

# **Problemas críticos en Astrofísica: el más estudiado - la materia oscura**

**Hernán Quintana,**  
Instituto de Astrofísica,  
PUC

2023: 10/Oct/2023

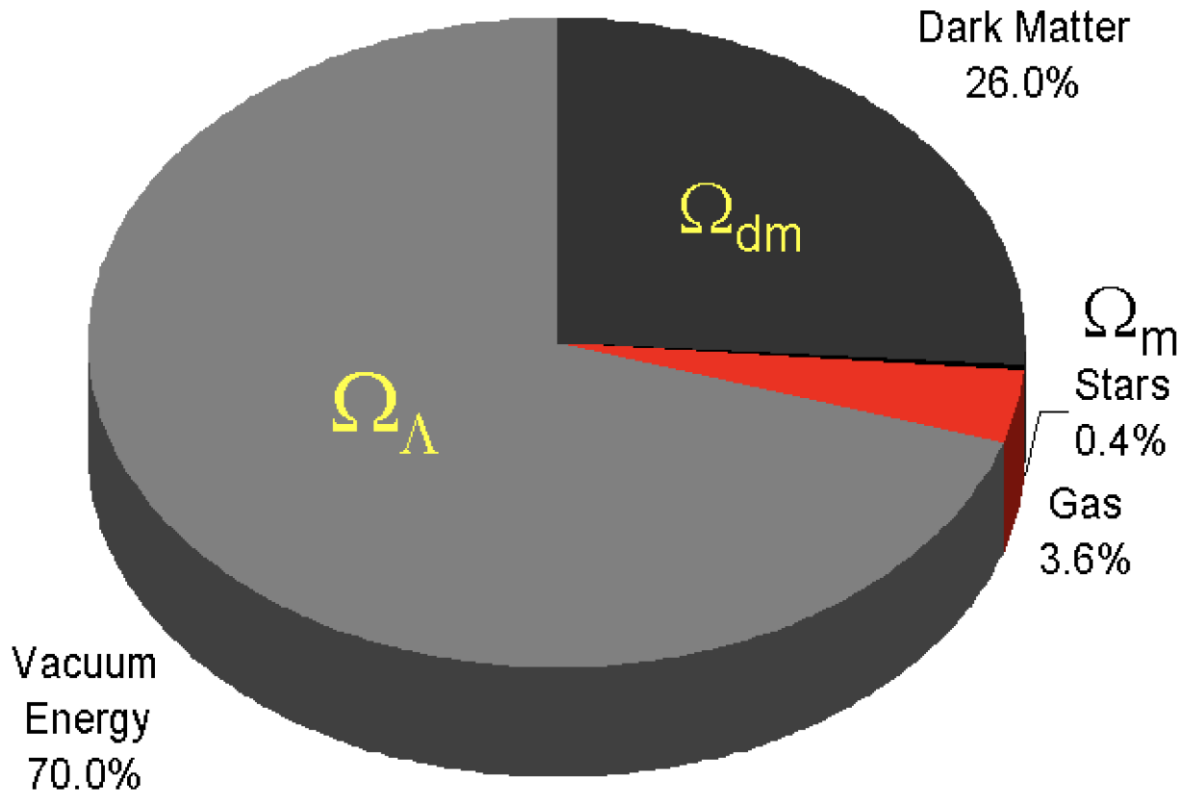
# En orden temporal de aparición en escena



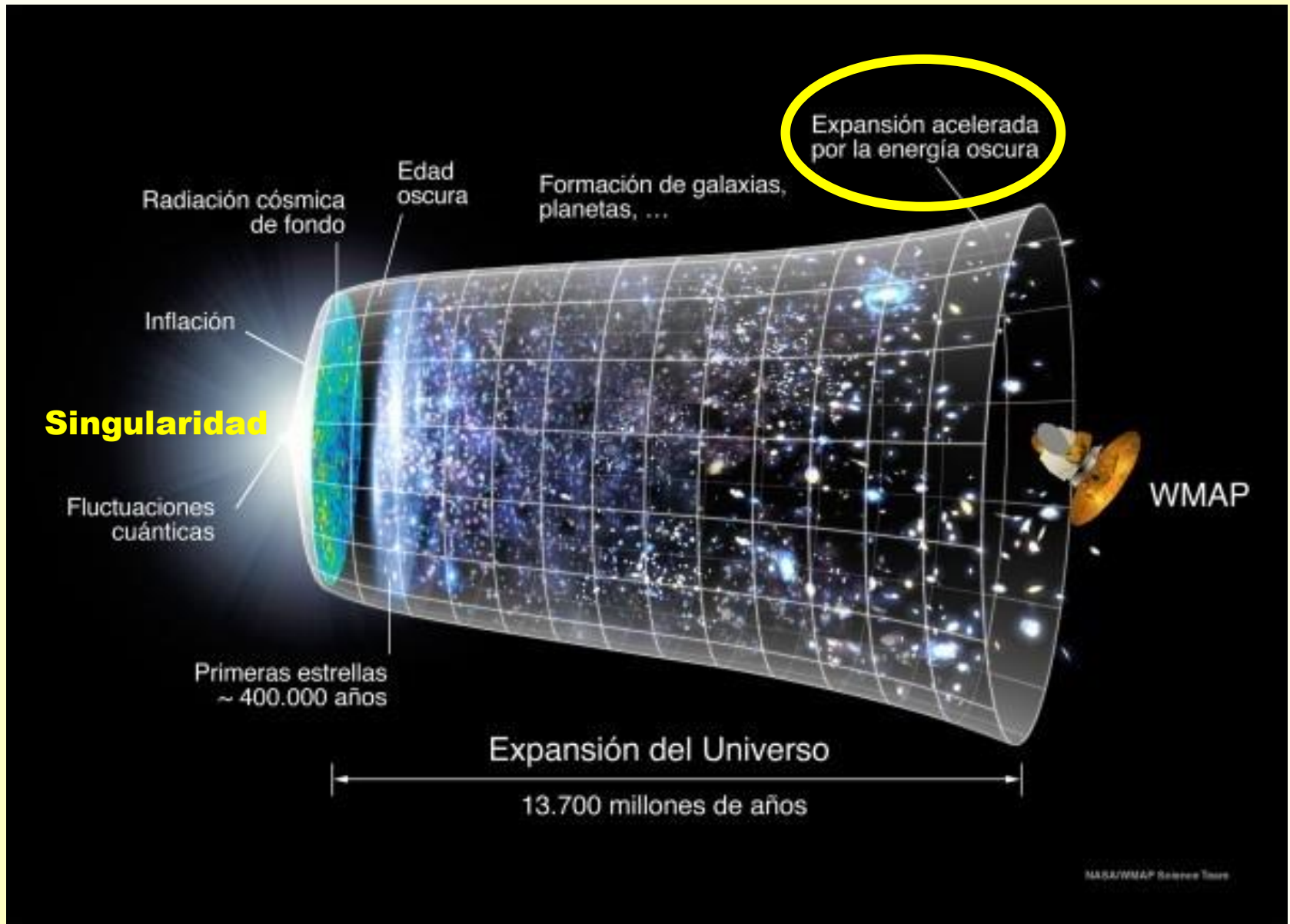
- **La materia oscura (1933): 80% del contenido material del Universo.**
- El inicio o la singularidad (aprox 1965).
- La energía oscura o del vacío (1998): la expansión acelerada del Universo.

# Energía y Materia en el Universo (visión reciente)

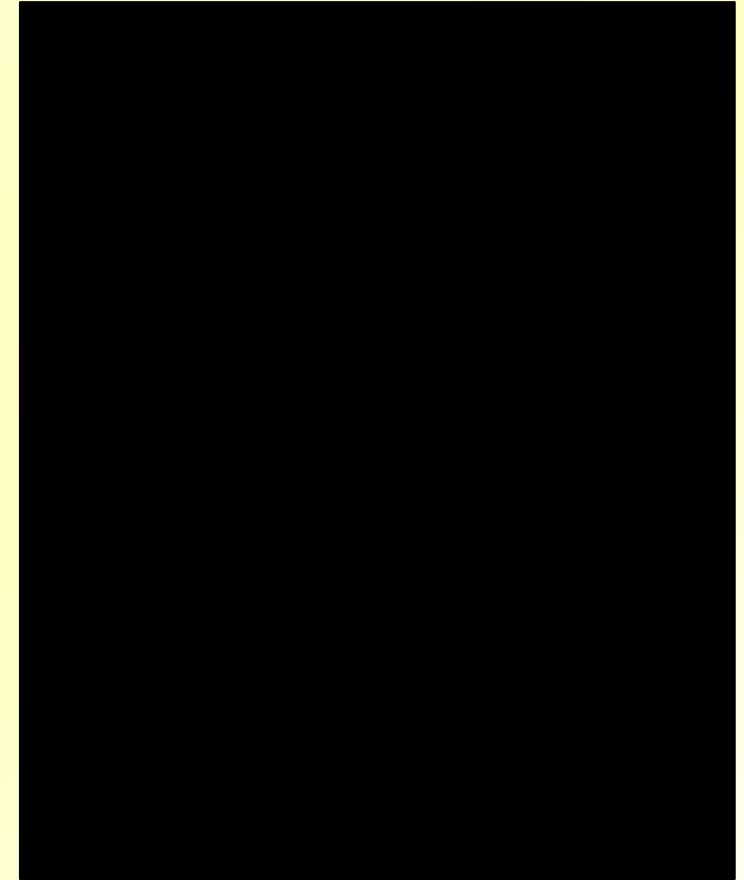
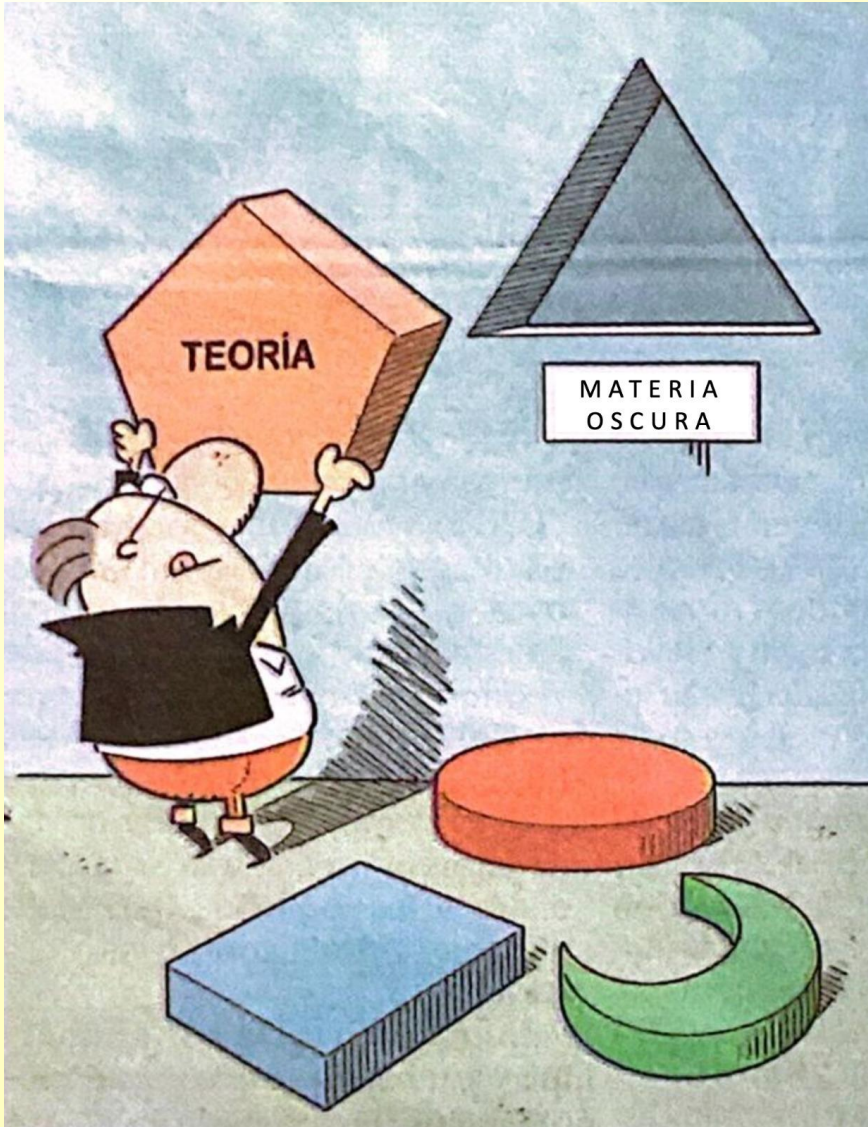
Matter & Energy Content of the Universe



