

Formación y evolución de galáxias por sus poblaciones estelares

Basílio Santiago

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Brasil
Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia (LIneA)

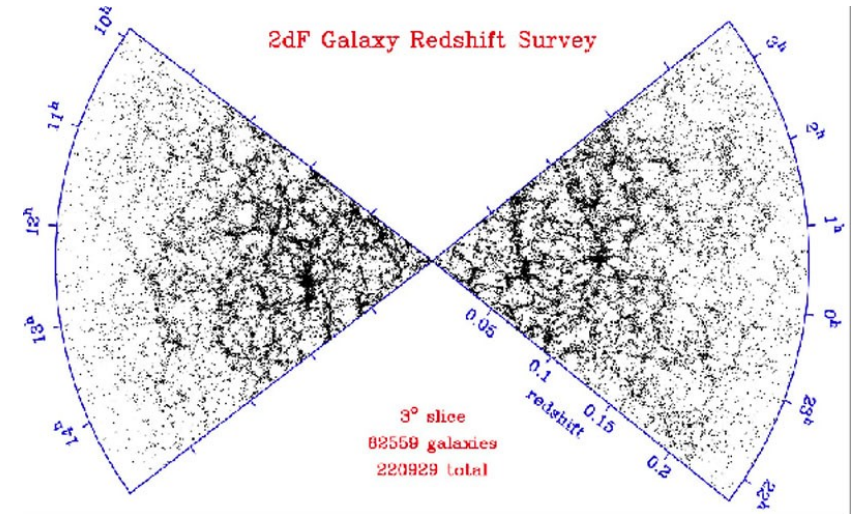
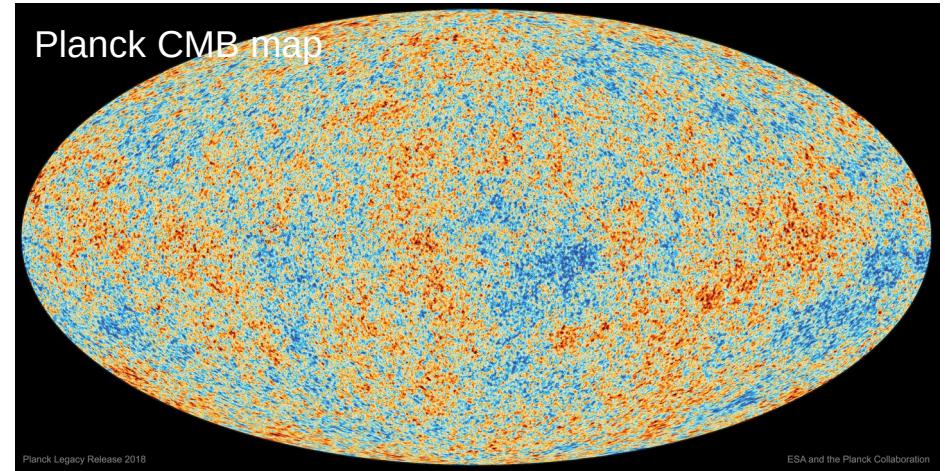


Preguntas relevantes

- Como se formaron las galáxias?
- Cual la conexión entre la formación de las galáxias y del Universo?
- **Que historia nos cuentan las estrellas de una galáxia sobre su evolución?**

Universo en expansión acelerada

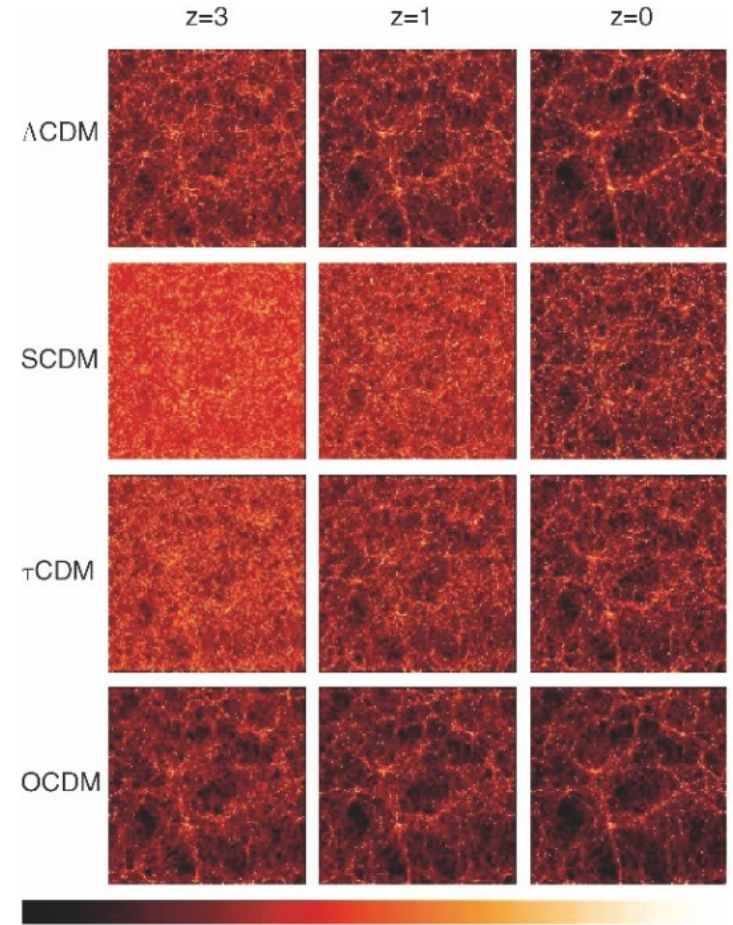
- Universo primitivo: denso, gasoso y caliente
- Universo atual: esparso, com galáxias/estrellas, frio.
- Galáxias: han evolucionado desde pequenas perturbaciones primitivas via inestabilidad gravitacional.



