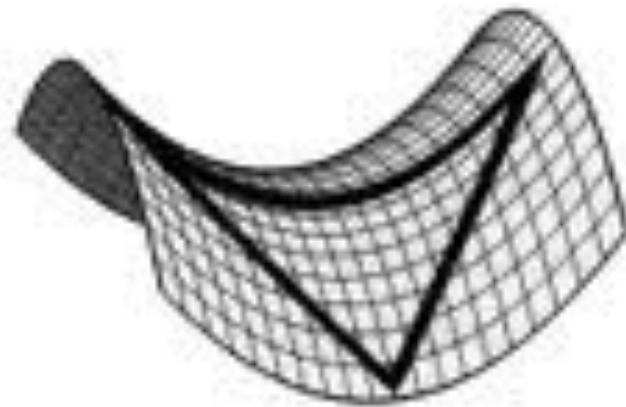
TEORÍA DEL BIG BANG:

Geometría: Cerrada/Negativa/Plana

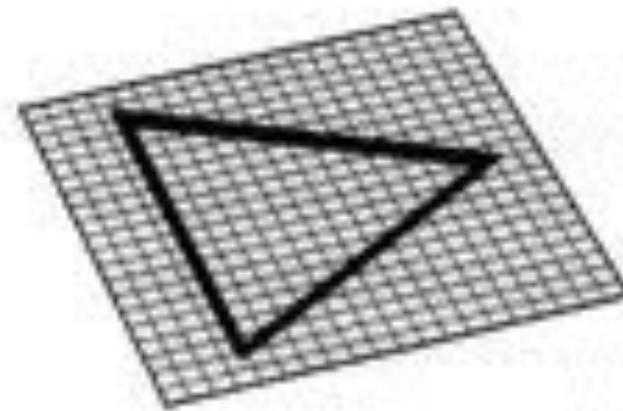
Dinámica: Universo en EXPANSIÓN



Positive Curvature



Negative Curvature



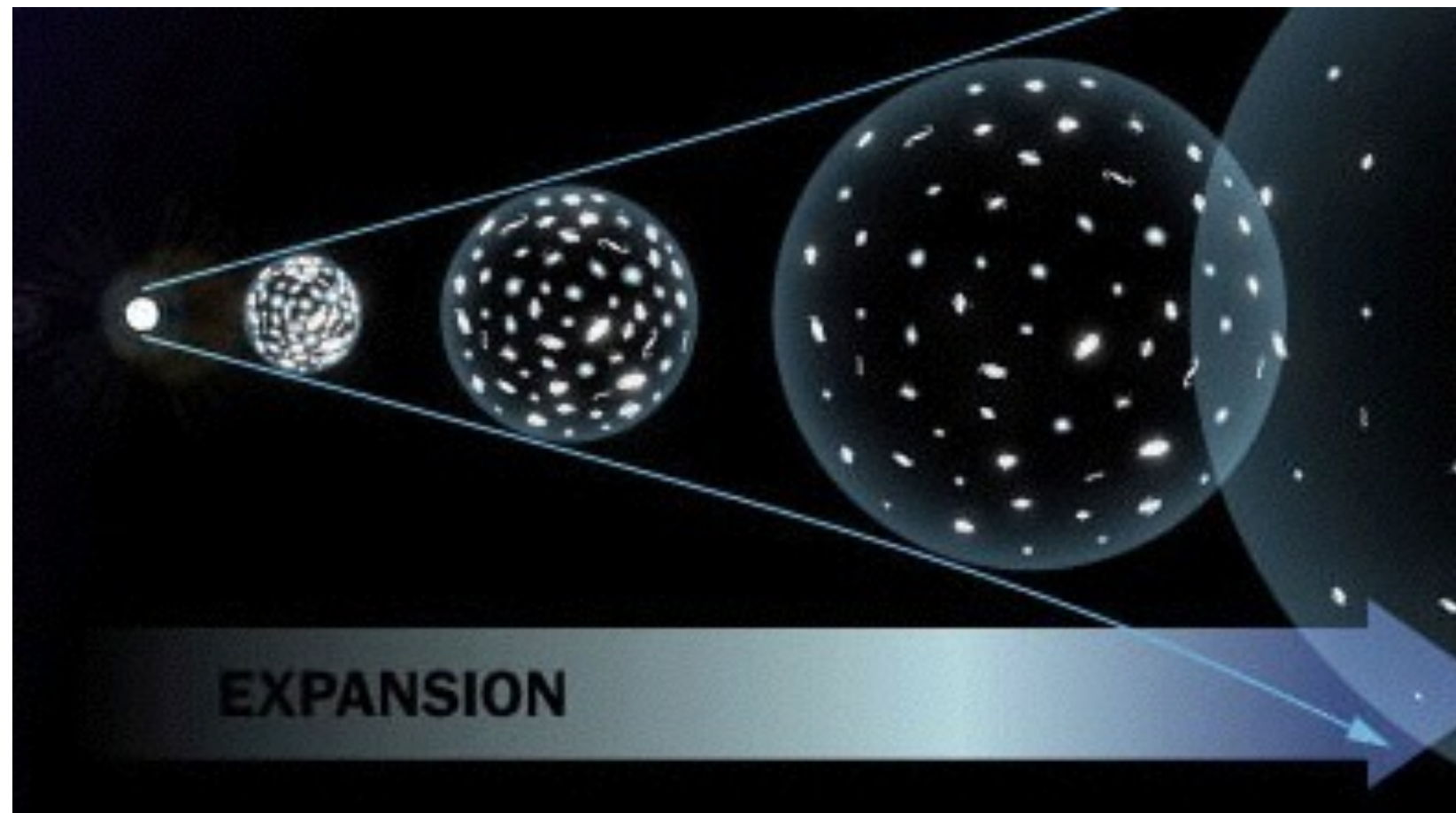
Flat Curvature

UNiVERSO HOMOGÉNEO e iSÓTROPO

TEORÍA DEL BIG BANG:

Geometría: Cerrada/Negativa/Plana

Dinámica: Universo en EXPANSIÓN



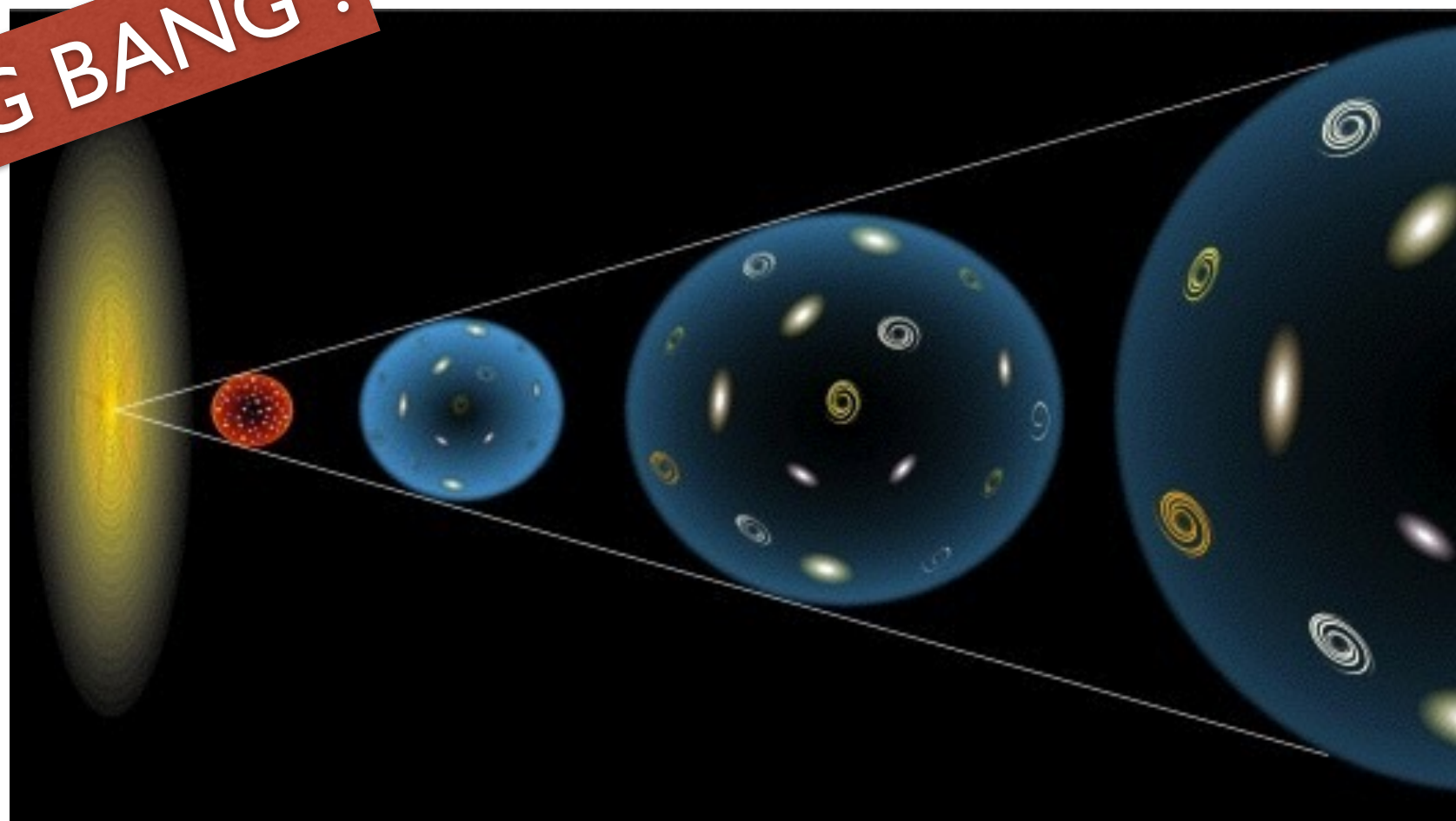
UNiVERSO HOMOGÉNEO e iSÓTROPO

TEORÍA DEL BIG BANG:

Geometría: Cerrada/Negativa/Plana

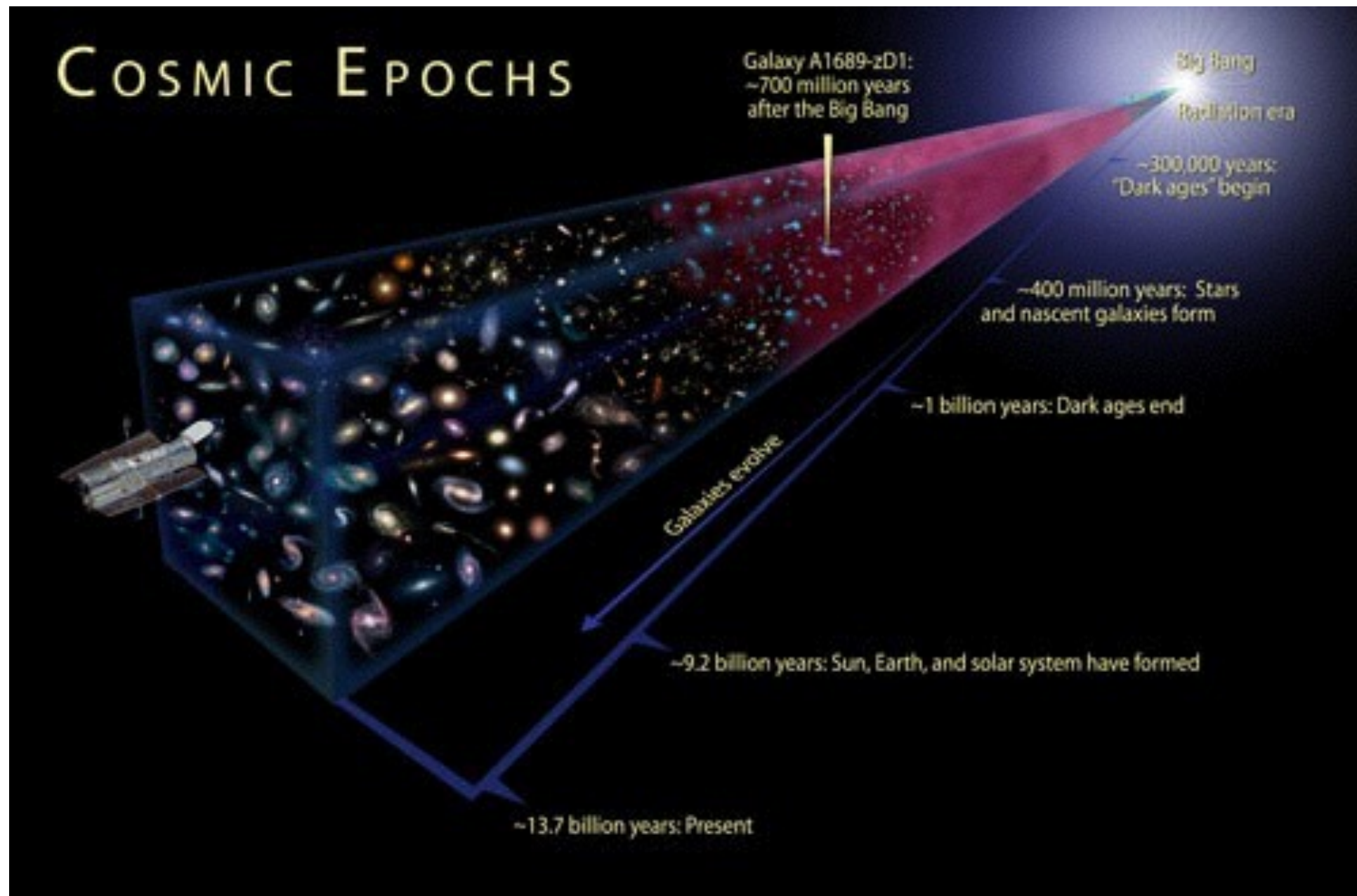
Dinámica: Universo en EXPANSIÓN

BIG BANG ?