# Universo e inflación: ¿singularidad?



# Situación actual del problema de la materia oscura (tema por años): DM



**Y quizás algo peor es la situación de la energía oscura**

# Tema : Materia Oscura (DM)

**Es materia que no irradia ondas electromagnéticas. No tiene interacciones nucleares fuertes, ni electromagnéticas. Sólo gravedad (masa) y débiles.**

- Evidencias observacionales:  
Cúmulos y Galaxias (rotación y dispersión)  
Búsqueda fallida (de cuerpos bariónicos)
- Imposibilidad de ser bariónica: Big-Bang nucleosíntesis (nuestra materia).
- Posibilidades de otro tipo de partículas
- Necesidad teórica en Big-Bang

# Materia oscura y el espacio

- El universo contiene 6 veces más materia oscura que materia conocida (átomos).
- A pesar de ello, no la vemos en el espacio. Sólo vemos la materia usual que interactúa con la luz (absorbe o irradia). Pero, la luz sigue la curvatura. La materia oscura, por su gravedad, curva el espacio, lo que observamos cuando la luz proviene de objetos más lejanos. Aparece acompañando a la materia visible en agrupaciones. ¿Existe aislada?

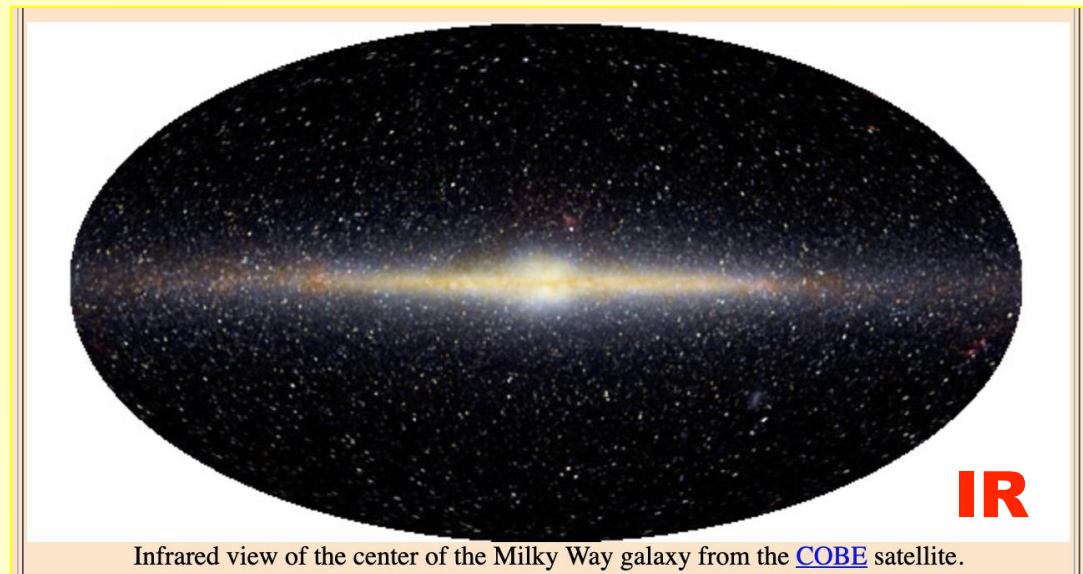
Aún se ignora qué es la materia oscura.

# ¿Cómo se manifiesta la DM?

Al estudiar grandes volúmenes de espacio con materia visible (estrellas y gas): se ven los efectos gravitacionales.

- En cúmulos de galaxias (1933)
- En galaxias: espirales y elípticas (60´ s-70´ s)
- En el espacio distante: efecto de lente (2000=>)

## Vía Láctea:



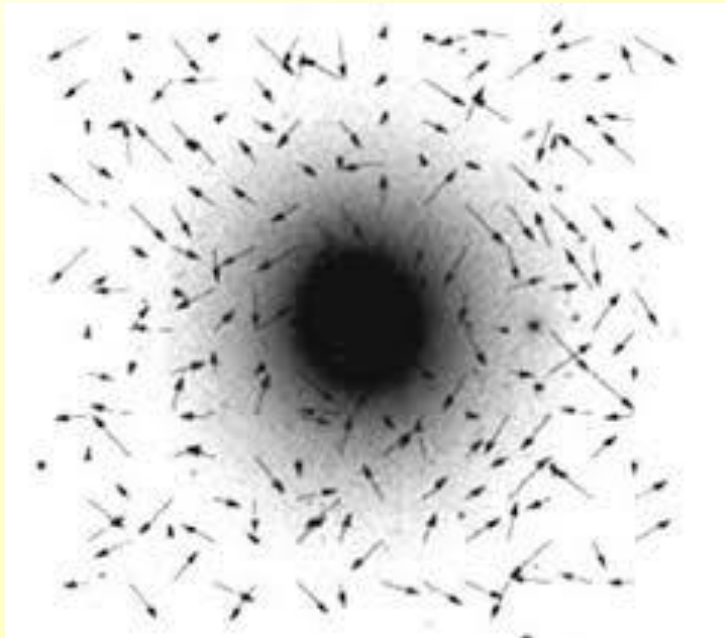


# Descubrimiento original

- Fred Zwicky (1933) mide velocidades de unas 18 galaxias en el cúmulo Coma. La dispersión de sus velocidades indica que para estar en equilibrio, se necesita 10 veces mas masa que la presente en las galaxias visibles. Postuló que tenía que haber más masa, no observada: la llamó missing mass (otra idea loca).
- Se buscó por años. Se encontró gas a millones de grados, pero no suficiente.

# Sistemas Dinámicos y La Masa Oscura “o Missing”

La mayoría de las galaxias están en grupos y cúmulos: los ricos tienen hasta miles de ellas: son las grandes unidades de materia en el Universo. Supercúmulos tienen decenas de cúmulos.



**Galaxias: 5%**  
**Gas caliente: 15-20%**  
**=> DM: 70-75%**

En galaxias elípticas o cúmulos, las estrellas o galaxias, en estado de equilibrio, tienen velocidades con distribuciones de Gauss.

**Su dispersión mide la Masa total.**

**Cúmulos también tienen gas a millones  $^{\circ}\text{K}$  => X-rays**

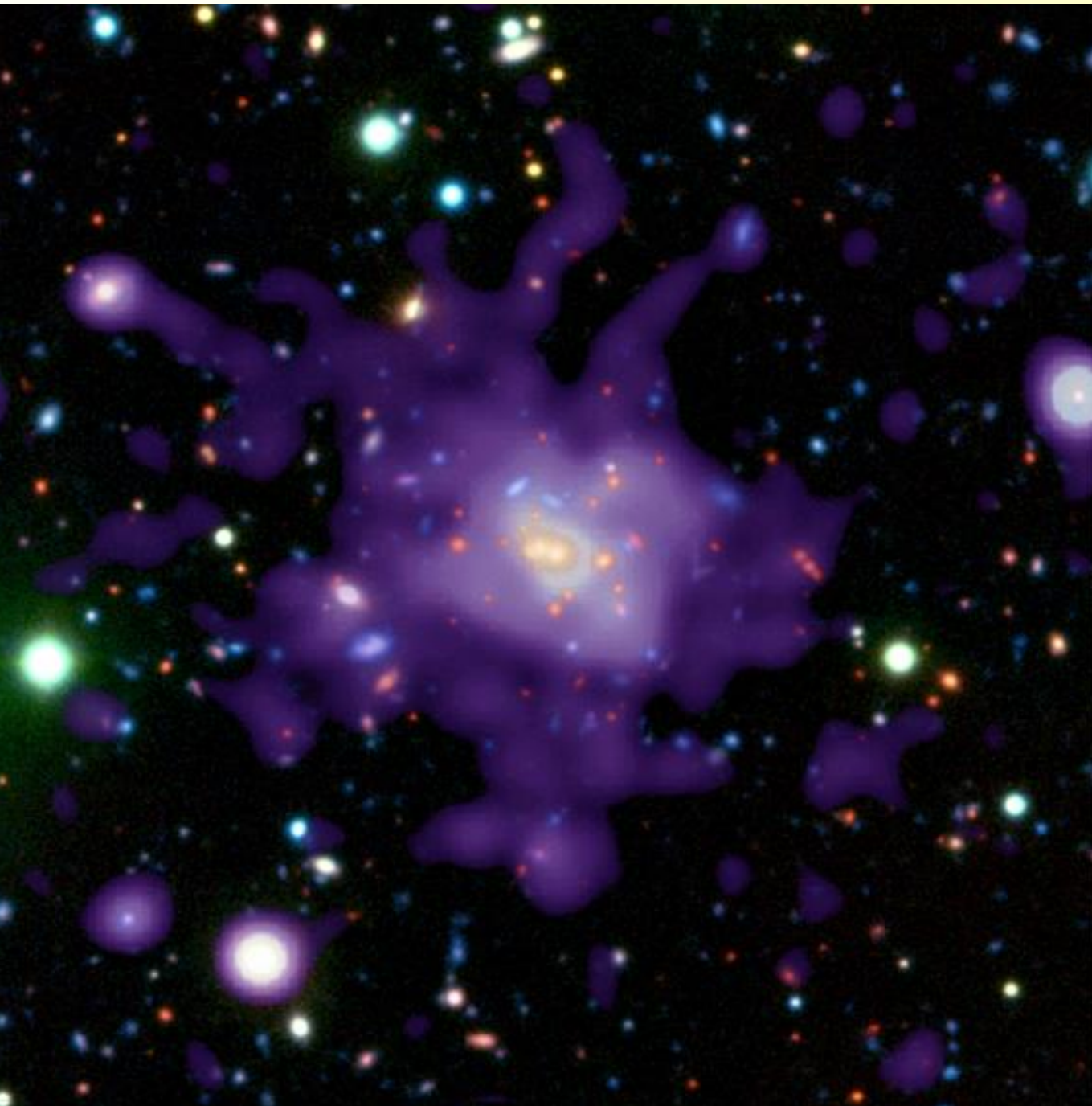
# Un cúmulo masivo

**HST:  
A370**

Se miden  
velocidades  
de cientos de  
galaxias y así  
se mide la  
masa total

(Gal blancas  
están más  
cercanas)