Identificando los principales componentes del Universo

- Simulaciones: podemos reproducir el proceso de formación de estructuras → constituyentes del Universo
- Materia: 30% de la energía total; Energía oscura (Λ): 70% restante.
- Radiación EM: contribución muy pequeña.

Extragalactic Astronomy & Cosmology, P. Schneider



Matéria bariónica

- 15% de la matéria en Universo → gas, polvo, estrellas, etc → matéria bariónica (4% del total de energía).
- Matéria oscura: ~85% de la matéria
- Procesos bariônicos: colapso gravitacional, disipación de energía, fragmentación → estrellas.
- Estrellas son portanto un componente pequeño del censo del Universo.
 - rastreadores de la estrutura de las galáxias;
 - responsables por la evolución química.

Simulaciones em escalas de una galáxia

- Ilustris simulation:
https://www.youtube.com/watch?v=O674AZ_UKZk
- Vemos los componentes de matéria oscura, gás e estrelas.
- Vemos un proceso jerárquico, en que estruturas menores (como galáxias enanas) se unen para formar la galáxia masiva.

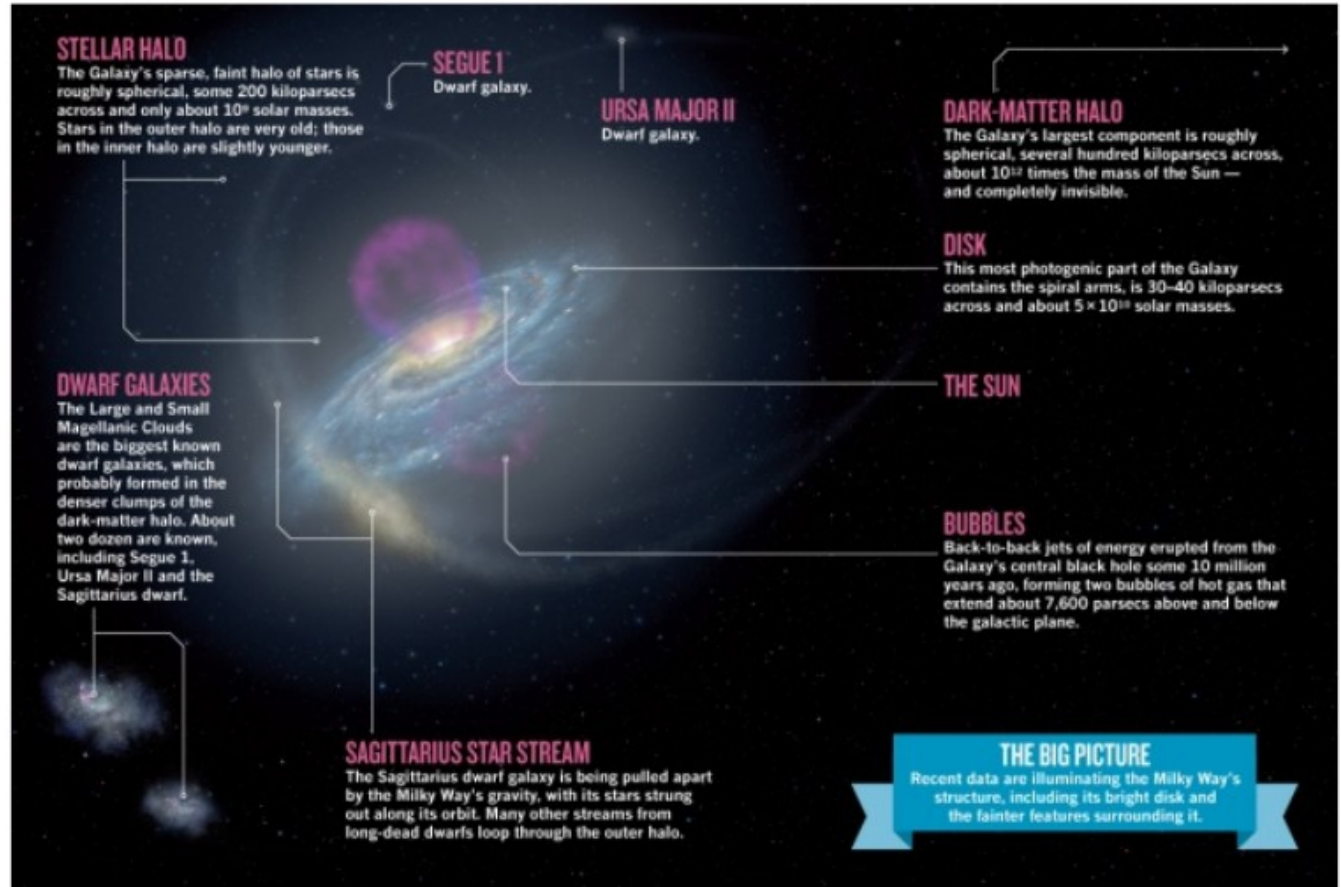
Proceso jerárquico

→ Mucha subestructura en el halo Galáctico

→ grande población de galáxias enanas muy débiles

→ cúmulos estelares en el halo estelar.

→ corrientes estelares → fósiles del proceso de fusión.



Galáxias enanas Satélites de la VL Ejemplos

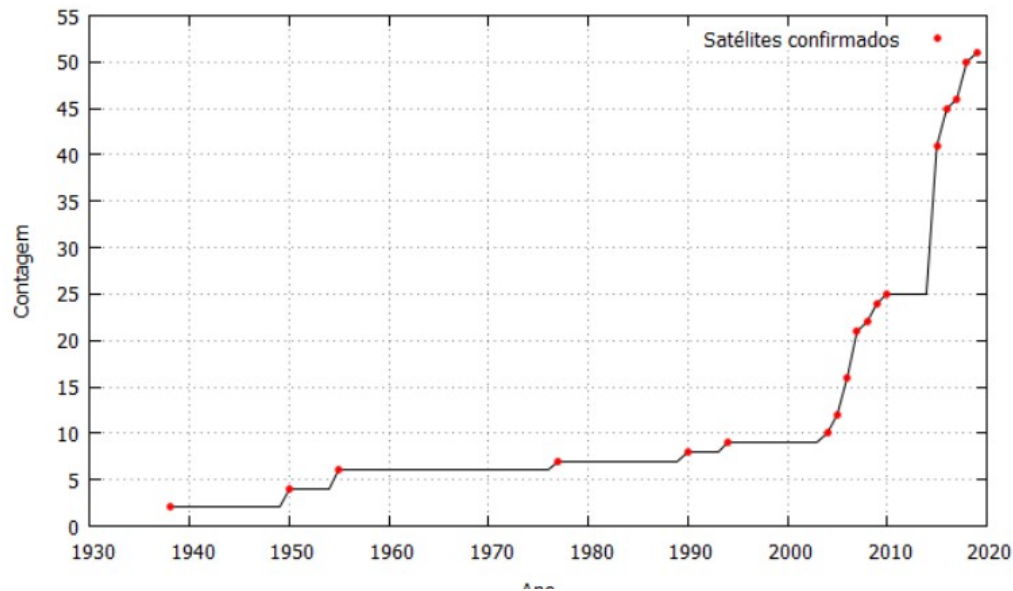
Enorme amplitud de masas estelares;

Masas totales obtenidas por modelamiento cinemático interno;

La mayor parte son enanas esferoidales de muy baja luminosidad;



Mucho sendo descoberto...



Digging deeper into the Southern skies: a compact Milky Way companion discovered in first-year Dark Energy Survey data

Show affiliations Show all authors

Luque, E. ; Queiroz, A. ; Santiago, B. ; Pieres, A. ; Balbinot, E. ; Bechtol, K. ; Drlica-Wagner, A. ; Neto, A. Fausti ; da Costa, L. N. ; Maia, M. A. G. ; Yanny, B. ; Abbott, T. ; Allam, S. ; Benoit-Lévy, A. ; Bertin, E.  ; Brooks, D. ; Buckley-Geer, E. ; Burke, D. L. ; Rosell, A. Camero  ; Kind, M. Carrasco  ; ...