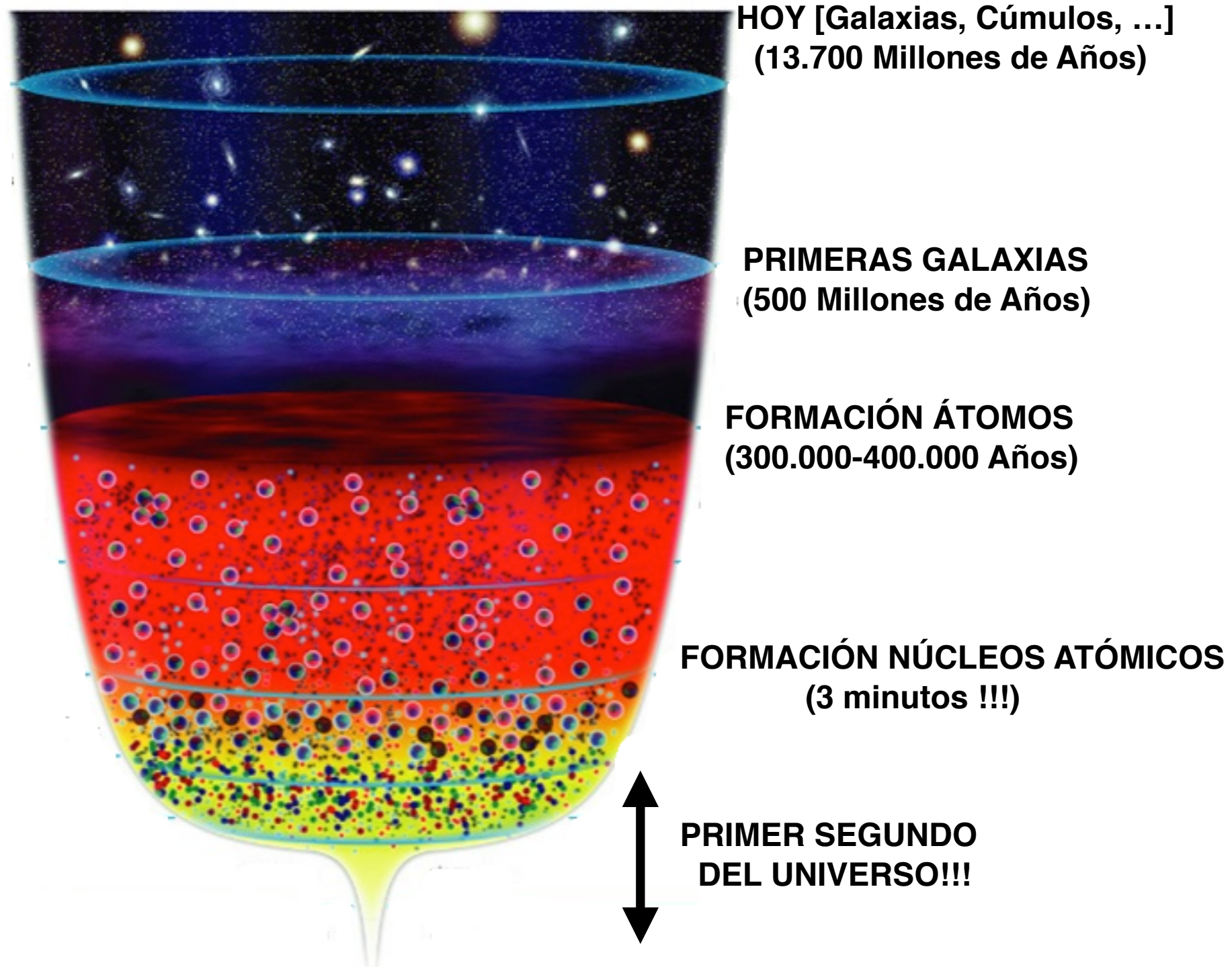


¿ t = 0 ?

HISTORIA CÓSMICA DEL UNIVERSO



HISTORIA CÓSMICA DEL UNIVERSO



RESUMEN



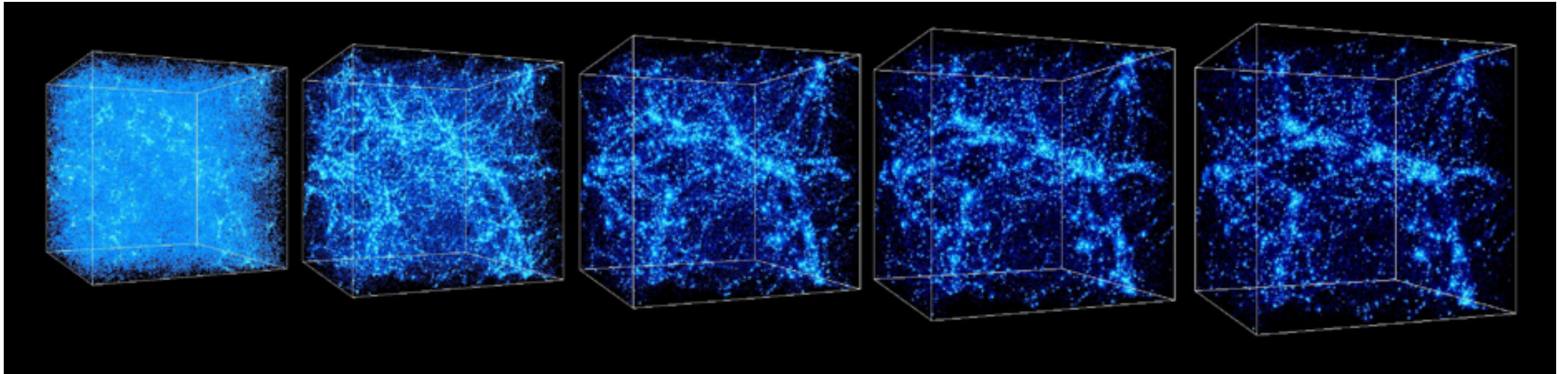
**Universo
Homogéneo
& Isótropo**

**Universo en
Expansión**
(Geom: Plana,
Cerrada, Abierta)

Etapas Cómicas:

**Formación Galaxias, Formación de
Átomos, Formación de Núcleos
atómicos, Creación de todas las
partículas elementales**

Etapas Cósmicas: Formación Galaxias (500 Millones años)

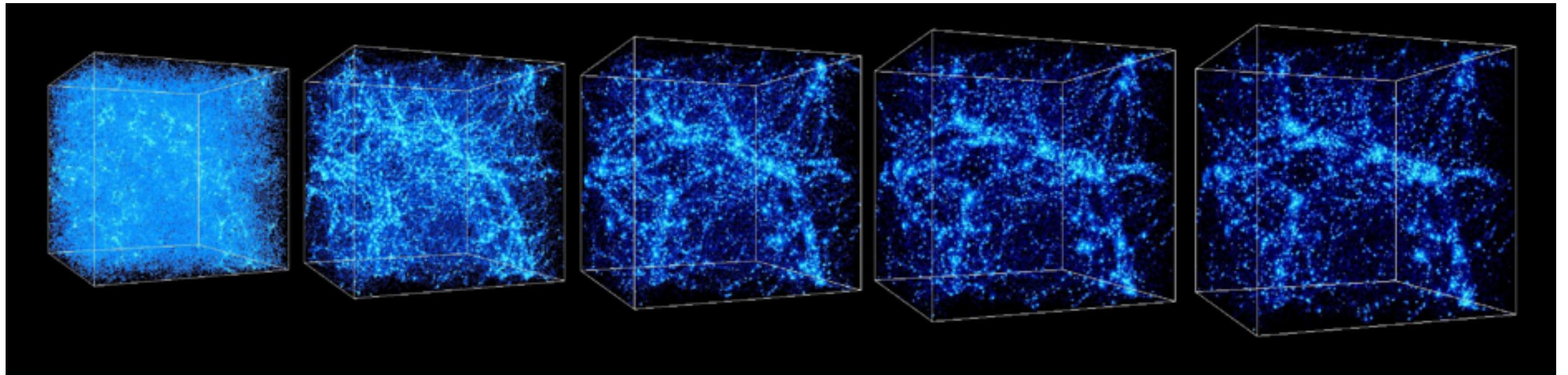


GAS DE PARTÍCULAS
(homogéneo & isótropo)

Atracción
→
Gravitatoria

'GRUMOS'

Etapas Cósmicas: Formación Galaxias (500 Millones años)



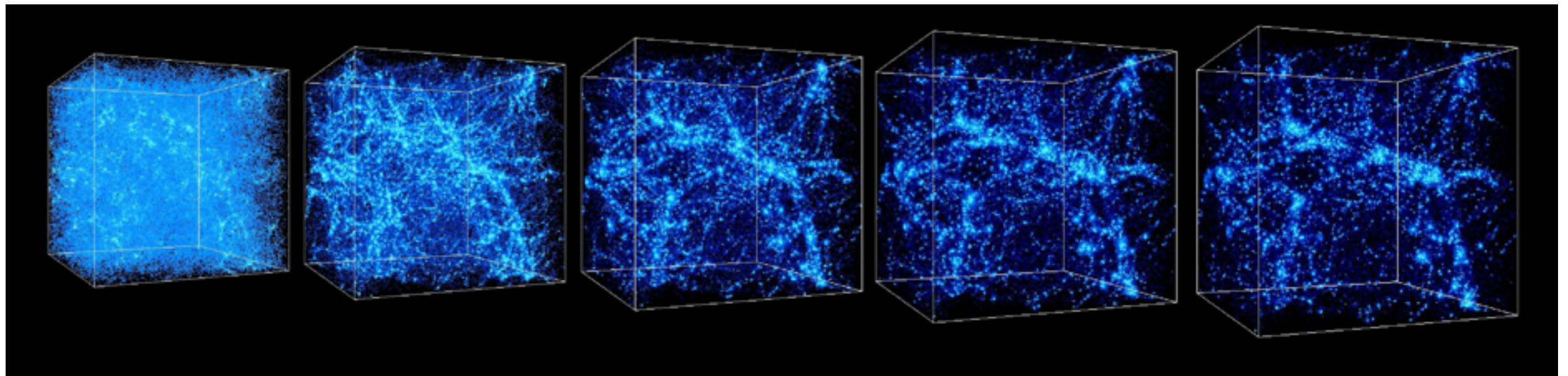
GAS DE PARTÍCULAS
(homogéneo & isótropo)



'GRUMOS'

GALAXIAS !!!

Etapas C3smicas: Formaci3n Galaxias (500 Millones a3os)



GAS DE PARTÍCULAS
(~~homogéneo & isotrópico~~)

[no completamente !!]

$$\rho = \bar{\rho}(1 \pm \delta\rho)$$

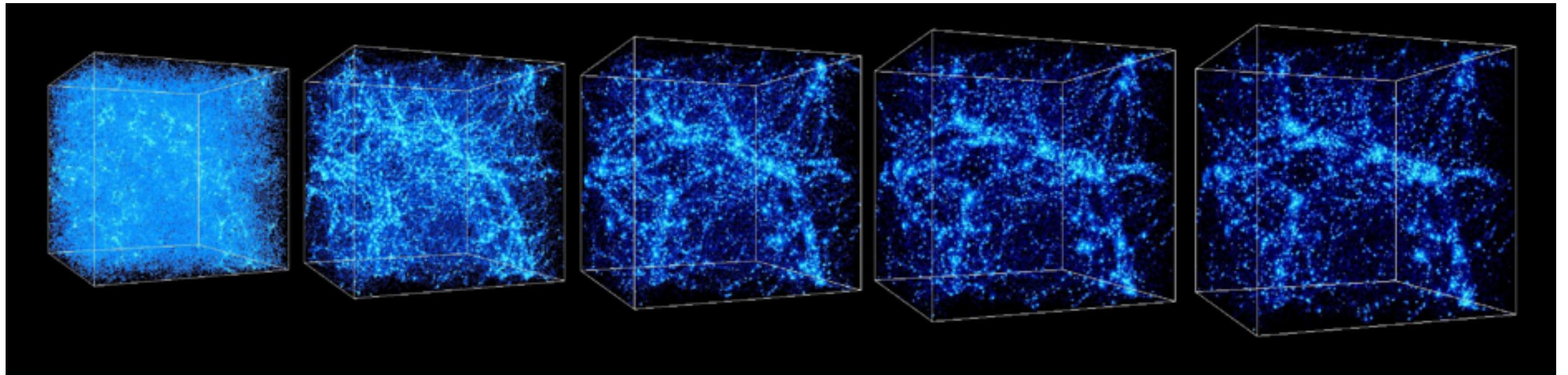
$$\delta\rho \sim \mathcal{O}(10^{-5})$$



'GRUMOS'

GALAXIAS !!!