Edad: 40% de edad  
del Universo

**Cúmulo de  
galaxias  
rdcs1259-29:**

**Gas difuso  
en rayos-X  
(Chandra)**  
20% de masa

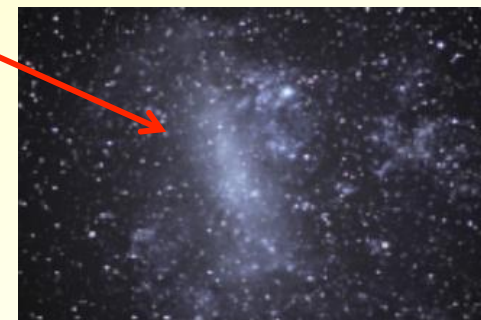
**Galaxias  
(en rojo):**  
5% de masa



# Variedad de Galaxias

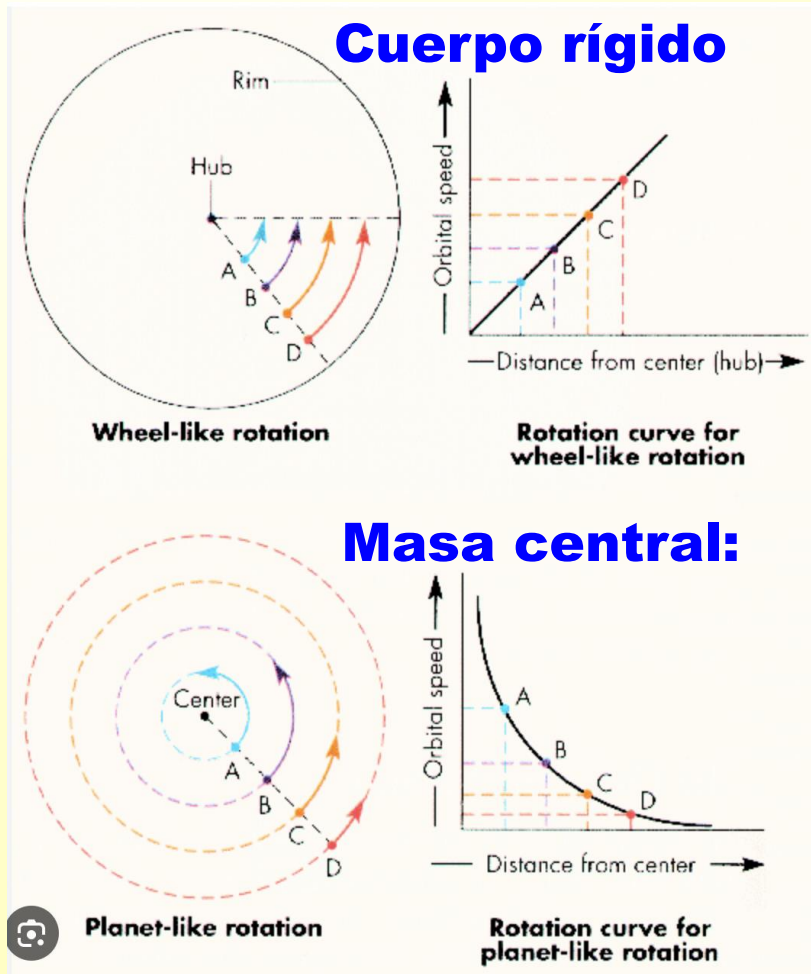
Hay 3 tipos principales:

- Espirales (discos)
- Elípticas
- Irregulares (pequeñas)

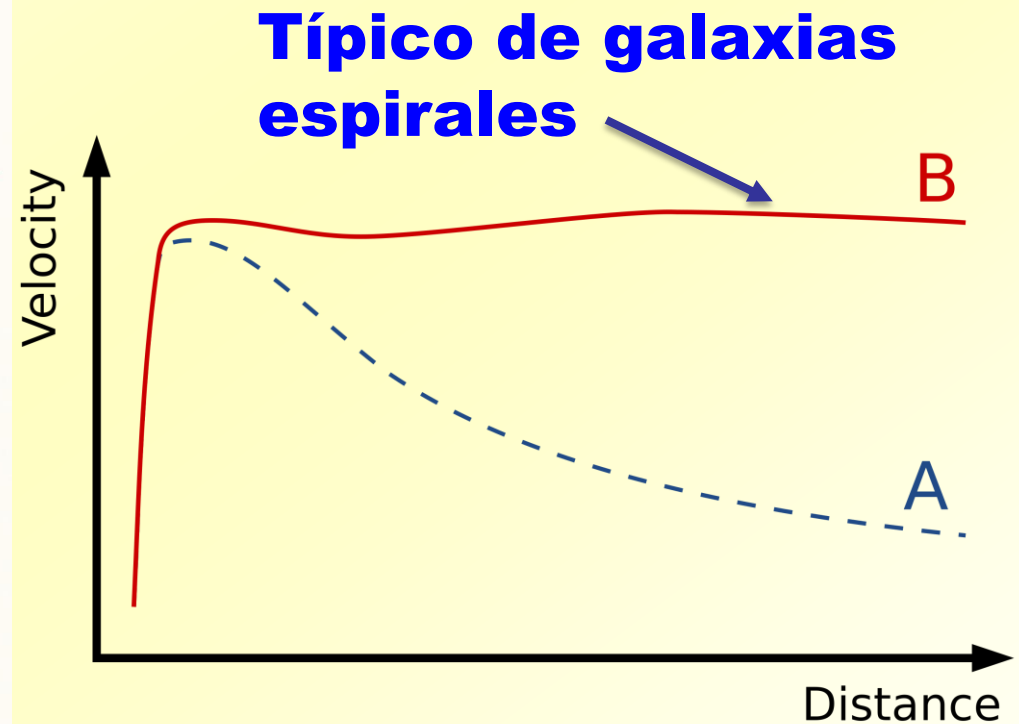


- Masas: entre  $10^8$  (chicas) hasta  $10^{14} M_{\odot}$  (masa solar)

# Tipos de velocidades circulares



**Caso de planetas**

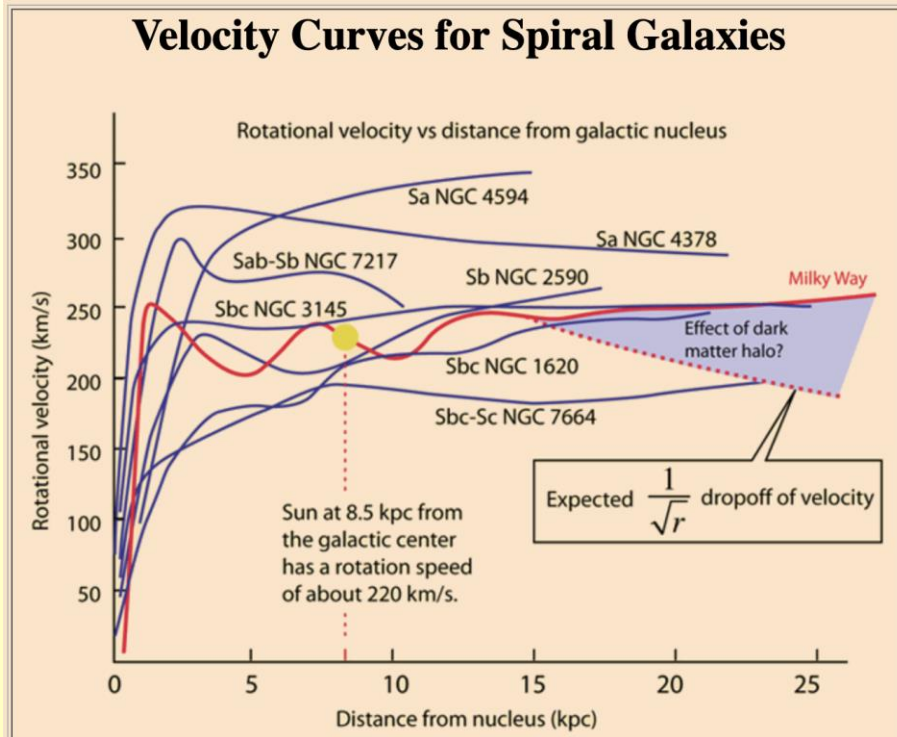


**(A): esperado de luz visible**

Siempre: rotación diferencial

# DM en galaxias espirales

Al medir las velocidades de rotación en el disco de galaxias espirales (B), se encontró que la velocidad no disminuía con la distancia radial, como esperado (A). Se necesita mas masa que la visible: un gran halo de masa no visible.



Además, modelos numéricos muestran que los finos discos son inestables si no están rodeados de un campo de gravedad esférico => DM

***Galaxias elípticas tienen dinámicas similares a cúmulos.***



# “Detección” de masa oscura



**Se detecta solo el efecto gravitacional de la masa: curva la luz.**

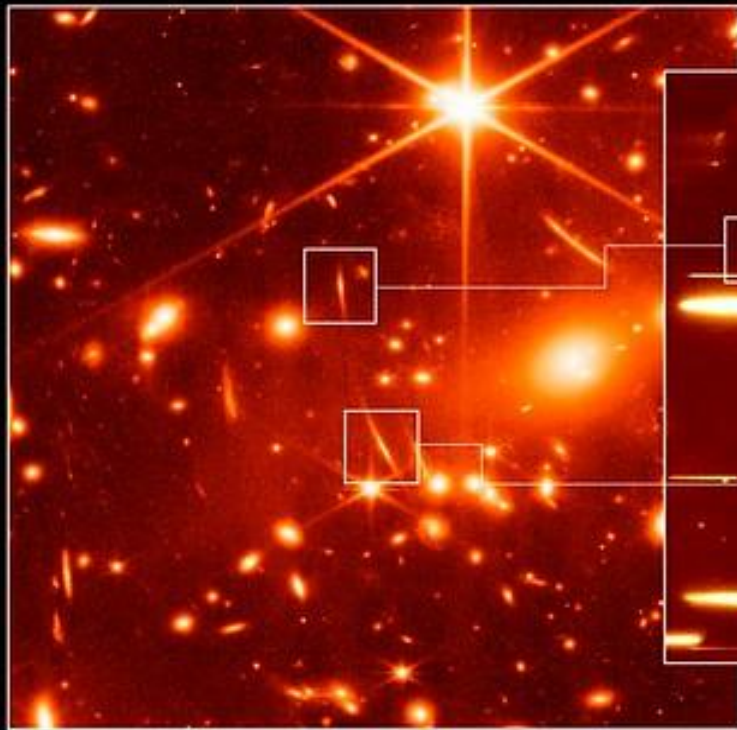
**James Webb Space Telescope:**  
un cúmulo de galaxias (blancas). Tiene masa oscura. Sirve de “lente” a la luz de galaxias mas lejanas (rojas), que se distorsionan, curvan y, a veces, duplican.