Etapas C3smicas: Formaci3n Galaxias (500 Millones a3os)



GAS DE PARTÍCULAS
(~~homogéneo & isotrópico~~)

[no completamente !!]

$$\rho = \bar{\rho}(1 \pm \delta\rho)$$

$$\delta\rho \sim \mathcal{O}(10^{-5})$$



'GRUMOS'

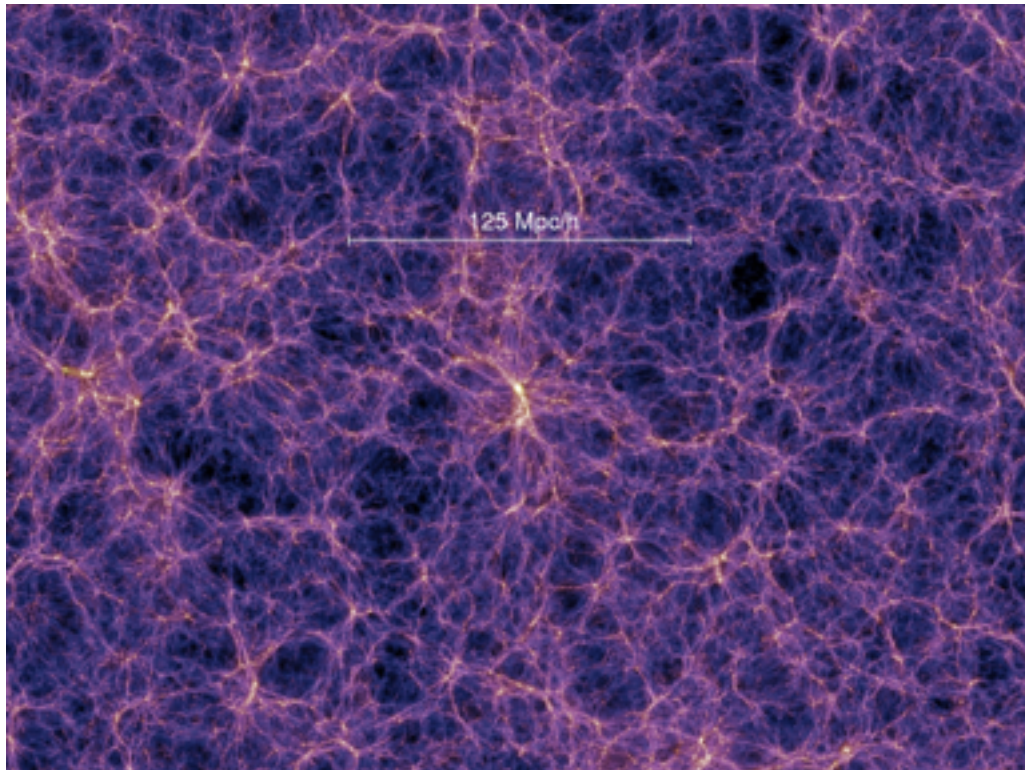
GALAXIAS !!!

$$(\delta\rho \gg 1)$$

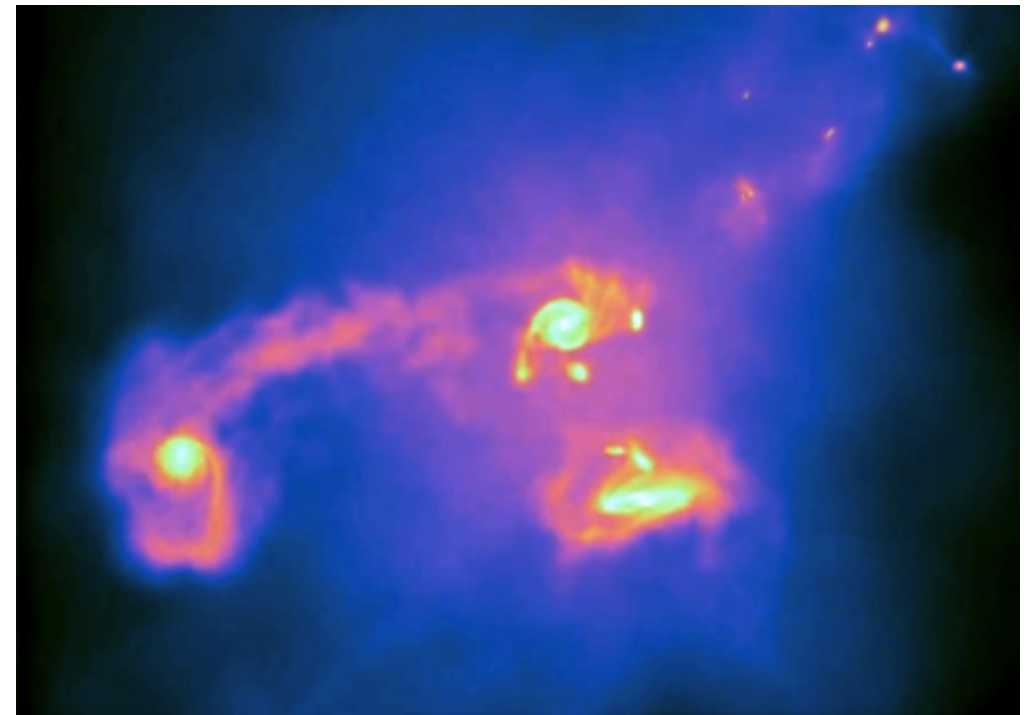
Atracción Gravitatoria

ESTRUCTURA a GRAN ESCALA del UNIVERSO (Videos)

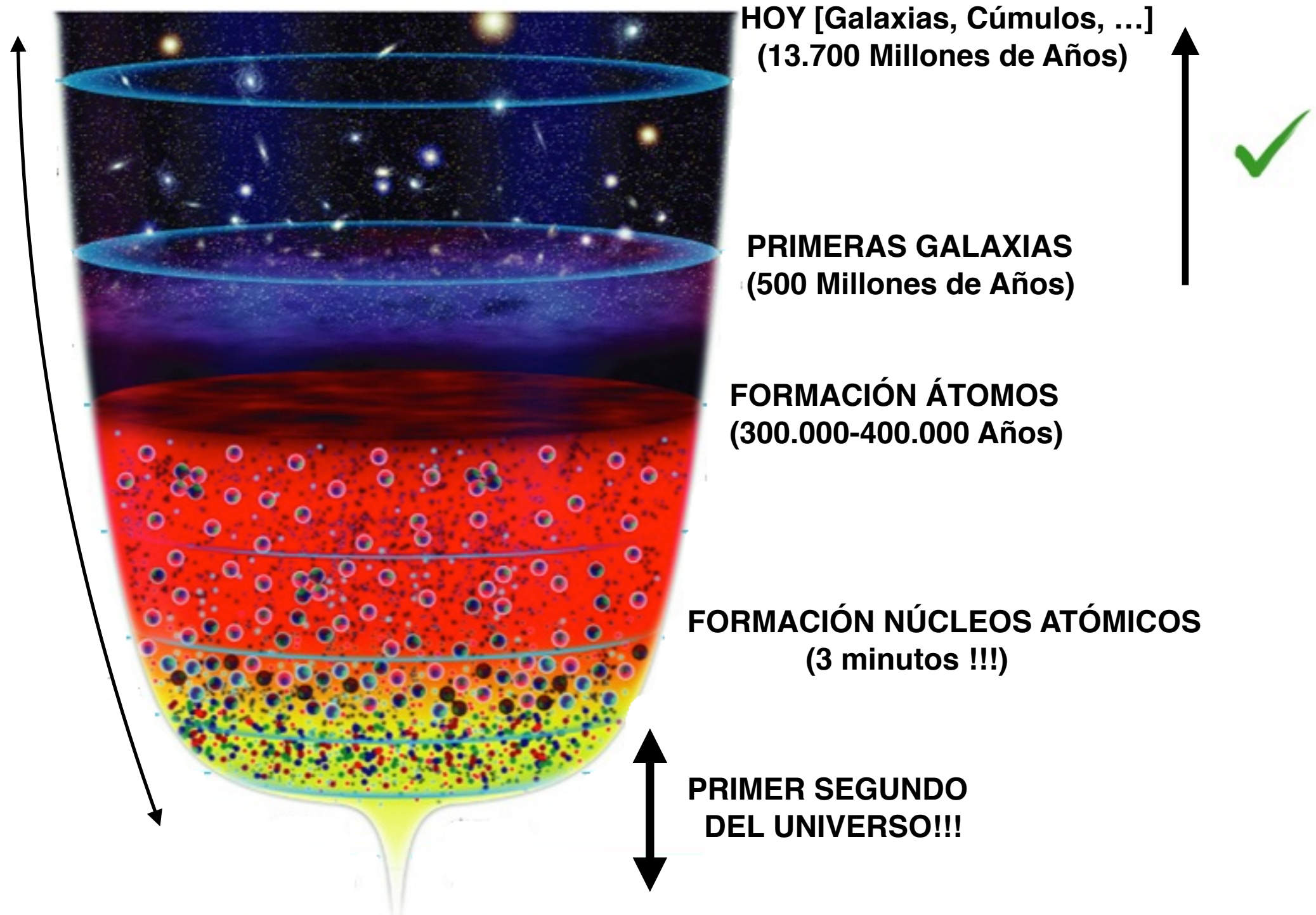
MILLENNIUM Simulations



AREPO Simulations

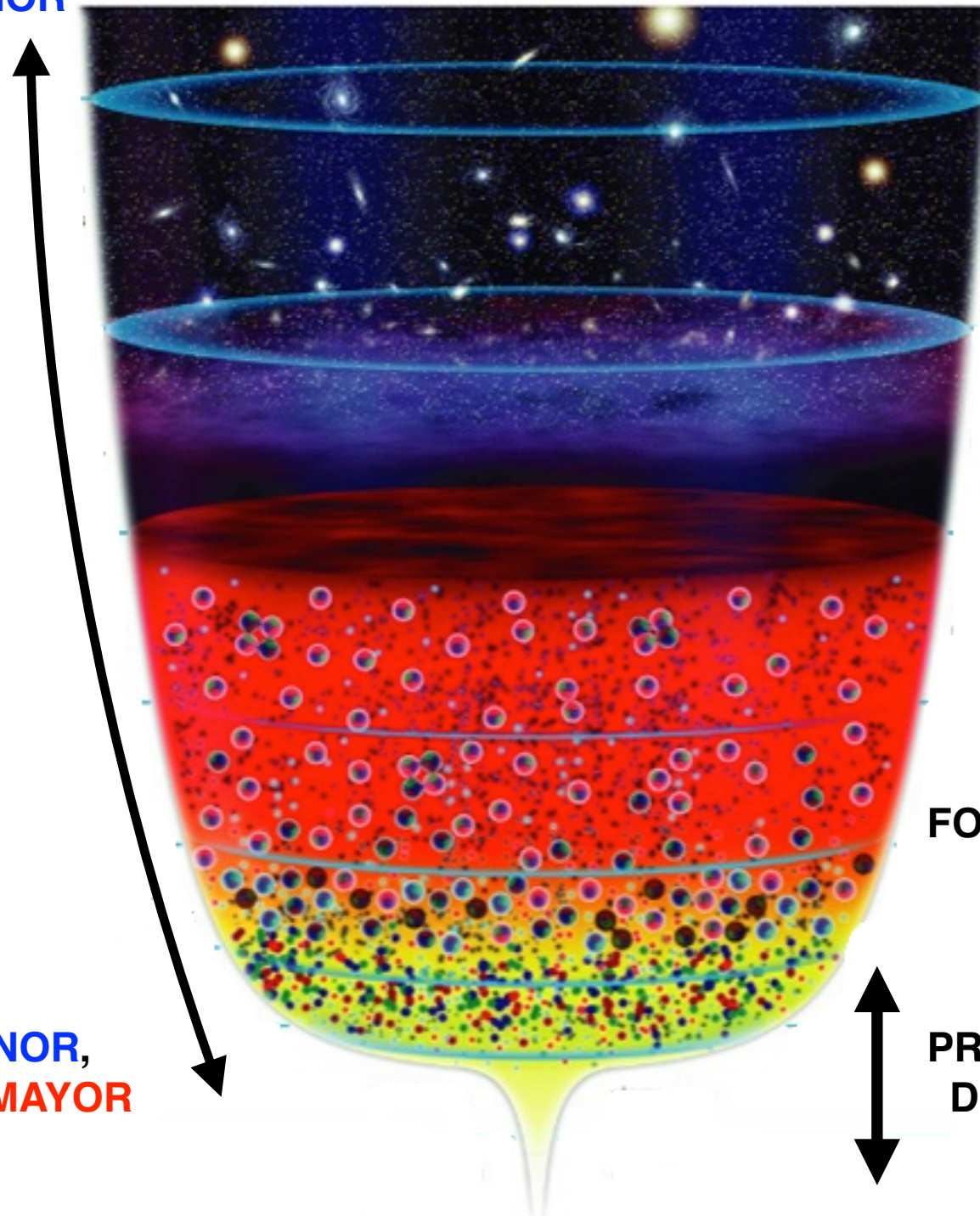


HISTORIA CÓSMICA DEL UNIVERSO



HISTORIA CÓSMICA DEL UNIVERSO

Tamaño **MAYOR**,
Temperatura **MENOR**



HOY [Galaxias, Cúmulos, ...]
(13.700 Millones de Años)

PRIMERAS GALAXIAS
(500 Millones de Años)

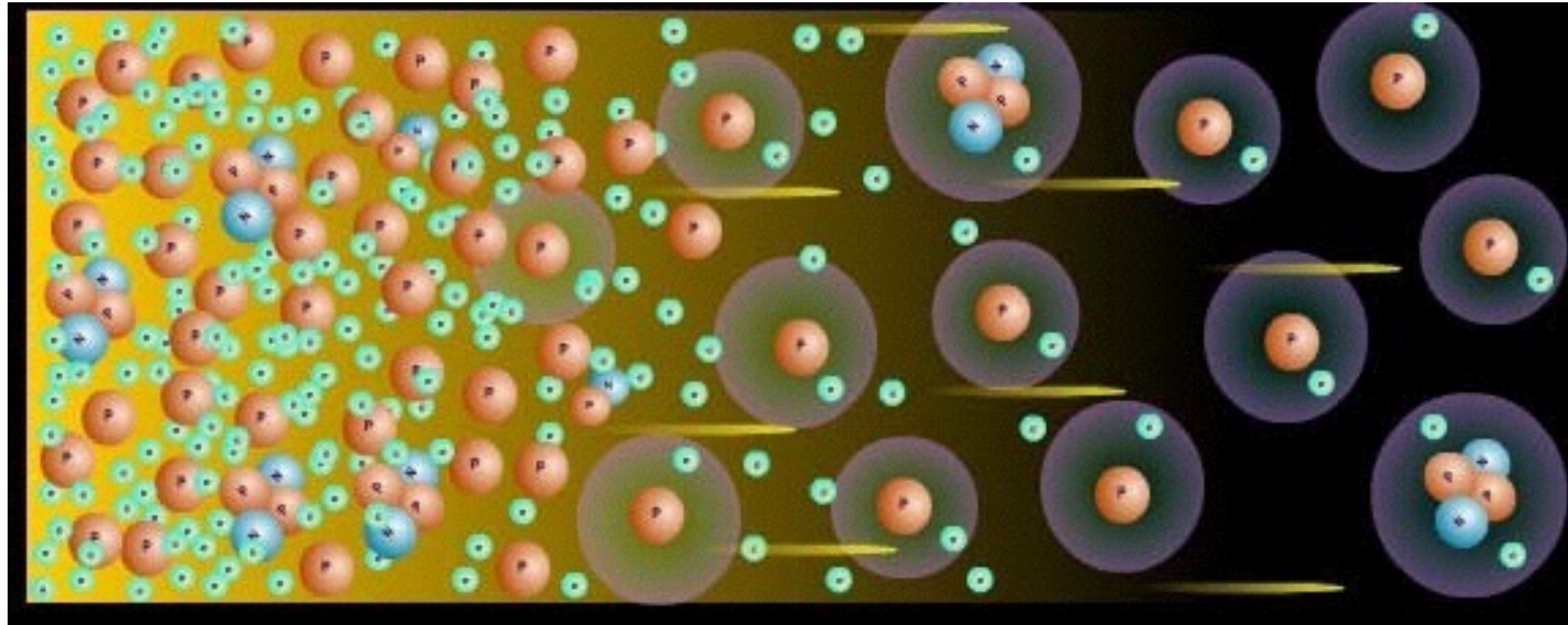
FORMACIÓN ÁTOMOS
(300.000-400.000 Años)

FORMACIÓN NÚCLEOS ATÓMICOS
(3 minutos !!!)

PRIMER SEGUNDO
DEL UNIVERSO!!!

Tamaño **MENOR**,
Temperatura **MAYOR**

Etapas Cósmicas: Formación átomos (300.000-400.000 años)



Pasado,
más caliente

Después,
más frío

**Protones,
Electrones,
Fotones**

**Interaccionan
electro-
magnéticamente**

El Universo se va enfriando...

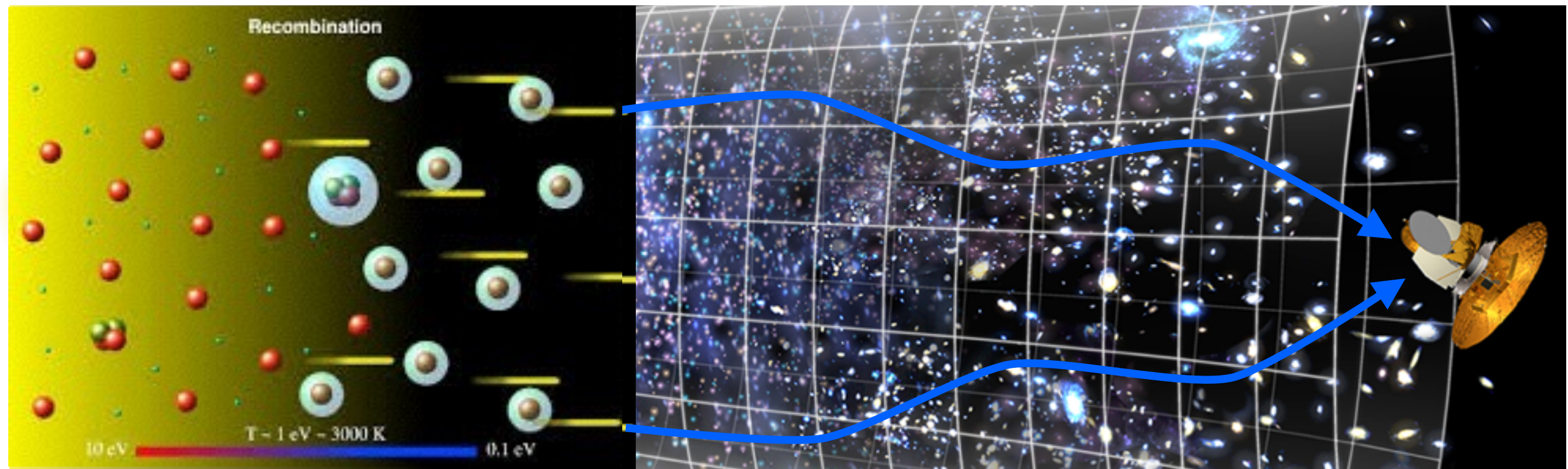
... Fotones **no tienen suficiente energía** para romper átomos,

Entonces **electrones se unen a núcleos** atómicos: Átomos!!!

**Átomos
creados !!!**

**Luz (radiación
electromagnética)
libre !!!**

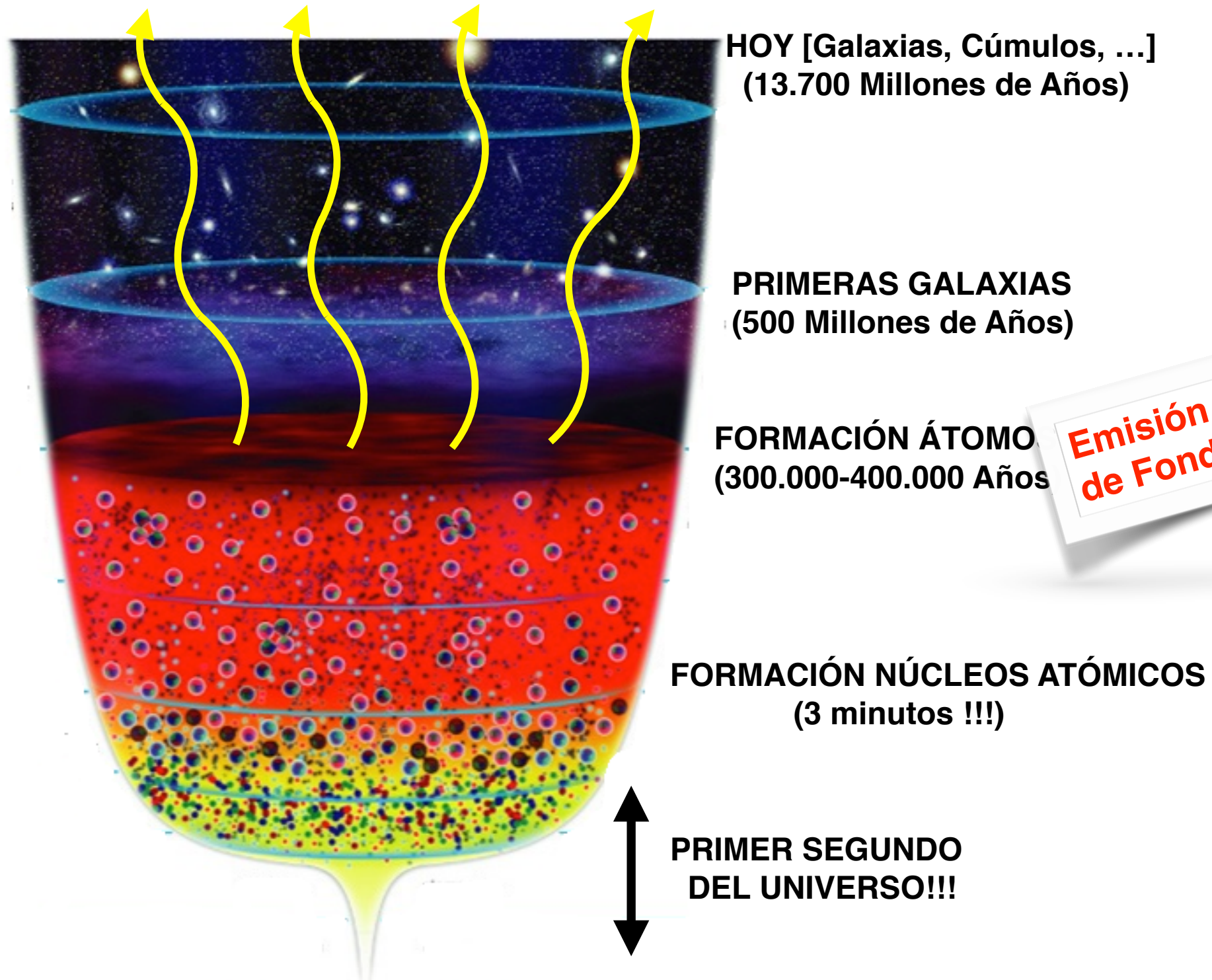
Etapas Cósmicas: Formación átomos (300.000-400.000 años)



Formación átomos: Propagación libre de la luz !!
(Recombinación)

Etapas Cósmicas: Formación átomos (300.000-400.000 años)