# Análisis de imagen: misma galaxia

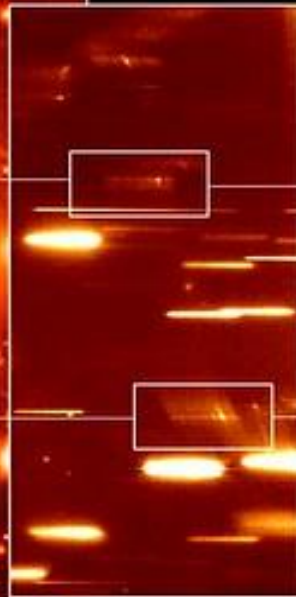
GALAXY CLUSTER SMACS 0723

## WEBB SPECTRA CONFIRM TWO ARCS ARE THE SAME GALAXY

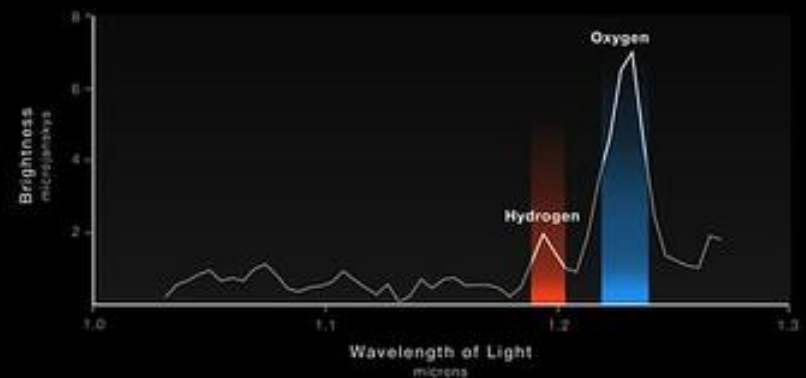
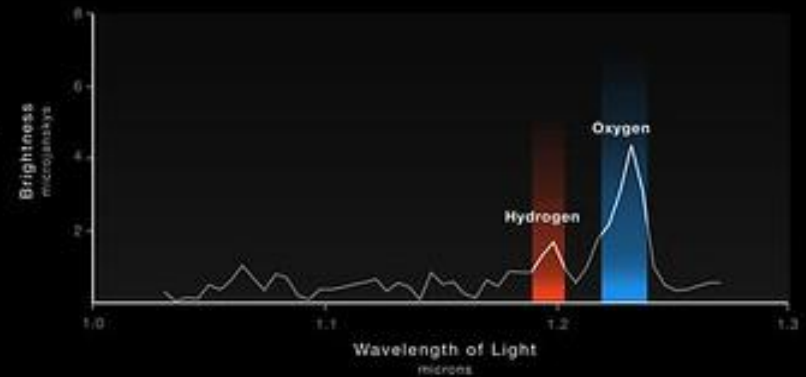
NIRISS Imaging



NIRISS Grism



NIRISS Wide Field Slitless Spectroscopy



# ¿Candidatos astronómicos?

- Estrellas muy oscuras, cosas como planetas: MACHOS (masive compact halo objects)
- ¿Objetos como rocas, ladrillos, asteroides?
- Hoyos negros aislados, primordiales .. (nada)

**Problema: todos los objetos formados por masa normal (bariónica), vendrían de materia formada en el Big-Bang, la que tiene un límite máximo de masa. Ese límite, por elemento, es observado.**

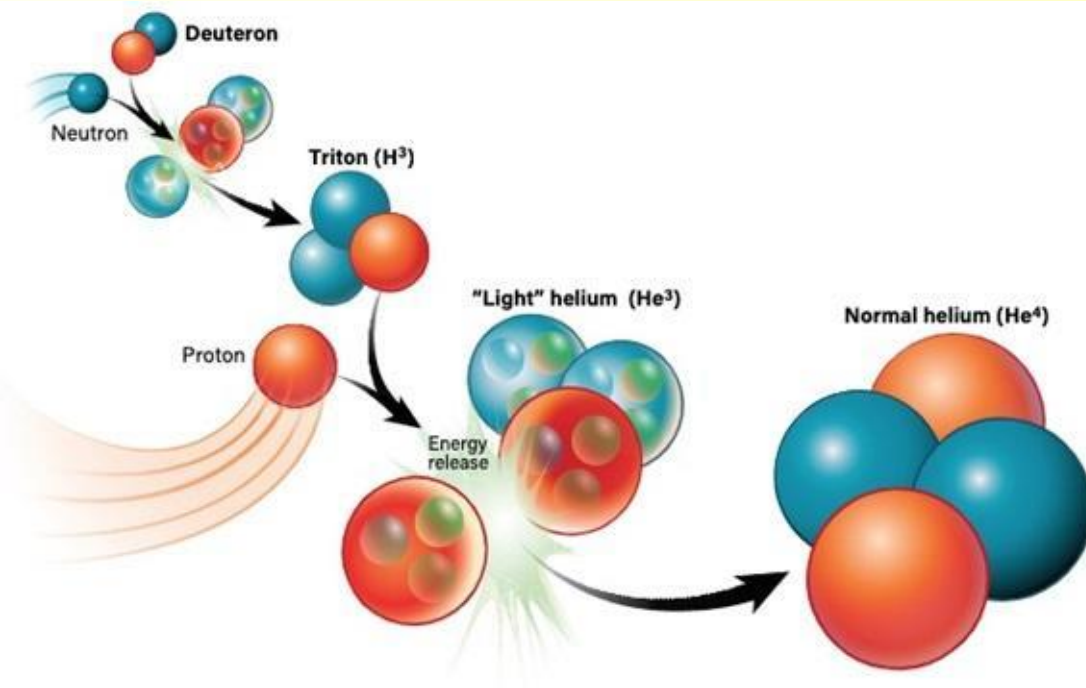
**Resultado: DM es otra cosa, otro tipo de materia**

# Bariogénesis y nucleosíntesis primordial

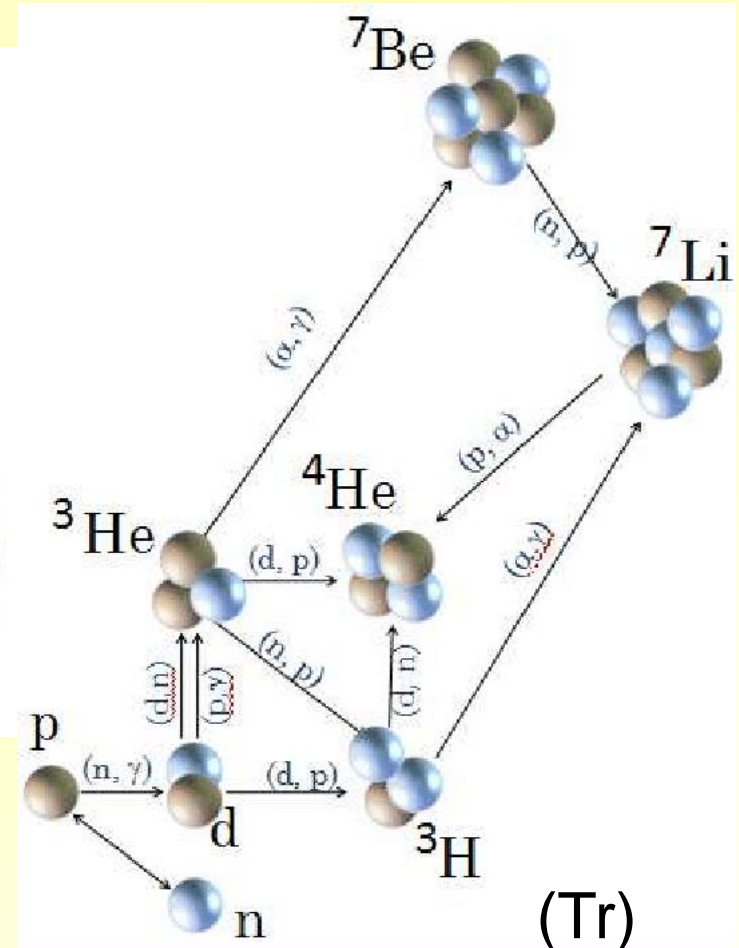
El Universo se expande rápidamente, y baja su temperatura desde altísimos valores. Entre  $t=0.1\text{s}$  y  $1\text{s}$ , se forman las partículas elementales conocidas. Poco después, se forman los núcleos atómicos más simples, hasta unos 4 minutos, cuando la  $T$  baja  $< 10^7\text{K}$ .

Esto se puede calcular, así como las densidades relativas. Se comparan con observaciones de los objetos más antiguos => límites de abundancias.

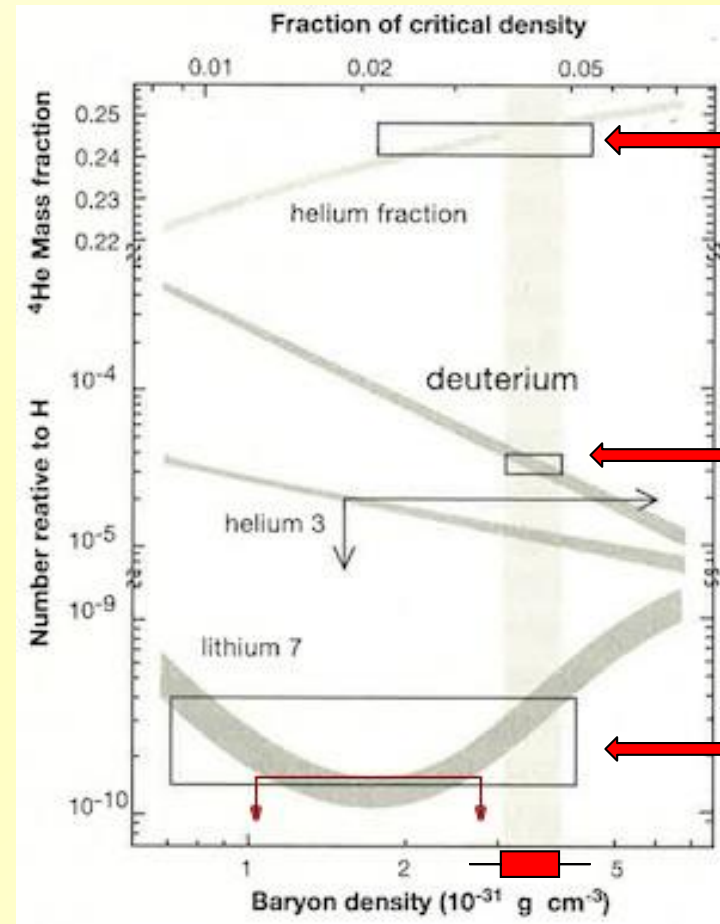
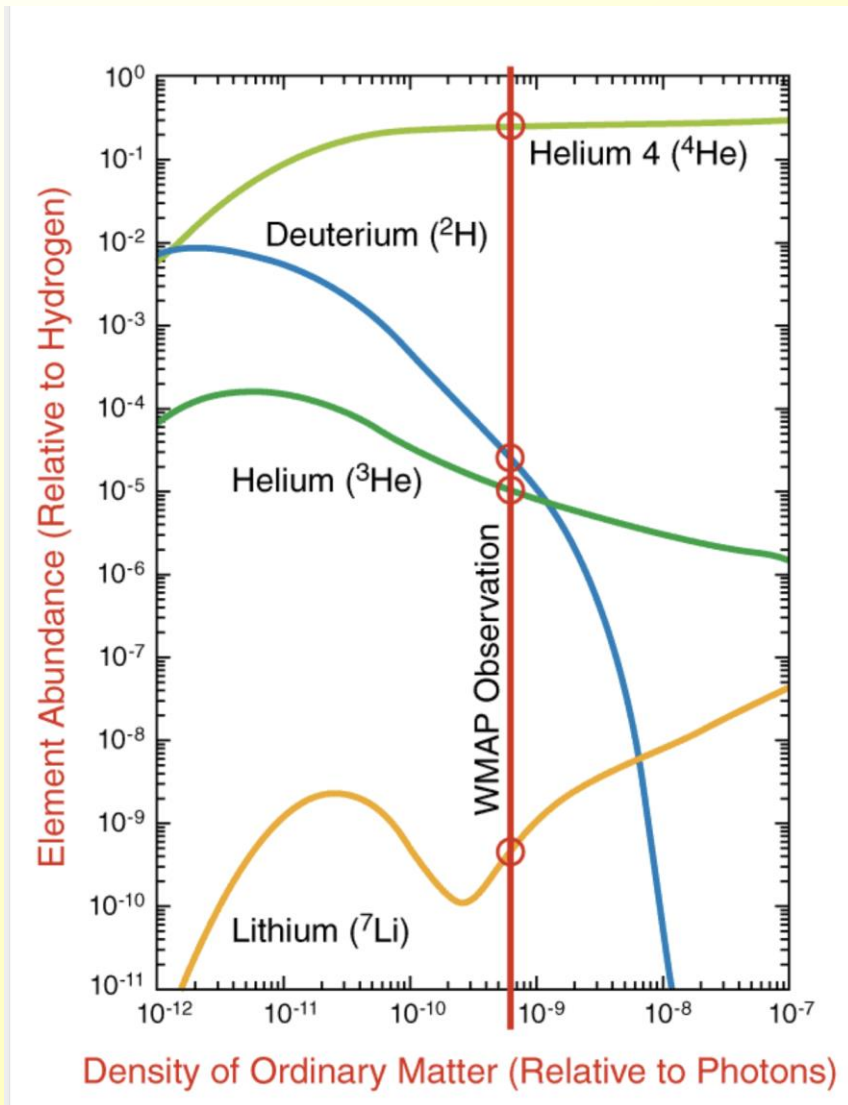
# Nucleosíntesis: $t > 10s-4min$



**Elementos:**  
**H, D ( $H^2$ ), Tr ( $H^3$ )**  
 **$He^3$ ,  $He^4$**   
**( $Li^7$ ,  $Be^7$ )**



# Nucleosíntesis primordial



**Dato He**

**Dato: D**

**Dato: Li**

**No puede haber mas bariones, que los medidos  
=> No alcanzan para DM**

# ¿Otras partículas?

- Características necesarias:
  - con masa, para mantener  $v \ll c$  (COLD!)
  - solo interacciones débiles (y gravitatorias)

WIMPS: weakly interacting massive particles

Se abren posibilidades de nuevas teorías de la materia: supersimetrías, etc.....=>

Tema para Jorge....