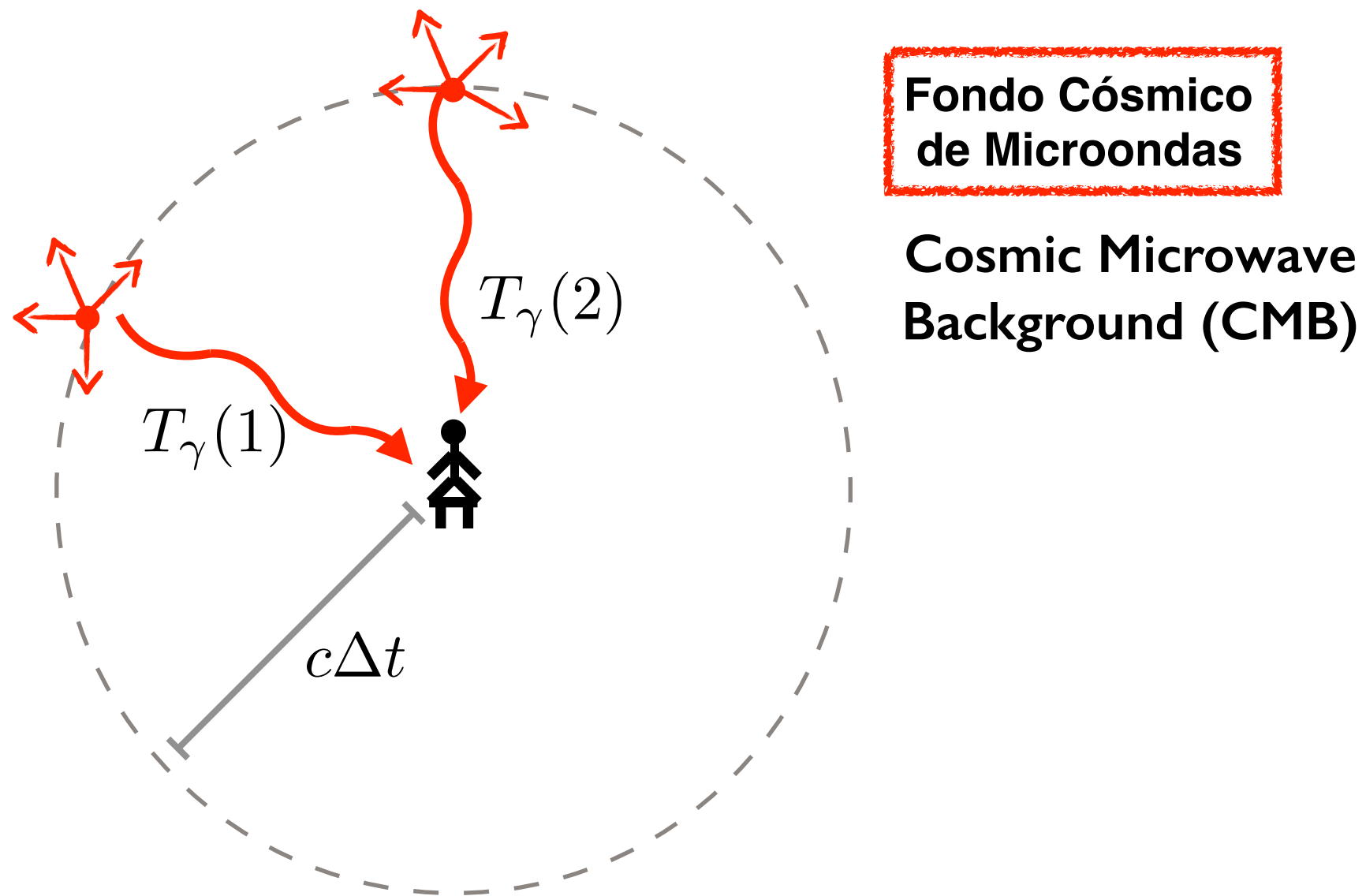
¿ Dónde está esa luz? **En Todas partes!**



**Emisión Radiación
de Fondo Cósmico !!**

Etapas Cósmicas: Formación átomos (300.000-400.000 años)

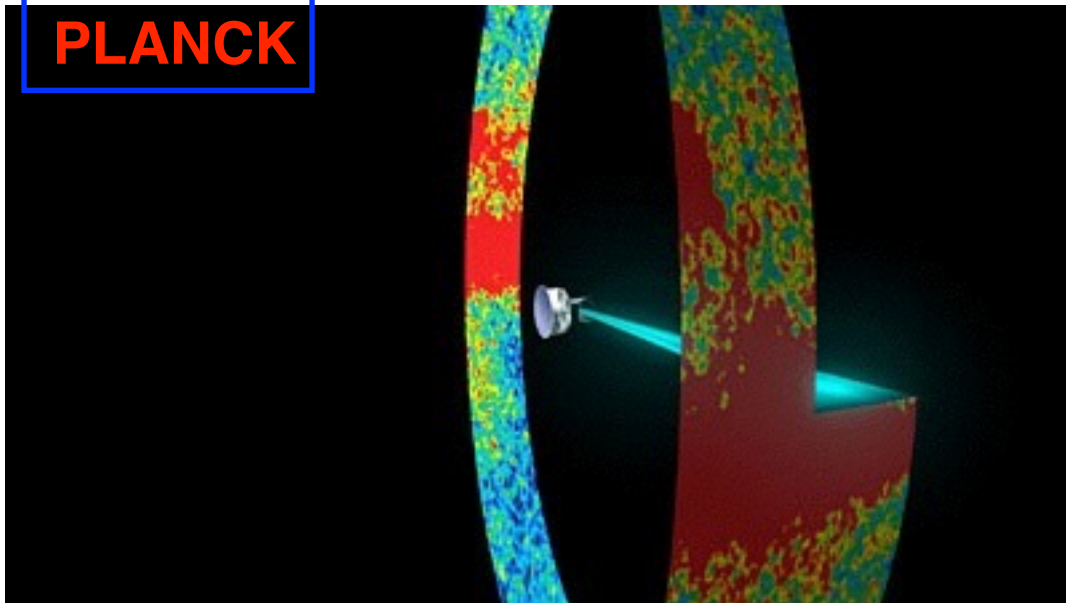
¿ Dónde está esa luz? En Todas partes!



Etapas Cósmicas: Formación átomos (300.000-400.000 años)

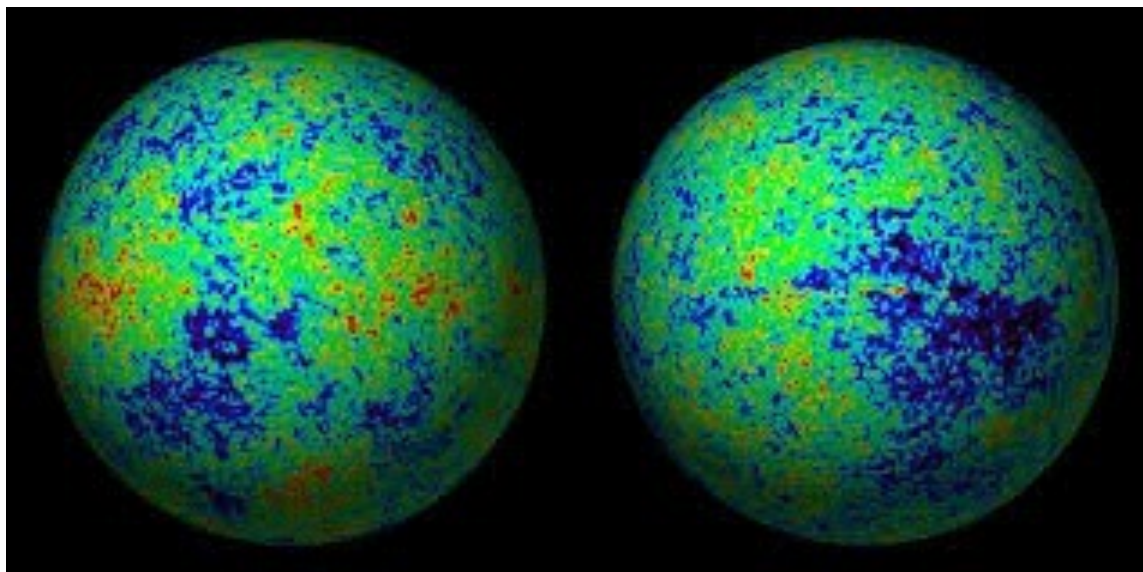
¿ Dónde está esa luz? **En Todas partes!**

Satélite
PLANCK



Fondo Cósmico
de Microondas

Prueba definitiva de
la teoría del Big Bang !



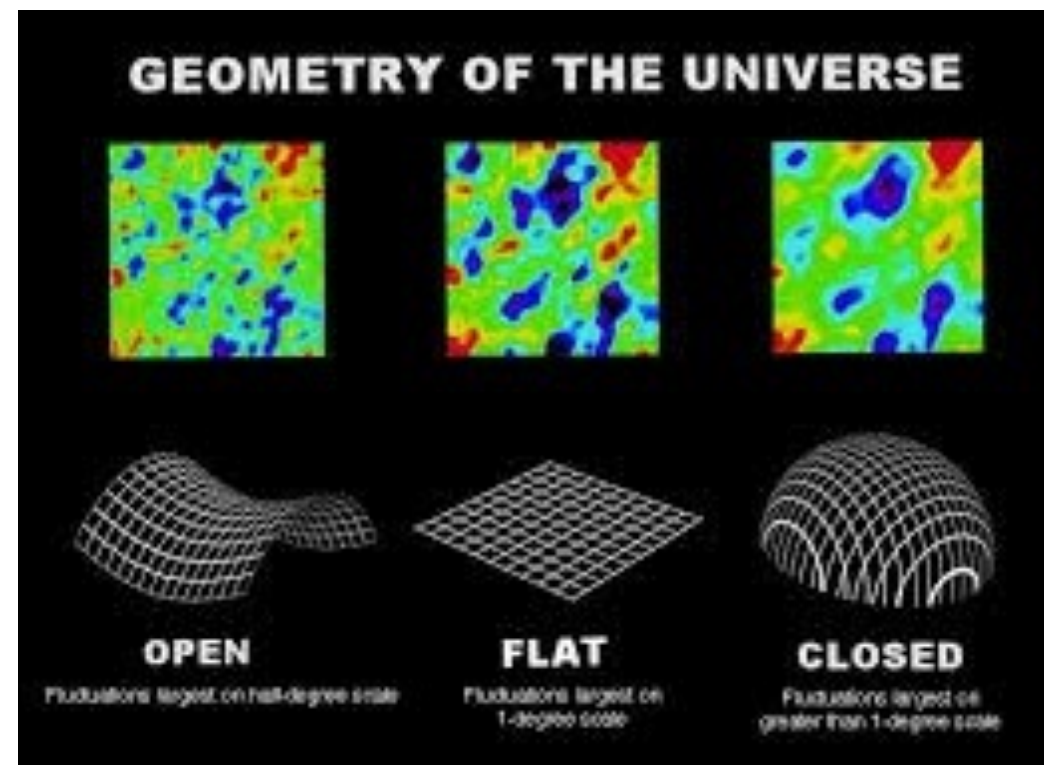
(casi-)ISÓTROPO

Pero

Hay Pequeñas '**Inhomogeneidades**' !!!
(variaciones de **1/100.000**)

Etapas Cósmicas: Formación átomos (300.000-400.000 años)

Propiedades del Fondo Cósmico de Microondas

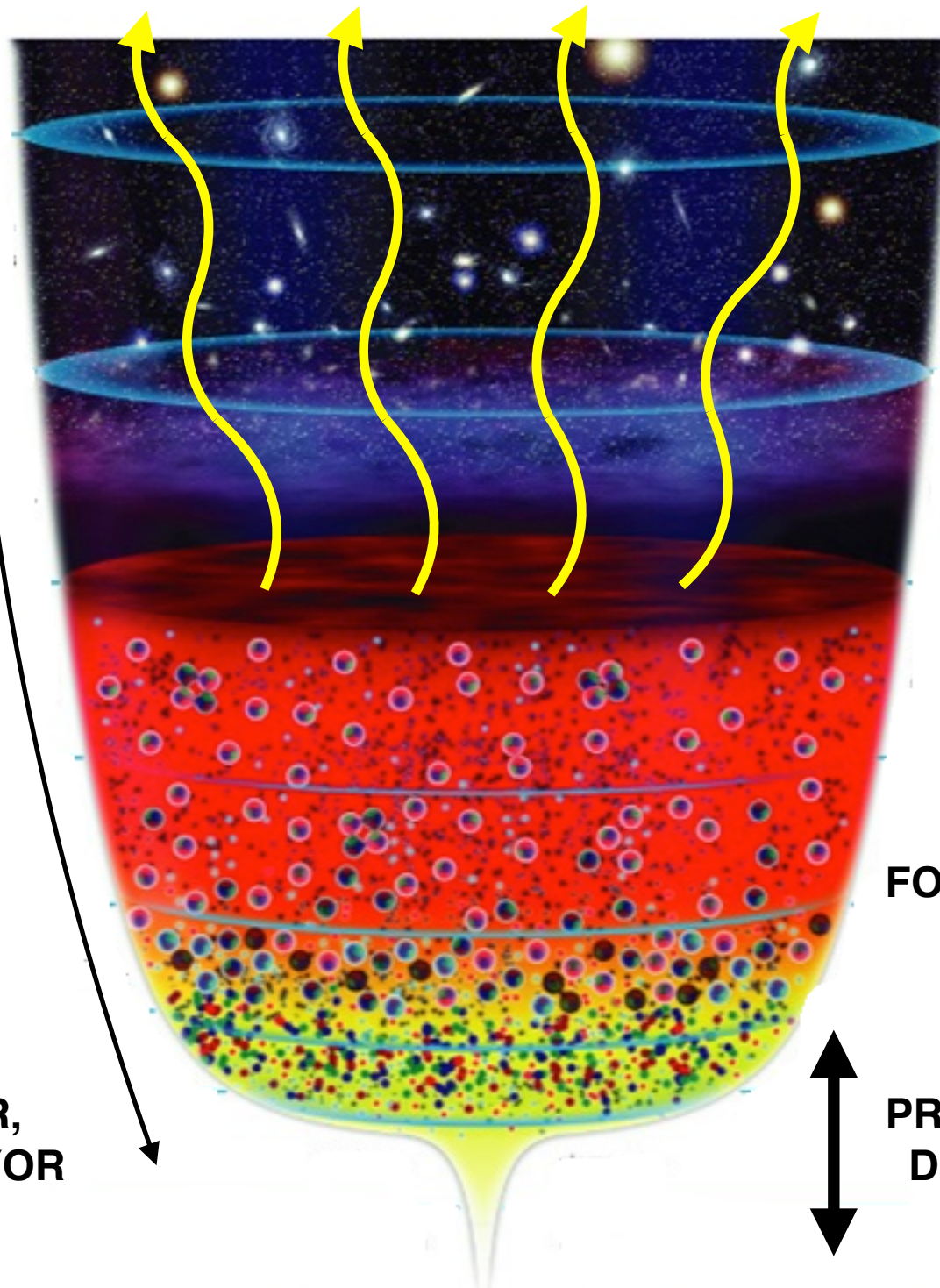


Propiedades de las Anisotropías entonces Geometría del Universo !!!

EI UNIVERSO TIENE GEOMETRÍA 'PLANA' !!!

HISTORIA CÓSMICA DEL UNIVERSO

Tamaño MAYOR,
Temperatura MENOR



HOY [Galaxias, Cúmulos, ...]
(13.700 Millones de Años)

PRIMERAS GALAXIAS
(500 Millones de Años)

FORMACIÓN ÁTOMOS
(300.000-400.000 Años)

(Y emisión del CMB !!!)

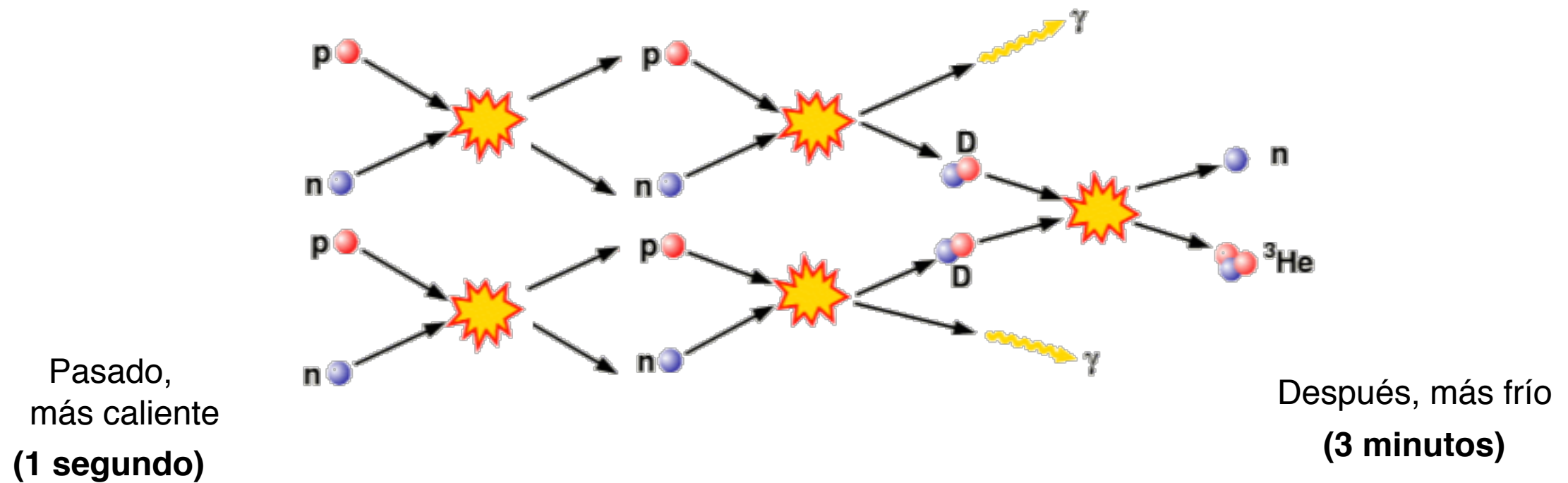
FORMACIÓN NÚCLEOS ATÓMICOS
(3 minutos !!!)

PRIMER SEGUNDO
DEL UNIVERSO!!!

Tamaño MENOR,
Temperatura MAYOR



Etapas Cósmicas: Formación núcleos atómicos (3 mins)



**Protones,
Neutrones**

**Interaccionan
fuertemente**

El Universo se va enfriando...

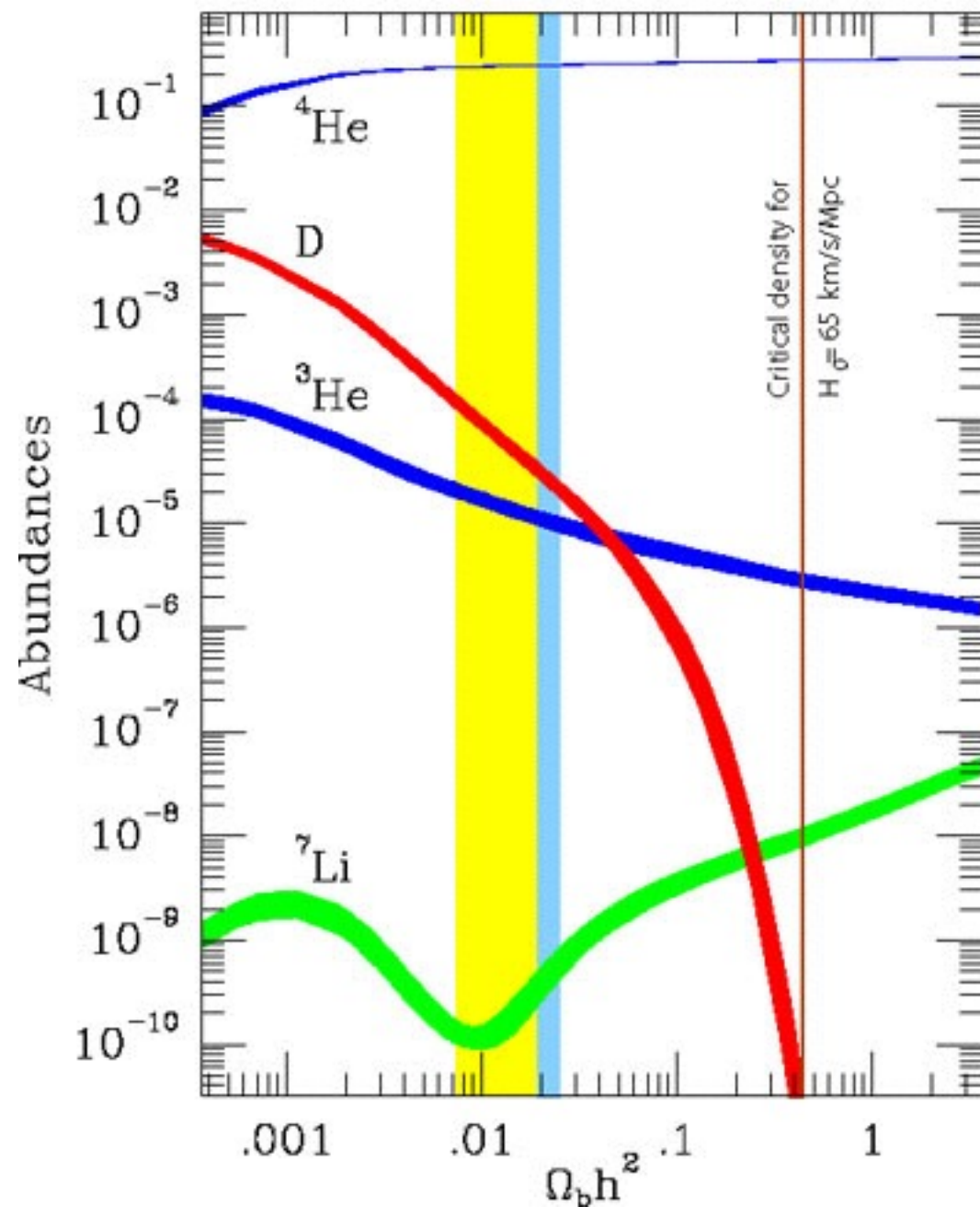
... protones y neutrones **no tienen suficiente energía**

Entonces **se unen formando nucleos atómicos**: Física Nuclear !

**Núcleos
Atómicos
creados !!!**

Etapas Cósmicas:

Formación núcleos atómicos (3 mins)



FÍSICA NUCLEAR
(medida en el laboratorio)

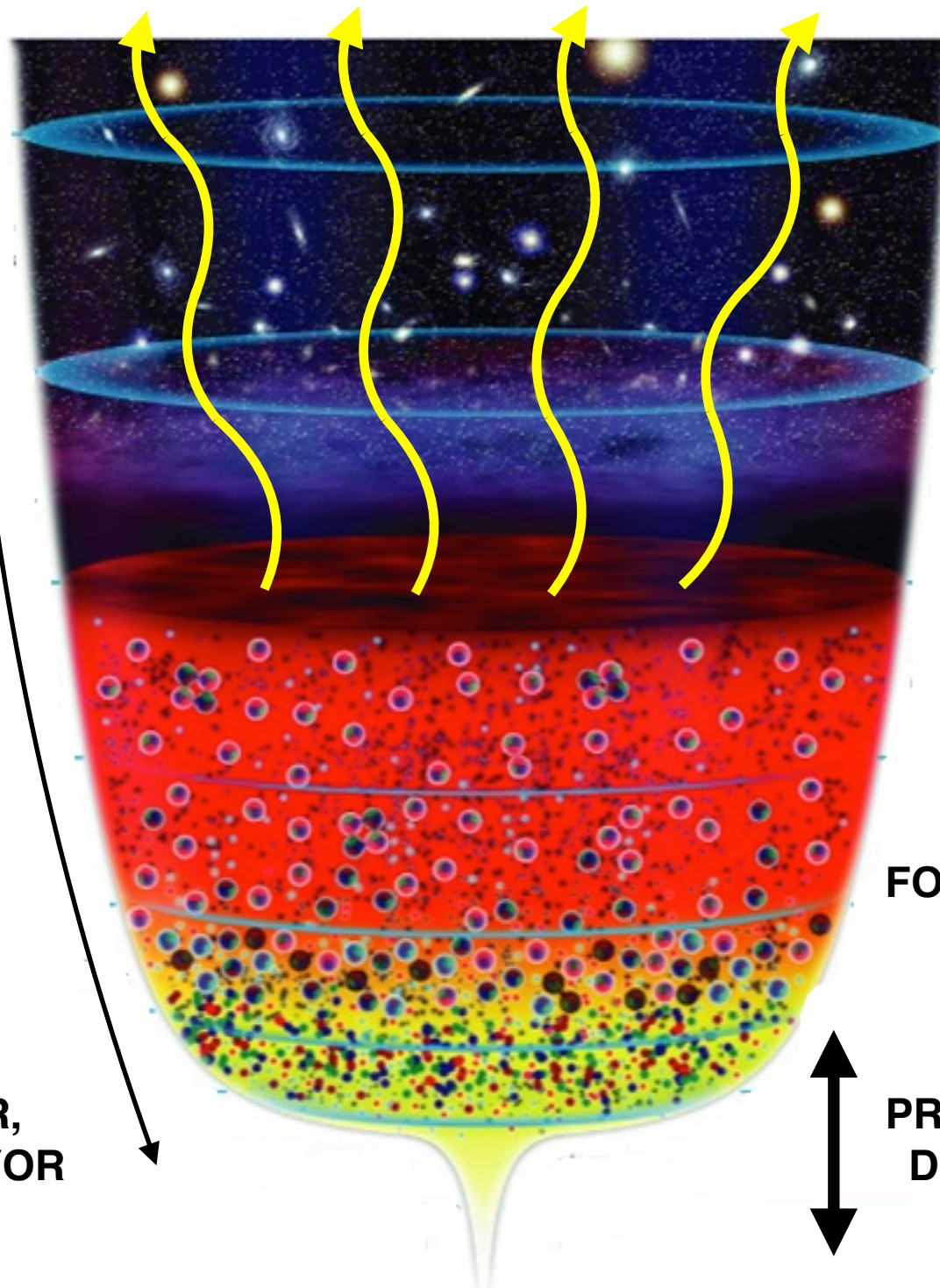
Permite predecir la cantidad de

$H, ^4\text{He}, D, ^3\text{He}, ^7\text{Li}, \dots$

Otra prueba definitiva
de la teoría del Big Bang !!

HISTORIA CÓSMICA DEL UNIVERSO

Tamaño MAYOR,
Temperatura MENOR



HOY [Galaxias, Cúmulos, ...]
(13.700 Millones de Años)

PRIMERAS GALAXIAS
(500 Millones de Años)

FORMACIÓN ÁTOMOS
(300.000-400.000 Años)

(Y emisión del CMB !!!)

FORMACIÓN NÚCLEOS ATÓMICOS
(3 minutos !!!)