**En el Universo antes de 0,001s, se juntan la física del microcosmos y las escalas astronómicas**

# Necesidad de DM en Modelos

- Tenemos cierta idea del desarrollo del Universo después de  $10^{-11}$  s (física conocida).
- Se forman las partículas elementales usuales: bariones, leptones, etc. $\Rightarrow$  protones, neutrones,  $e^-$ ,  $\nu$
- Se forman átomos primordiales (H, He, Li, Be)
- Al aumentar el volumen y bajar la T, se forman átomos y desacopla radiación de la materia. La materia puede empezar a formar estructuras.
- **PERO** 1) Hay mucha mas masa que la bariónica y 2) no hay forma que la materia ionizada forme concentraciones antes de la recombinación. Se necesita algo como Cold Dark Matter (neutra).

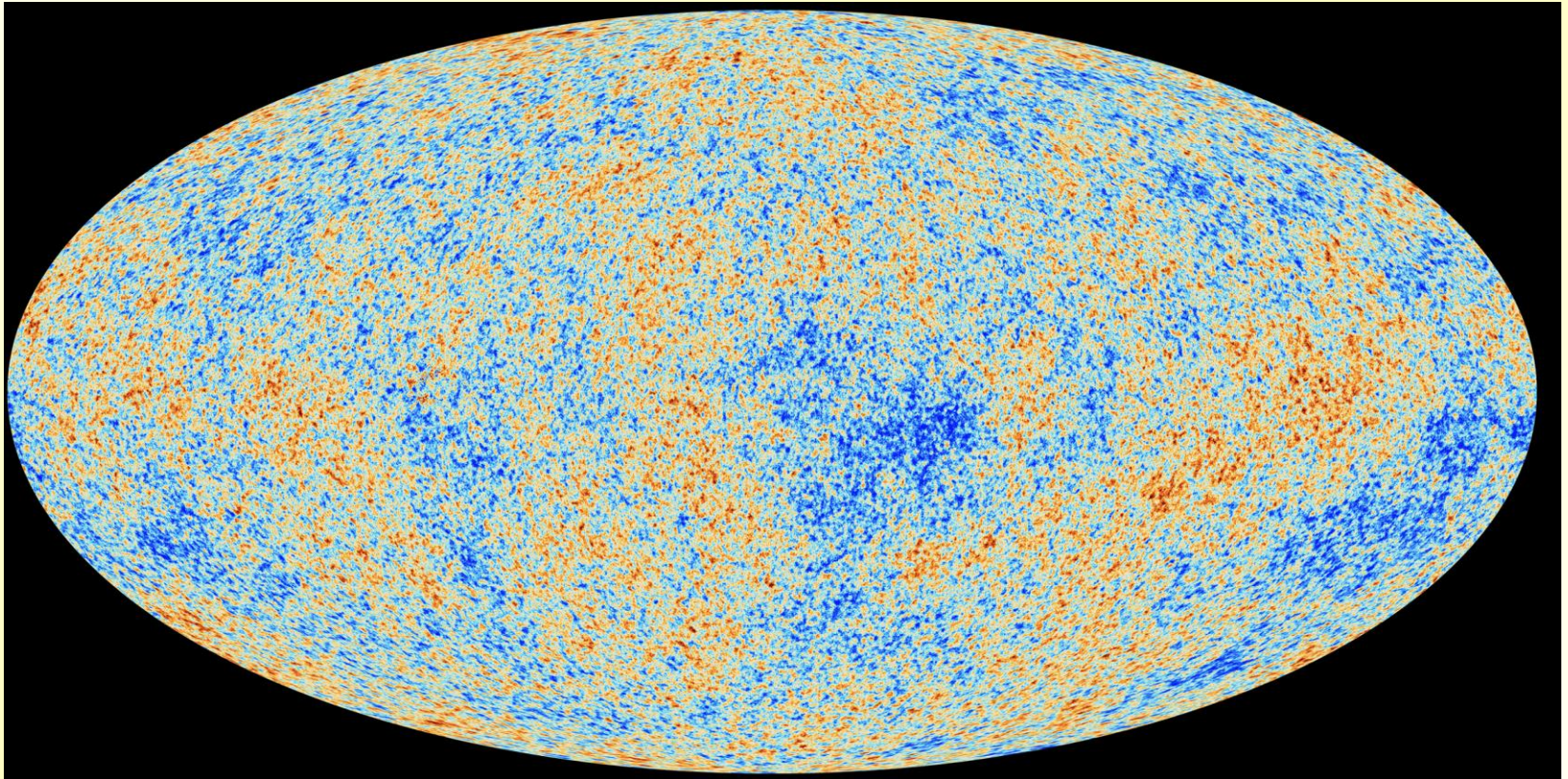


# Universo visible mas antiguo: CMB – Cosmic Microwave Background

Satélite Planck 2017

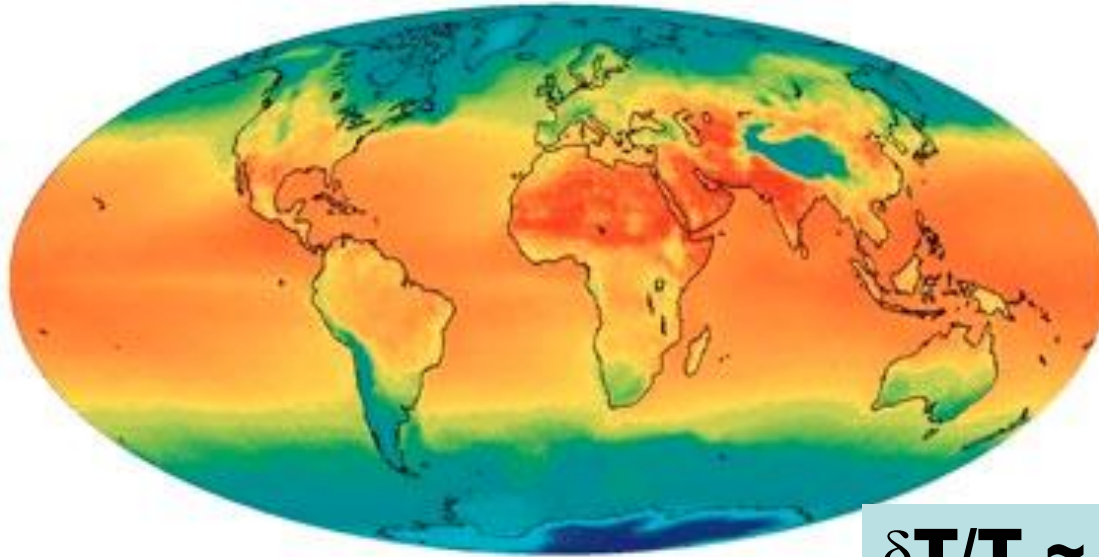
*Visión de todo el cielo: coord galact.*

*Edad 380.000 años*



La densidad de las primeras aglomeraciones es muy constante, con variaciones  $<10^{-5}$ : COBE y otros

# FONDO DE RADIACION COSMICA (CMB): 1965-94

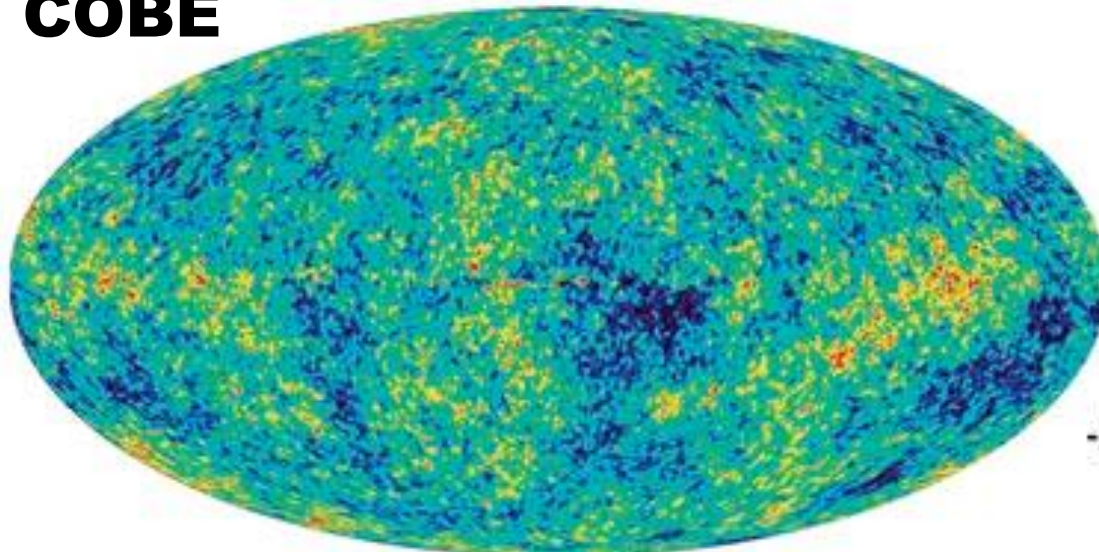


Earth  
Temperatures



$\delta T/T \sim 1$  parte en 1

**COBE**



Microwave Sky  
Temperatures

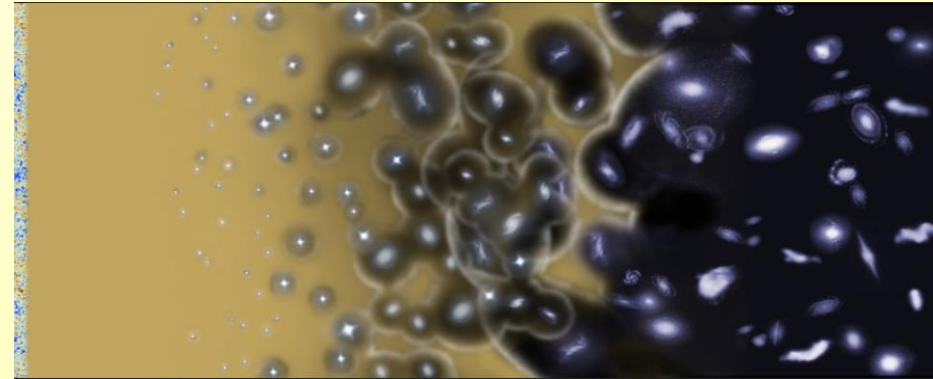


**MUY HOMOGENEO=>**  $\delta T/T \sim 1$  parte en 1/100.000

# ¿Qué se espera?

La evolución de galaxias se inicia poco después del Big-Bang: época cuando el plasma se enfría bajo  $3.000^{\circ}\text{K}$ , se unen electrones y protones, formando átomos neutros. Fotones son libres.