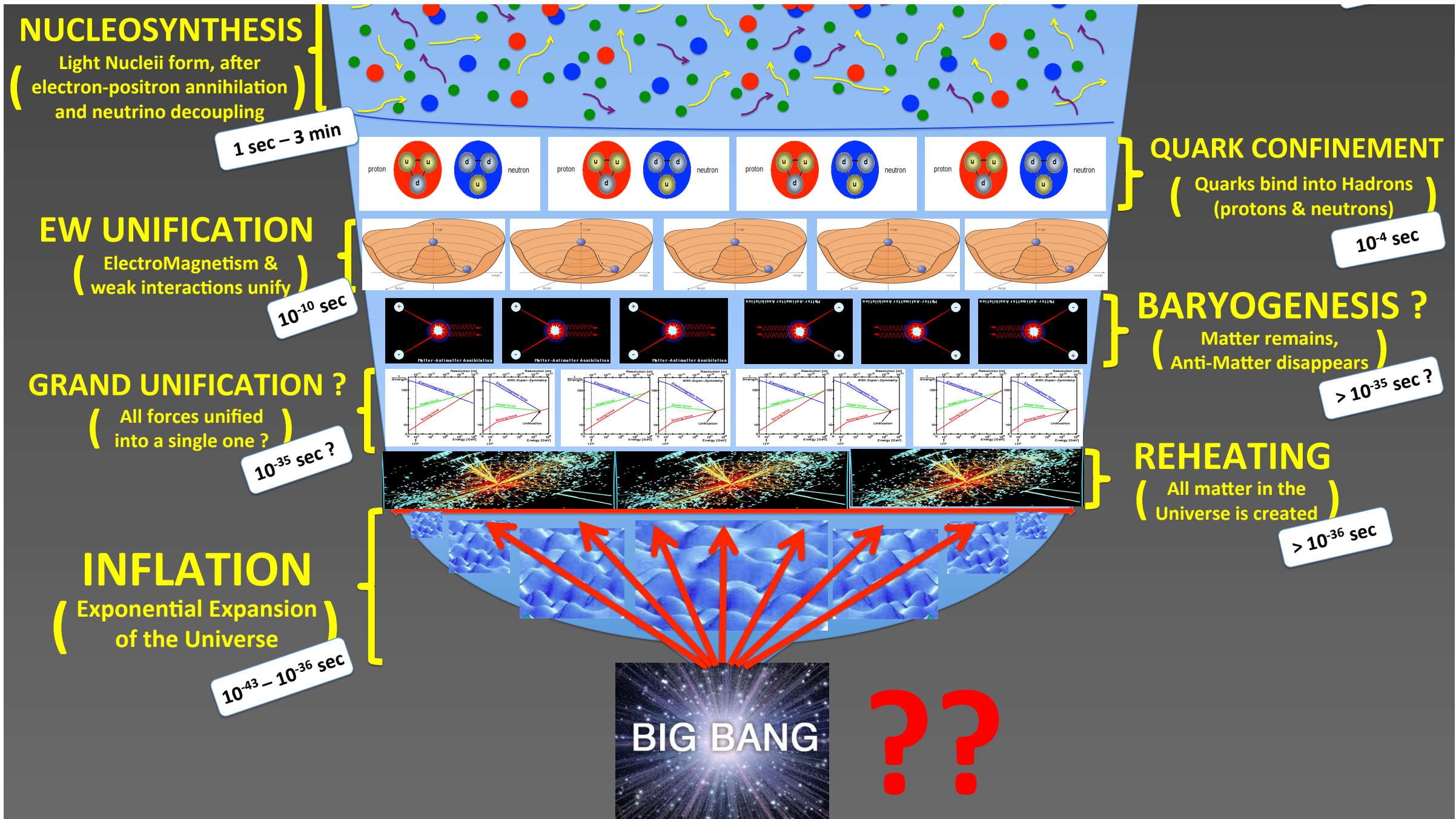
PRIMER SEGUNDO
DEL UNIVERSO!!!

Tamaño MENOR,
Temperatura MAYOR

Etapas Cósmicas:

El Primer Segundo del Universo !!!

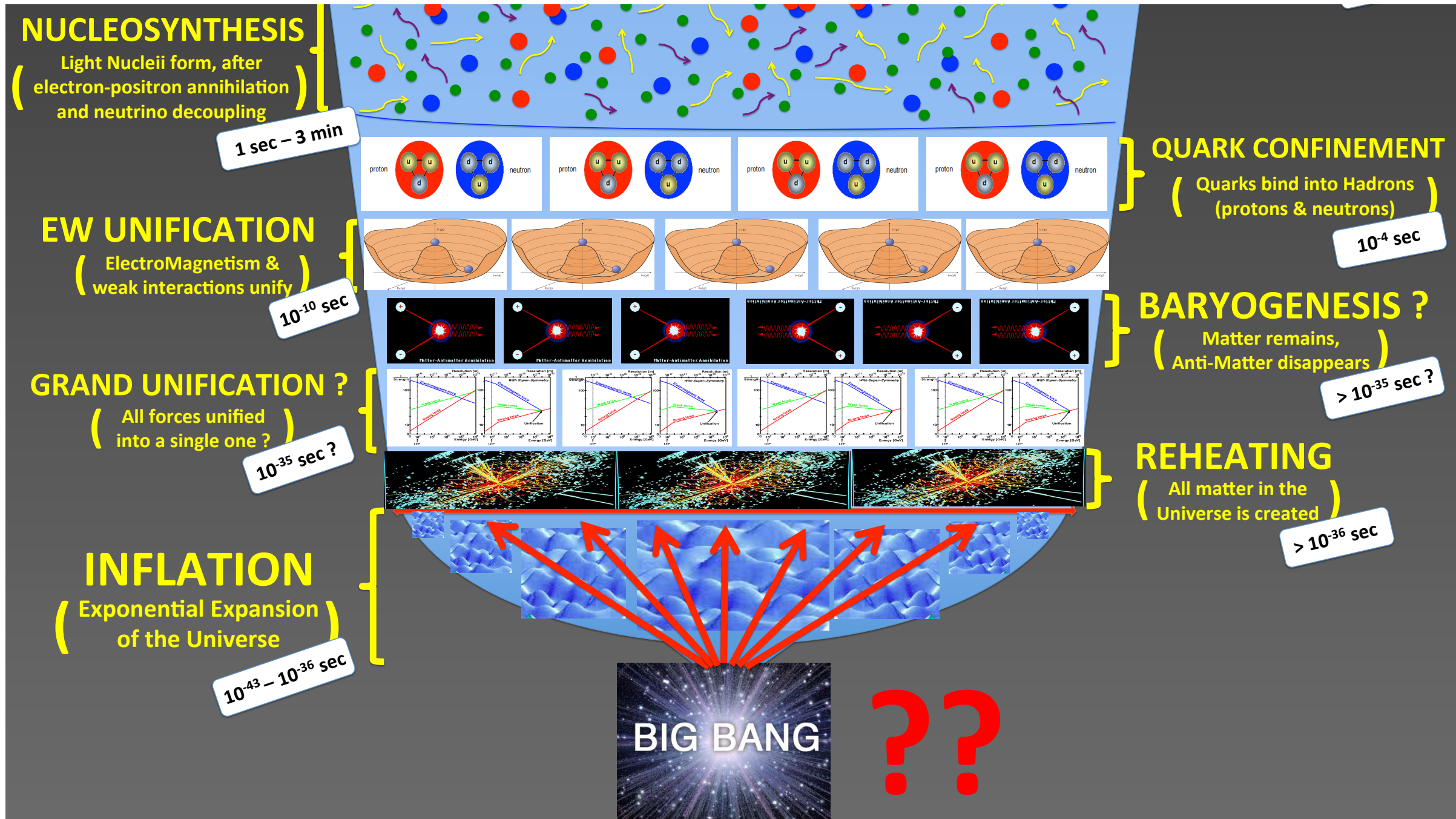
Notación : 10^{-n} seg = 0.00....001 seg



Etapas Cósmicas:

El Primer Segundo del Universo !!!

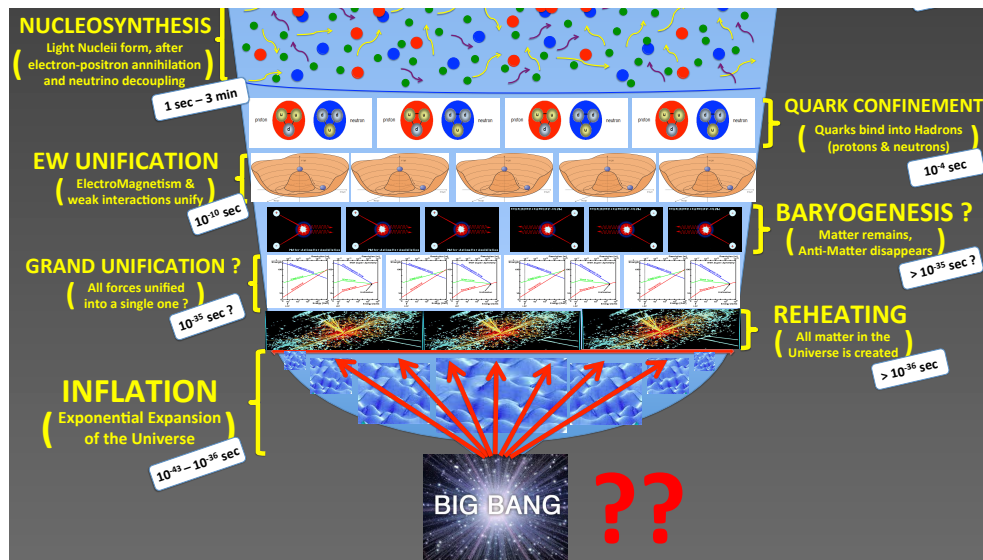
Aceleradores de Partículas (LHC): Llegan hasta 10^{-10} seg



Etapas Cósmicas:

El Primer Segundo del Universo !!!

Aceleradores de Partículas (LHC @ CERN): Llegan hasta 10^{-10} s



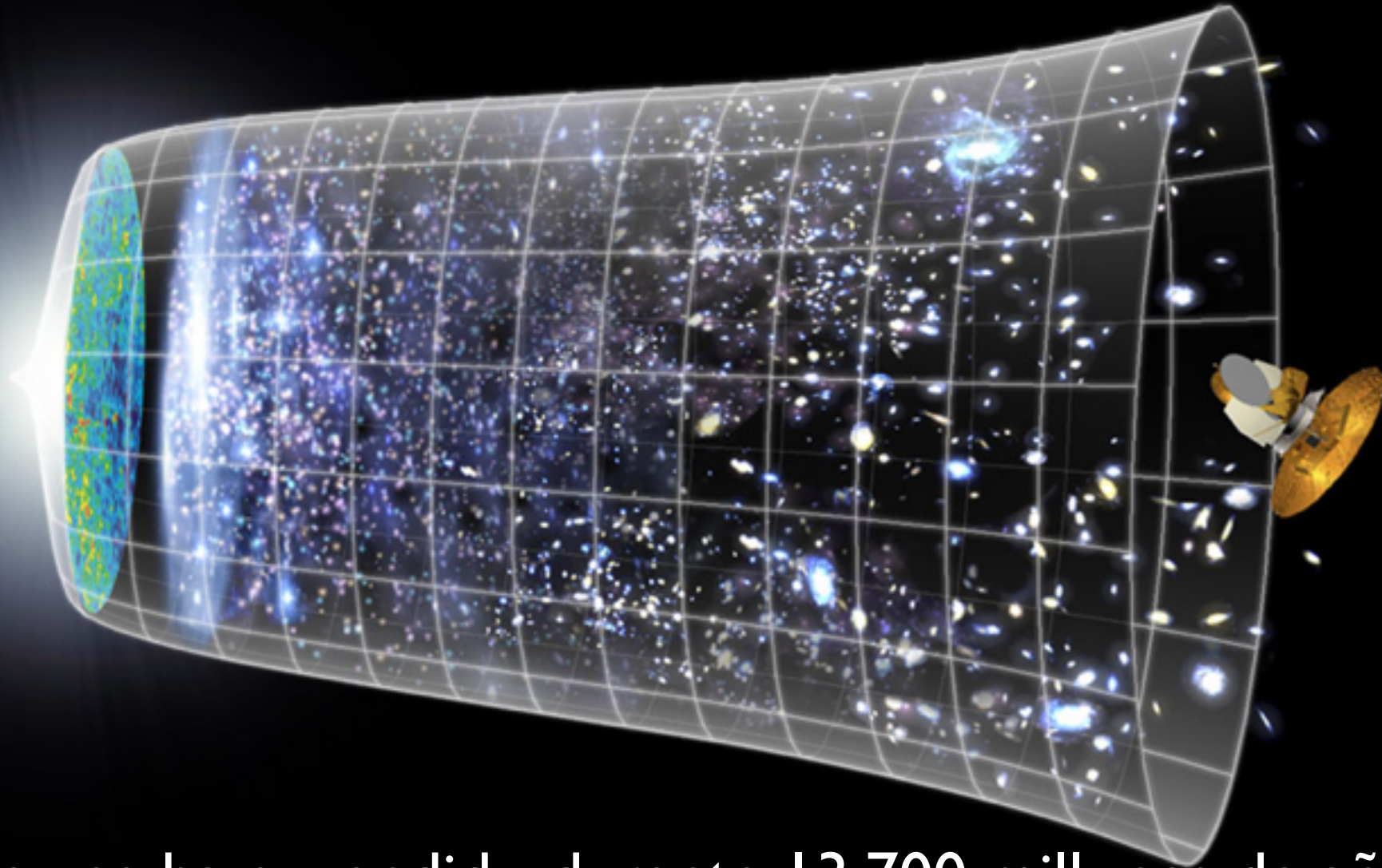
* Física de Partículas (Laboratorio):
Extrapolamos al Universo Primitivo

* Al principio del Universo hubo (posiblemente) un período de **INFLACIÓN: EXPANSIÓN ACELERADA** [después se creó toda la materia!!!]

* ¿ Pueden pensar en otra radiación emitida en el primer segundo ?
ONDAS GRAVITACIONALES (luz gravitatoria)

* **El Primer segundo** del Universo determina su evolución posterior!

RESUMEN



- ✓ El Universo se ha expandido durante 13.700 millones de años !
(Sabemos eso porque hemos "medido" la materia del Universo)
- ✓ Varias Etapas han sido cruciales en la evolución del Universo
- ✓ El primer segundo es crucial para entender la posterior evolución



Pero todavía NO ENTENDEMOS ese Primer Segundo !!

¿ QUÉ NO HE CONTADO ?

MUCHAS COSAS !!!

¿ QUÉ NO HE CONTADO ?

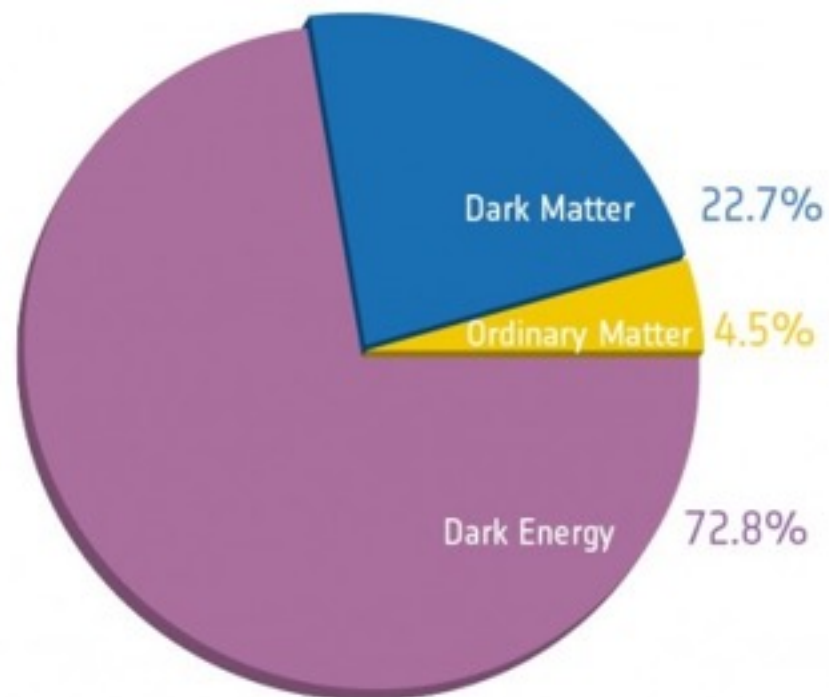


ENERGÍA OSCURA !
(Expansión Acelerada)

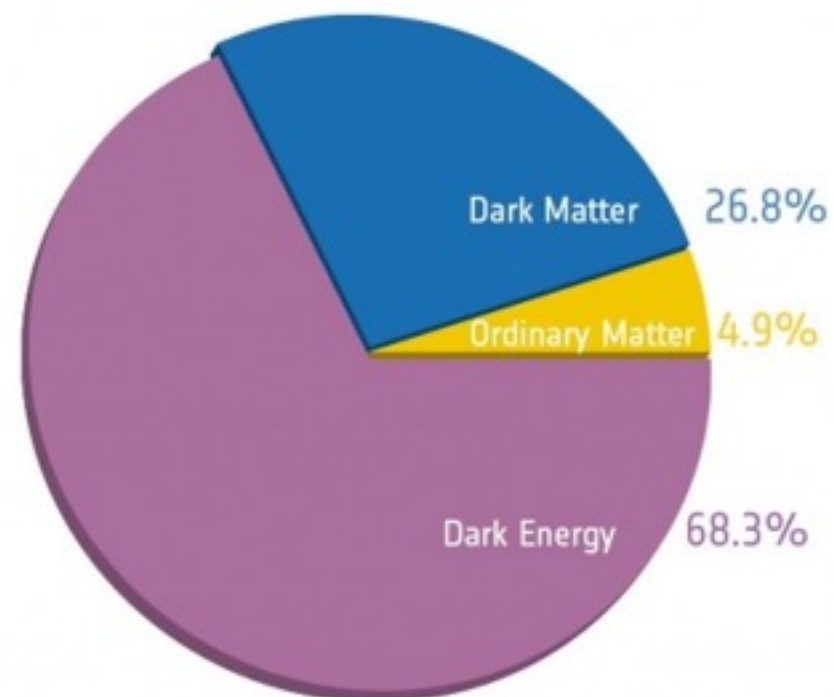
MATERIA OSCURA !

¿ QUÉ NO HE CONTADO ?

Proporción de componentes en el Universo



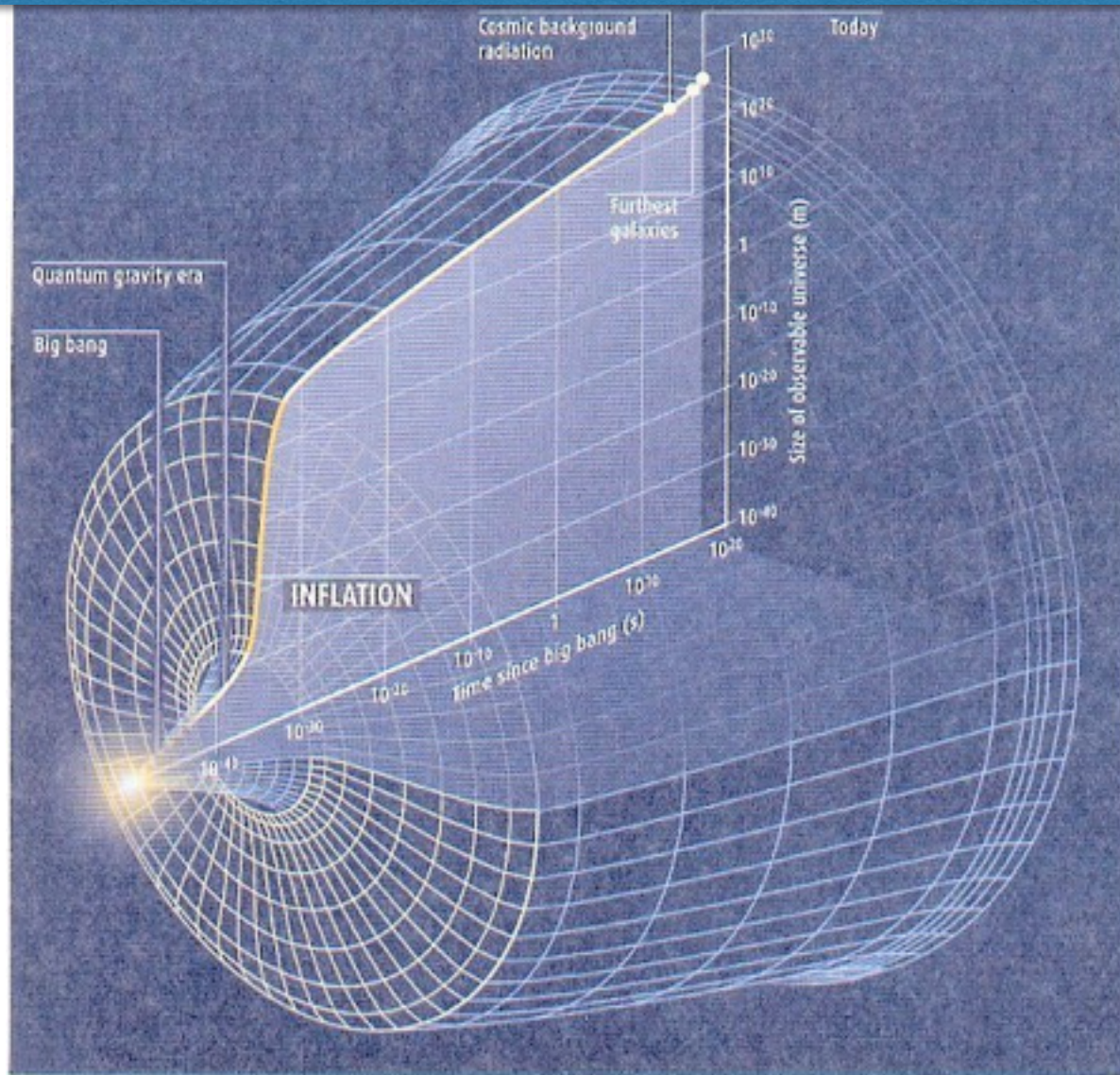
Before Planck



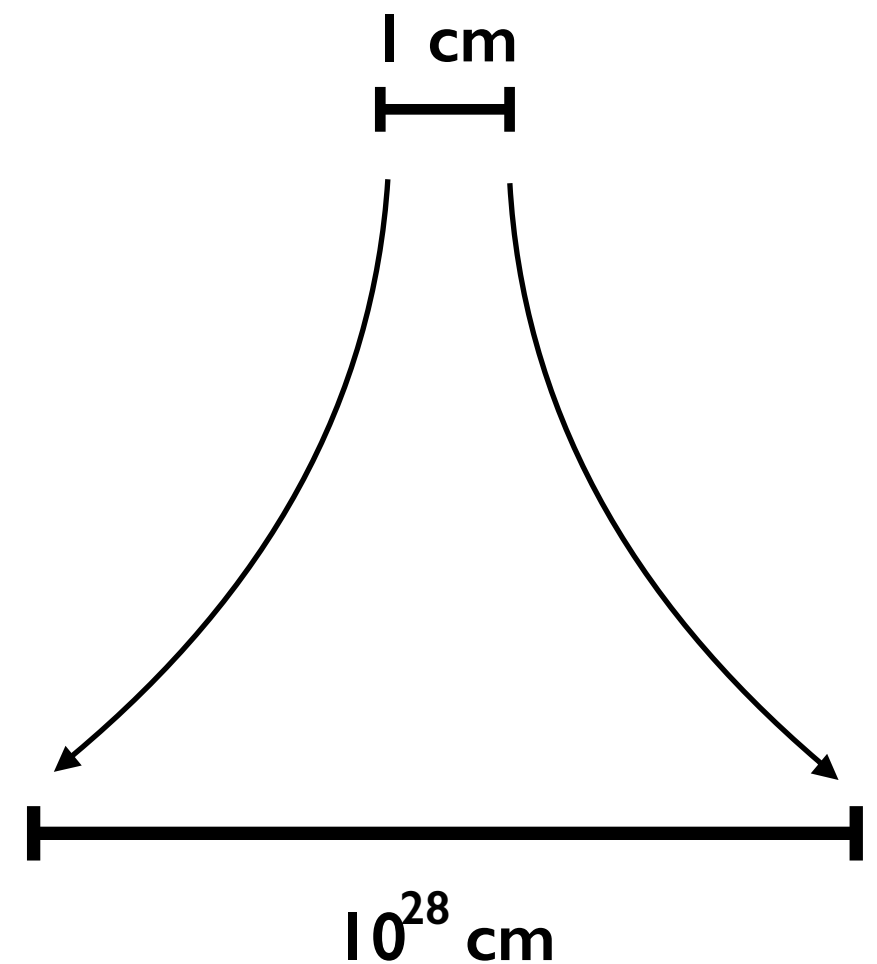
After Planck

¿ QUÉ NO HE CONTADO ?

INFLACIÓN CÓSMICA !!!



Necesaria para la **Consistencia** de la **teoría del Big Bang !!!**



Misterios por resolver

¿Qué compone la materia oscura?

¿Qué es la energía oscura?

¿Tiene sentido hablar del 'antes' del Big Bang?

¿Es infinito el Universo?

¿Cómo desapareció la anti-materia?

¿Cómo nació el Universo?

¿Ocurrió realmente la Inflación?

...

Para saber más (libros)

- Los tres primeros minutos (S. Weinberg) **Teoría del Big Bang**
- Agujeros negros y tiempo curvo (K. Thorne) **Gravedad**
- El encanto de la Física (S. L. Glashow) **Física de Partículas**
- El Universo Elegante (B. Green) **Teoría de Cuerdas**
- El Universo Inflacionario (A. Guth) **Paradigma Inflacionario**

daniel.figueroa@cern.ch

¿ Qué NO es la Cosmología?

Astrología o Religión:

No son ciencias. Se basan en premisas no verificables, e incluso falsas.

Psicología, Biología, Química, Astrofísica...:

Son ciencias. Sin embargo su **objetivo** es otro:

El ser humano

Propiedades de la materia

Sistemas vivos

Astros individuales



La ciencia se organiza en ramas.
La **cosmología** es un tronco central.