$T=3000^{\circ}\text{K}$



tiempo →

**Edad: 380.000 años**

**Material: 4%-  $\text{H}(\text{+ e})$ , He**  
**DM: 26%**



La CDM es esencial para generar la formación de estructuras, empezando mucho antes de la recombinación

# Evolución de estructuras

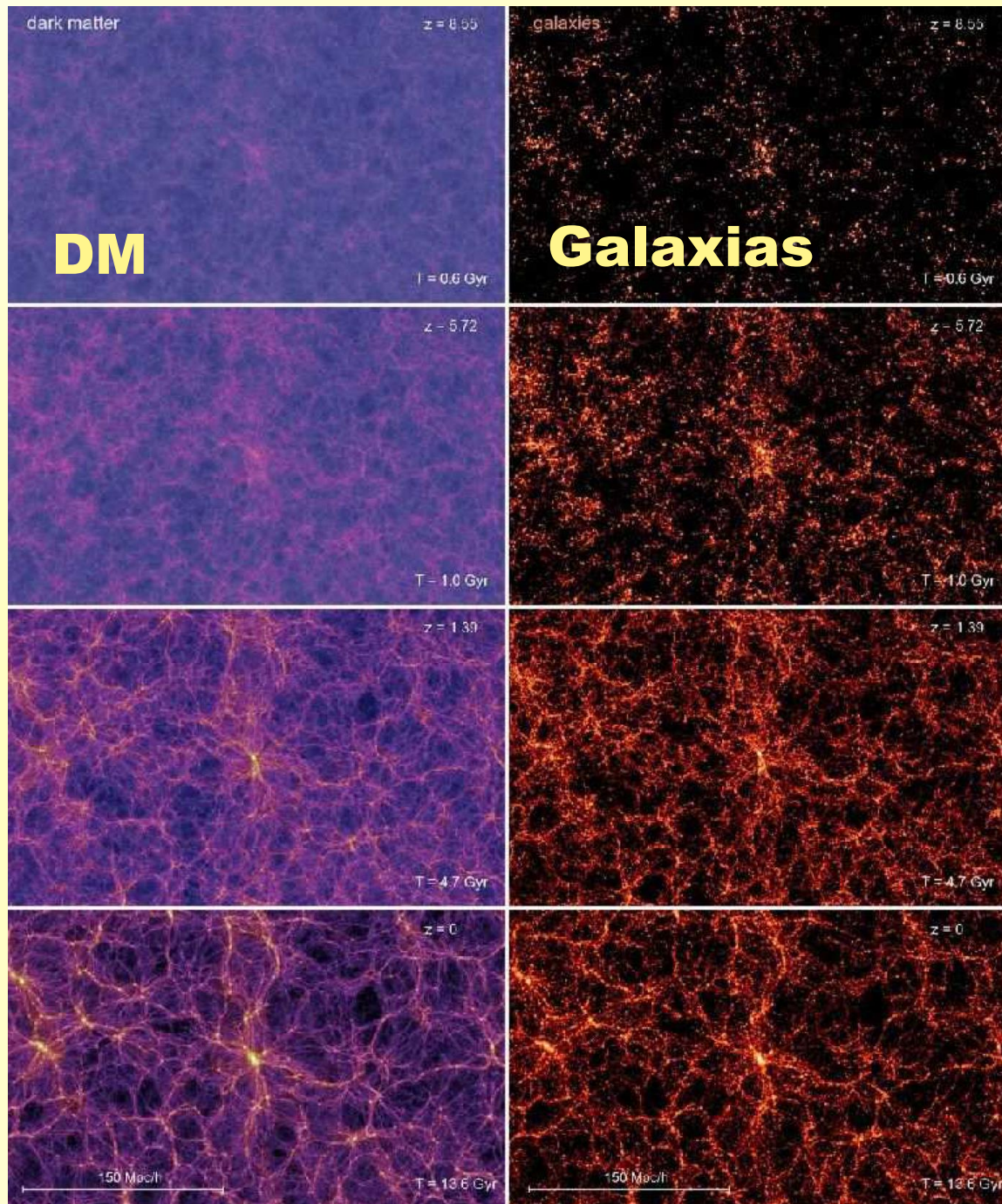
**600 x 10<sup>6</sup> años**

**1.000 x 10<sup>6</sup> años**

**4.700 x 10<sup>6</sup> años**

**13.700 x 10<sup>6</sup> años= hoy**

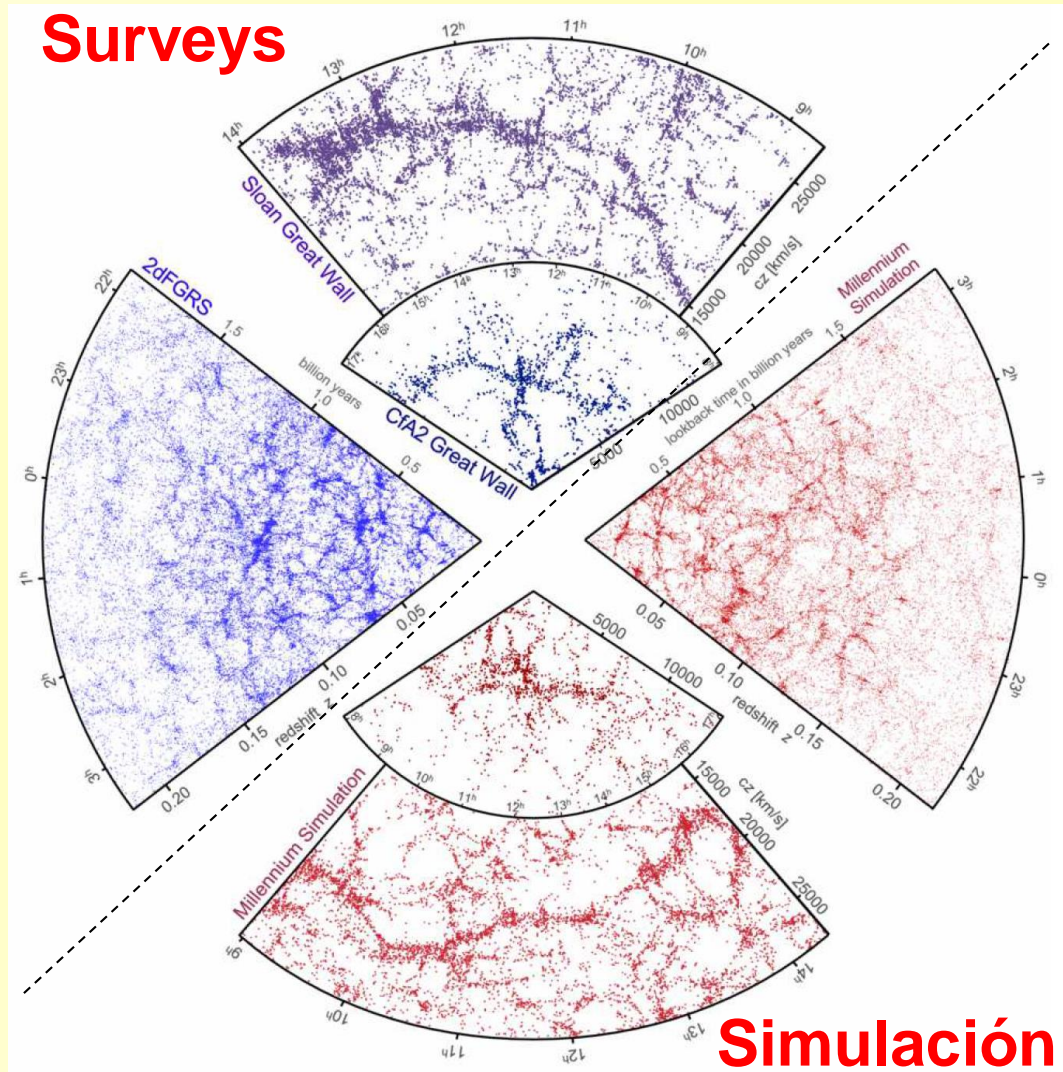
*Volúmenes de  
20 Mpc profundidad*



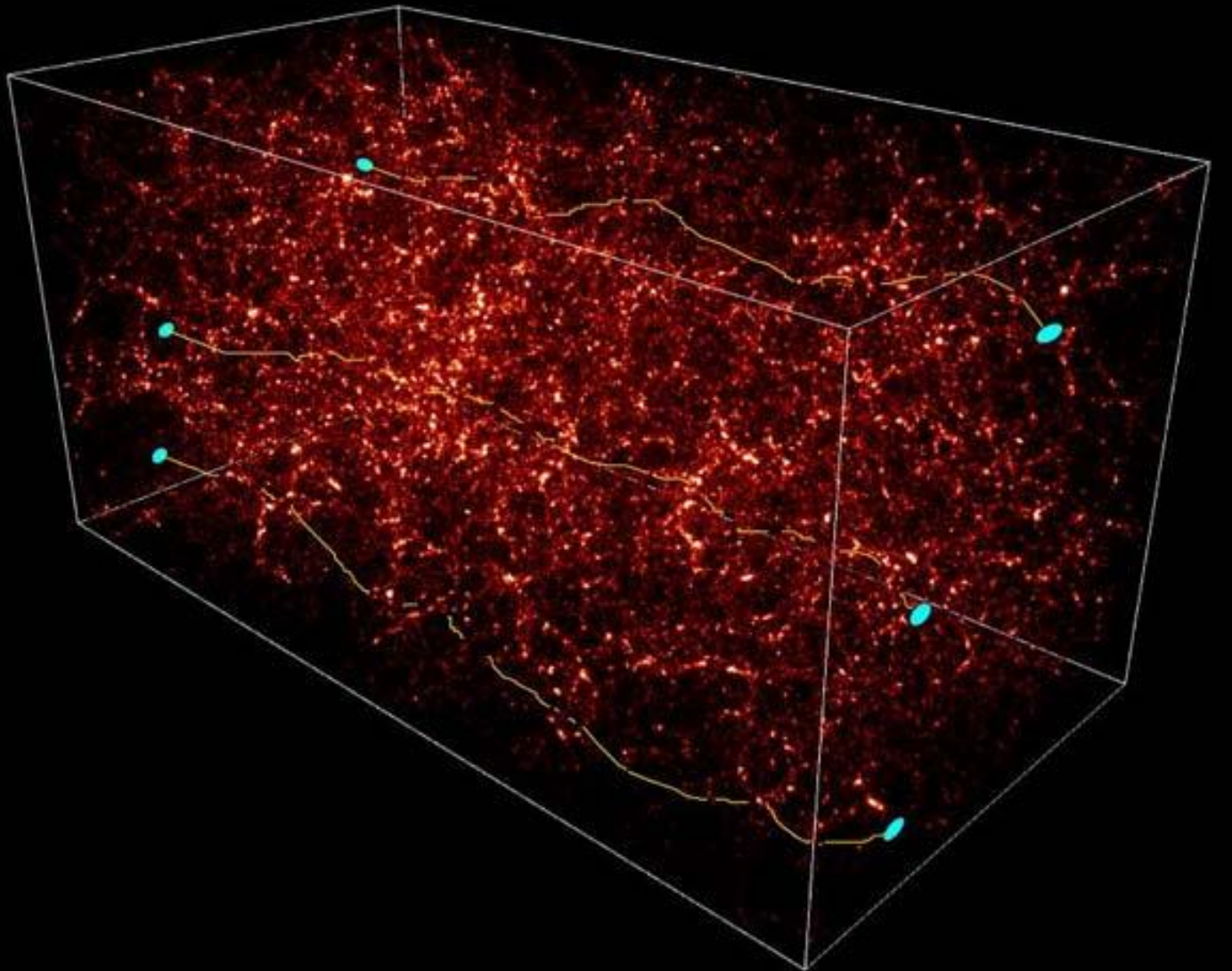
# Centros de atracción: hoy

Las galaxias + DM forman una jerarquía estructural: grupos, cadenas, cúmulos y supercúmulos, donde los más grandes atraen y crecen.

***En la evolución del Universo se constituye una red de estos sistemas.***



# LUZ muy lejana sufre deflexiones que miden la masa de cuerpos intermedios



Simulaciones numéricas, con millones de partículas.

Las imágenes sufren distorsiones y cambios ligeros de posición, que dependen de las distancias relativas entre lentes y objetos enfocados, además de las masas de lentes. .

# Medida reciente DM muy lejana

## The Atacama Cosmology Telescope: DR6 Gravitational Lensing Map and Cosmological Parameters

MATHEW S. MADHAVACHERIL,<sup>1,2</sup> FRANK J. QU,<sup>3</sup> BLAKE D. SHERWIN,<sup>3,4</sup> NIALL MACCRANN,<sup>3</sup> YAQIONG LI,<sup>5</sup>  
IRENE ABRIL-CABEZAS,<sup>3</sup> PETER A. R. ADE,<sup>6</sup> SIMONE AIOLA,<sup>7,8</sup> TOMMY ALFORD,<sup>9</sup> MANDANA AMIRI,<sup>10</sup>  
STEFANIA AMODEO,<sup>11</sup> RUI AN,<sup>12</sup> ZACHARY ATKINS,<sup>8</sup> JASON E. AUSTERMANN,<sup>13</sup> NICHOLAS BATTAGLIA,<sup>14</sup>  
ELIA STEFANO BATTISTELLI,<sup>15</sup> JAMES A. BEALL,<sup>13</sup> RACHEL BEAN,<sup>14</sup> BENJAMIN BERINGUE,<sup>6</sup> TANAY BHANDARKAR,<sup>1</sup>  
EMILY BIERMANN,<sup>16</sup> BORIS BOLLIET,<sup>3</sup> J RICHARD BOND,<sup>17</sup> HONGBO CAI,<sup>16</sup> ERMINIA CALABRESE,<sup>6</sup> VICTORIA CALAFUT,<sup>17</sup>  
VALENTINA CAPALBO,<sup>15</sup> FELIPE CARRERO,<sup>18</sup> ANTHONY CHALLINOR,<sup>19,4,3</sup> GRACE E. CHESMORE,<sup>9</sup> HSIAO-MEI CHO,<sup>20,13</sup>  
STEVE K. CHOI,<sup>5,14</sup> SUSAN E. CLARK,<sup>21,22</sup> RODRIGO CÓRDOVA ROSADO,<sup>23</sup> NICHOLAS F. COTHARD,<sup>24</sup> KEVIN COUGHLIN,<sup>9</sup>  
WILLIAM COULTON,<sup>7</sup> KEVIN T. CROWLEY,<sup>25</sup> ROOHI DALAL,<sup>23</sup> OMAR DARWISH,<sup>26</sup> MARK J. DEVLIN,<sup>1</sup> SIMON DICKER,<sup>1</sup>  
PETER DOZE,<sup>27</sup> CODY J. DUELL,<sup>5</sup> SHANNON M. DUFF,<sup>13</sup> ADRIAAN J. DUIVENVOORDEN,<sup>7,8</sup> JO DUNKLEY,<sup>8,23</sup>  
ROLANDO DÜNNER,<sup>18</sup> VALENTINA FANFANI,<sup>28</sup> MAX FANKHANEL,<sup>29</sup> GERRIT FARRIN,<sup>3</sup> SIMONE FERRARO,<sup>30,25</sup>  
RODRIGO FREUNDT,<sup>14</sup> BRITTANY FUZIA,<sup>31</sup> PATRICIO A. GALLARDO,<sup>9</sup> XAVIER GARRIDO,<sup>32</sup> JAHMOUR GIVANS,<sup>23</sup>  
VERA GLUSCEVIC,<sup>12</sup> JOSEPH E. GOLEC,<sup>9</sup> YILUN GUAN,<sup>33</sup> KIRSTEN R. HALL,<sup>34</sup> MARK HALPERN,<sup>10</sup> DONGWON HAN,<sup>3</sup>  
IAN HARRISON,<sup>6</sup> MATTHEW HASSELFIELD,<sup>7</sup> ERIN HEALY,<sup>9,8</sup> SHAWN HENDERSON,<sup>20</sup> BRANDON HENSLEY,<sup>23</sup>  
CARLOS HERVÍAS-CAIMAPO,<sup>18,31</sup> J. COLIN HILL,<sup>35,7</sup> GENE C. HILTON,<sup>13</sup> MATT HILTON,<sup>36,37</sup> ADAM D. HINCKS,<sup>38</sup>  
RENÉE HLOŽEK,<sup>33,38</sup> SHUAY-PWU PATTY HO,<sup>8</sup> ZACHARY B. HUBER,<sup>5</sup> JOHANNES HUBMAYR,<sup>13</sup> KEVIN M. HUFFENBERGER,<sup>31</sup>  
JOHN P. HUGHES,<sup>27</sup> KENT IRWIN,<sup>21</sup> GIOVANNI ISOPI,<sup>15</sup> HIDDE T. JENSE,<sup>6</sup> BEN KELLER,<sup>5</sup> JOSHUA KIM,<sup>1</sup> KENDA KNOWLES,<sup>37</sup>  
BRIAN J. KOOPMAN,<sup>39</sup> ARTHUR KOSOWSKY,<sup>16</sup> DARBY KRAMER,<sup>40</sup> ALEKSANDRA KUSIAK,<sup>35</sup> ADRIEN LA POSTA,<sup>32</sup>  
ALEX LAGUE,<sup>1</sup> VICTORIA LAKEY,<sup>41</sup> EUNSEONG LEE,<sup>14</sup> ZACK LI,<sup>17</sup> MICHELE LIMON,<sup>1</sup> MARTINE LOKKEN,<sup>38,17,33</sup>  
THIBAUT LOUIS,<sup>32</sup> MARIUS LUNGU,<sup>9</sup> AMANDA MACINNIS,<sup>42</sup> DIEGO MALDONADO,<sup>29</sup> FELIPE MALDONADO,<sup>31</sup>  
MAYA MALLABY-KAY,<sup>43</sup> GABRIELA A. MARQUES,<sup>44</sup> JEFF McMAHON,<sup>45,43,9,46</sup> YOGESH MEHTA,<sup>40</sup> FELIPE MENANTEAU,<sup>47,48</sup>  
KAVILAN MOODLEY,<sup>37</sup> THOMAS W. MORRIS,<sup>49</sup> TONY MROCZKOWSKI,<sup>50</sup> SIGURD NAESS,<sup>51</sup> TOSHIYA NAMIKAWA,<sup>52,3</sup>  
FEDERICO NATI,<sup>28</sup> LAURA NEWBURGH,<sup>39</sup> ANDRINA NICOLA,<sup>53,23</sup> MICHAEL D. NIEMACK,<sup>5,14</sup> MICHAEL R. NOLTA,<sup>17</sup>  
JOHN ORLOWSKI-SCHERER,<sup>54,1</sup> LYMAN A. PAGE,<sup>8</sup> SHIVAM PANDEY,<sup>35</sup> BRUCE PARTRIDGE,<sup>55</sup> HEATHER PRINCE,<sup>27</sup>  
ROBERTO PUDDU,<sup>18</sup> FEDERICO RADICONI,<sup>15</sup> NAOMI ROBERTSON,<sup>56</sup> FELIPE ROJAS,<sup>18</sup> TAI SAKUMA,<sup>8</sup> MARIA SALATINO,<sup>21,22</sup>  
EMMANUEL SCHAAN,<sup>20,22</sup> BENJAMIN L. SCHMITT,<sup>1</sup> NEELIMA SEHGAL,<sup>42</sup> SHABBIR SHAIKH,<sup>40</sup> CARLOS SIERRA,<sup>9</sup>  
JON SIEVERS,<sup>54</sup> CRISTÓBAL SIFÓN,<sup>57</sup> SARA SIMON,<sup>44</sup> RITA SONKA,<sup>8</sup> DAVID N. SPERGEL,<sup>7,23</sup> SUZANNE T. STAGGS,<sup>8</sup>  
EMILIE STORER,<sup>54,8</sup> ERIC R. SWITZER,<sup>24</sup> NIKLAS TAMPIER,<sup>29</sup> ROBERT THORNTON,<sup>58,1</sup> HY TRAC,<sup>59</sup> JESSE TREU,<sup>60</sup>  
CAROLE TUCKER,<sup>6</sup> JOEL ULLUOM,<sup>13</sup> LEILA R. VALE,<sup>13</sup> ALEXANDER VAN ENGELEN,<sup>40</sup> JEFF VAN LANEN,<sup>13</sup>  
JOSHIWA VAN MARREWIJK,<sup>50</sup> CRISTIAN VARGAS,<sup>18</sup> EVE M. VAVAGIAKIS,<sup>5</sup> KASEY WAGONER,<sup>61,8</sup> YUHAN WANG,<sup>8</sup>  
LUKAS WENZL,<sup>14</sup> EDWARD J. WOLLACK,<sup>24</sup> ZHILEI XU,<sup>1</sup> FERNANDO ZAGO,<sup>54</sup> AND KAIWEN ZHANG<sup>8</sup>

(180)

***Paper 2023: Dunner - Prof PUC+alumnos(5)+otros ex***

# ACT: Atacama Cosmology Telescope

## Cerro Toco: 5.200m

(Concesión PUC 1998-2003)

## Después CONICYT: vecino a ALMA – pero más alto



<sup>1</sup> Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, 209 South 33rd Street, Philadelphia, PA, USA 19104

<sup>2</sup> Perimeter Institute for Theoretical Physics, Waterloo, Ontario, N2L 2Y5, Canada

<sup>3</sup> DAMTP, Centre for Mathematical Sciences, University of Cambridge, Wilberforce Road, Cambridge CB3 0WA, UK

<sup>4</sup> Kavli Institute for Cosmology Cambridge, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, UK

<sup>5</sup> Department of Physics, Cornell University, Ithaca, NY, USA 14853

<sup>6</sup> School of Physics and Astronomy, Cardiff University, The Parade, Cardiff, Wales, UK CF24 3AA

<sup>7</sup> Center for Computational Astrophysics, Flatiron Institute, 162 5th Avenue, New York, NY 10010 USA

<sup>8</sup> Joseph Henry Laboratories of Physics, Jadwin Hall, Princeton University, Princeton, NJ, USA 08544

<sup>9</sup> Department of Physics, University of Chicago, Chicago, IL 60637, USA

<sup>10</sup> Department of Physics and Astronomy, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada V6T 1Z4

<sup>11</sup> Université de Strasbourg, CNRS, Observatoire astronomique de Strasbourg, UMR 7550, F-67000 Strasbourg, France

<sup>12</sup> University of Southern California. Department of Physics and Astronomy, 825 Bloom Walk ACB 439. Los Angeles, CA 90089-0484

<sup>13</sup> NIST Quantum Sensors Group, 325 Broadway Mailcode 817.03, Boulder, CO, USA 80305

<sup>14</sup> Department of Astronomy, Cornell University, Ithaca, NY 14853, USA

<sup>15</sup> Sapienza University of Rome, Physics Department, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Rome, Italy

<sup>16</sup> Department of Physics and Astronomy, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA 15260

<sup>17</sup> Canadian Institute for Theoretical Astrophysics, University of Toronto, Toronto, ON, Canada M5S 3H8

<sup>18</sup> Instituto de Astrofísica and Centro de Astro-Ingeniería, Facultad de Física, Pontificia Universidad Católica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, 7820436 Macul, Santiago, Chile

<sup>19</sup> Institute of Astronomy, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, UK

<sup>20</sup> SLAC National Accelerator Laboratory 2575 Sand Hill Road Menlo Park, California 94025, USA

<sup>21</sup> Department of Physics, Stanford University, Stanford, CA, USA 94305-4085

<sup>22</sup> Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, 382 Via Pueblo Mall Stanford, CA 94305-4060, USA

<sup>23</sup> Department of Astrophysical Sciences, Peyton Hall, Princeton University, Princeton, NJ USA 08544

<sup>24</sup> NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA 20771

<sup>25</sup> Department of Physics, University of California, Berkeley, CA, USA 94720

<sup>26</sup> Université de Genève, Département de Physique Théorique et CAP, 24 quai Ernest-Ansermet, CH-1211 Genève 4, Switzerland

<sup>27</sup> Department of Physics and Astronomy, Rutgers, The State University of New Jersey, Piscataway, NJ USA 08854-8019

<sup>28</sup> Department of Physics, University of Milano - Bicocca, Piazza della Scienza, 3 - 20126, Milano (MI), Italy

<sup>29</sup> Sociedad Radiosky Asesorías de Ingeniería Limitada, Camino a Toconao 145-A, Ayllu de Solor, San Pedro de Atacama, Chile

<sup>30</sup> Physics Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA

<sup>31</sup> Department of Physics, Florida State University, Tallahassee FL, USA 32306

<sup>32</sup> Université Paris-Saclay, CNRS/IN2P3, IJCLab, 91405 Orsay, France

<sup>33</sup> Dunlap Institute for Astronomy and Astrophysics, University of Toronto, 50 St. George St., Toronto, ON M5S 3H4, Canada

<sup>34</sup> Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian, 60 Garden St. Cambridge, MA 02138, USA

<sup>35</sup> Department of Physics, Columbia University, New York, NY, USA

<sup>36</sup> Wits Centre for Astrophysics, School of Physics, University of the Witwatersrand, Private Bag 3, 2050, Johannesburg, South Africa

<sup>37</sup> Astrophysics Research Centre, School of Mathematics, Statistics and Computer Science, University of KwaZulu-Natal, Durban 4001, South Africa

<sup>38</sup> David A. Dunlap Department of Astronomy and Astrophysics, University of Toronto, 50 St George Street, Toronto ON, M5S 3H4, Canada

<sup>39</sup> Department of Physics, Yale University, 217 Prospect St, New Haven, CT 06511

<sup>40</sup> School of Earth and Space Exploration, Arizona State University, Tempe, AZ, USA 85287

<sup>41</sup> Department of Chemistry and Physics, Lincoln University, PA 19352, USA

<sup>42</sup> Physics and Astronomy Department, Stony Brook University, Stony Brook, NY USA 11794

<sup>43</sup> Department of Astronomy and Astrophysics, University of Chicago, 5640 S. Ellis Ave., Chicago, IL 60637, USA

<sup>44</sup> Fermi National Accelerator Laboratory, MS209, P.O. Box 500, Batavia, IL 60510

<sup>45</sup> Kavli Institute for Cosmological Physics, University of Chicago, 5640 S. Ellis Ave., Chicago, IL 60637, USA

<sup>46</sup> Enrico Fermi Institute, University of Chicago, Chicago, IL 60637, USA

<sup>47</sup> National Center for Supercomputing Applications (NCSA), University of Illinois at Urbana-Champaign, 1205 W. Clark St., Urbana, IL, USA, 61801

<sup>48</sup> Department of Astronomy, University of Illinois at Urbana-Champaign, W. Green Street, Urbana, IL, USA, 61801

<sup>49</sup> Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, USA 11973

<sup>50</sup> European Southern Observatory, Karl-Schwarzschild-Str. 2, D-85748, Garching, Germany

<sup>51</sup> Institute of Theoretical Astrophysics, University of Oslo, Norway

<sup>52</sup> Kavli IPMU (WPI), UTIAS, The University of Tokyo, Kashiwa, 277-8583, Japan

<sup>53</sup> Argelander Institut für Astronomie, Universität Bonn, Auf dem Hügel 71, 53121 Bonn, Germany

<sup>54</sup> Physics Department, McGill University, Montreal, QC H3A 0G4, Canada

<sup>55</sup> Department of Physics and Astronomy, Haverford College, Haverford, PA, USA 19041

<sup>56</sup> Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Royal Observatory, Blackford Hill, Edinburgh, EH9 3HJ, UK

<sup>57</sup> Instituto de Física, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Casilla 4059, Valparaíso, Chile

<sup>58</sup> Department of Physics, West Chester University, West Chester, PA, USA 19383

<sup>59</sup> McWilliams Center for Cosmology, Carnegie Mellon University, 5000 Forbes Ave., Pittsburgh PA, USA, 15213

<sup>60</sup> Domain Associates, LLC

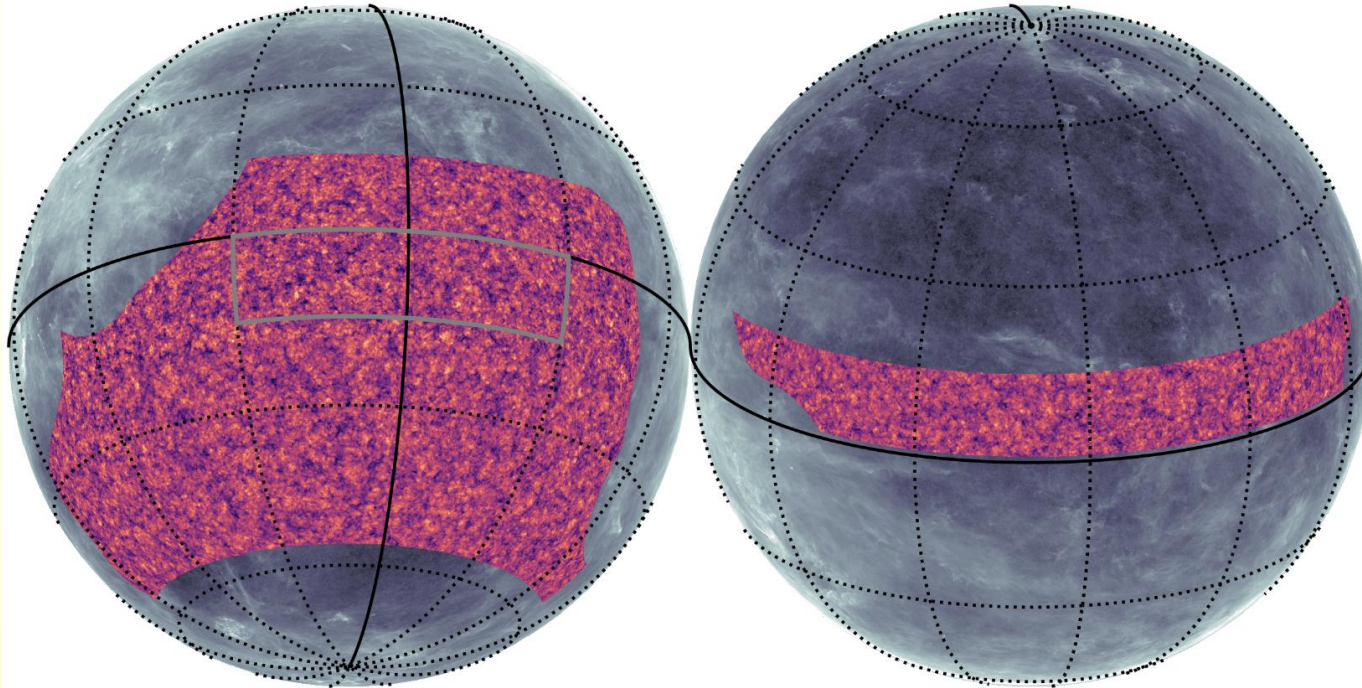
<sup>61</sup> Department of Physics, Wake Forest University, Winston-Salem, NC, USA

2004: Leads U.Princeton; Cardiff, Columbia, Haverford C, INAOE (Mex), PUC, Rutgers, State U. NJ, U KwaZulu (SA), UBC, UMass, U. Penn, U. Toronto, York College CUNY.



# Mapa de Masa DM frente al CMB

ACT DR6 CMB lensing mass map

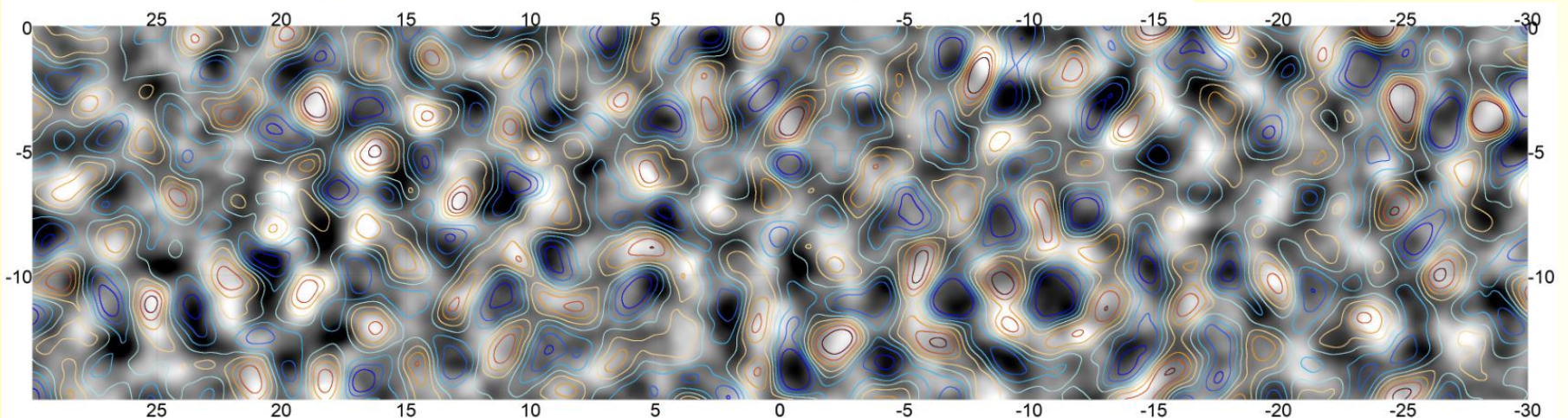


**$z = 2-3$**

**10 a 11.000  
millones años**

**Distorsiones de  
irregularidades  
del CMB**

Blanco, DM  
Negro: vacios



# Conclusión provisoria

**Hay evidencia de diversa índole de la existencia de Materia Oscura, que domina la masa del Universo, pero cuya naturaleza es aún desconocida, aunque muy probablemente de origen no-bariónico.**

**FIN (por ahora)**