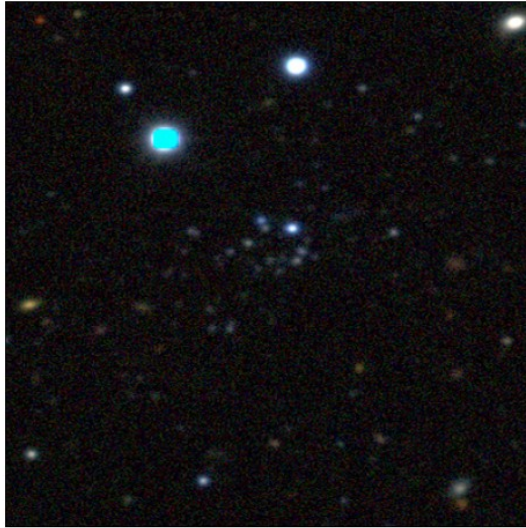
We use the first-year Dark Energy Survey (DES) data down to previously unprobed photometric depths to search for stellar systems in the Galactic halo, therefore complementing the previous analysis of the same data carried out by our group earlier this year. Our search is based on a matched filter algorithm that produces stellar density maps consistent with stellar population models of various ages, metallicities, and distances over the survey area. The most conspicuous density peaks in these maps have been identified automatically and ranked according to their significance and recurrence for different input models. We report the discovery of one additional stellar system besides those previously found by several authors using the same first-year DES data. The object is compact, and consistent with being dominated by an old and metal-poor population. DES 1 is found at high significance and appears in the DES images as a compact concentration of faint blue point sources. Assuming different spatial profile parameterizations, the best-fitting heliocentric distance and total absolute magnitude in the range of 77.6-87.1 kpc and $-3.00 \lesssim M_V \lesssim -2.21$, respectively. The half-light radius of this object, $r_h \sim 10$ pc and total luminosity are consistent with it being a low-mass halo cluster. It is also found to have a very elongated shape ($\epsilon \sim 0.57$). In addition, our deeper probe of DES first-year data confirms the recently reported satellite galaxy candidate Horologium II as a significant stellar overdensity. We also infer its structural properties and compare them to those reported in the literature.

Razera 2020

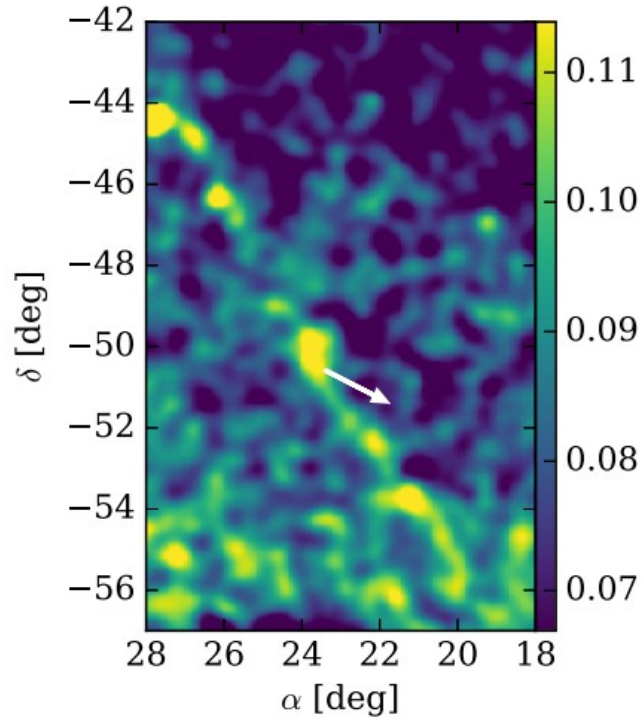
Cúmulos, nubes y corrientes estelares

Name	α_0	δ_0	Rank	Peak ^a significance
Ret II	53.92	-54.05	1.0	38.9
Eri II	56.09	-43.53	1.0	46.0
Tuc II	343.06	-58.57	1.0	9.1
Hor I	43.87	-54.11	1.0	24.1
Kim 2	317.20	-51.16	1.0	11.3
Pic I	70.95	-50.28	1.0	12.0
Phe II	354.99	-54.41	1.0	11.3
Eri III	35.69	-54.28	5.0	16.1
Hor II	49.12	-50.01	2.0	7.7
DES 1	8.50	-49.04	4.0	11.6

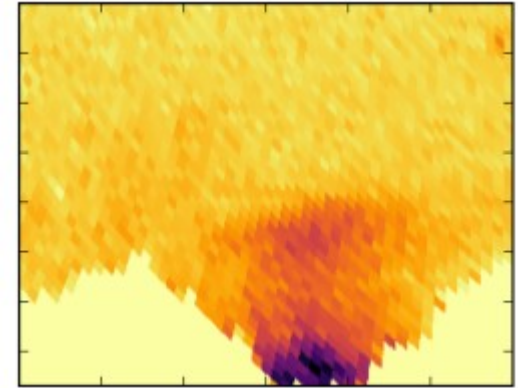
^aAdopting a circular symmetry.



Luque et al 2016;
DES 1



Balbinot et al 2016;
Phoenix stream



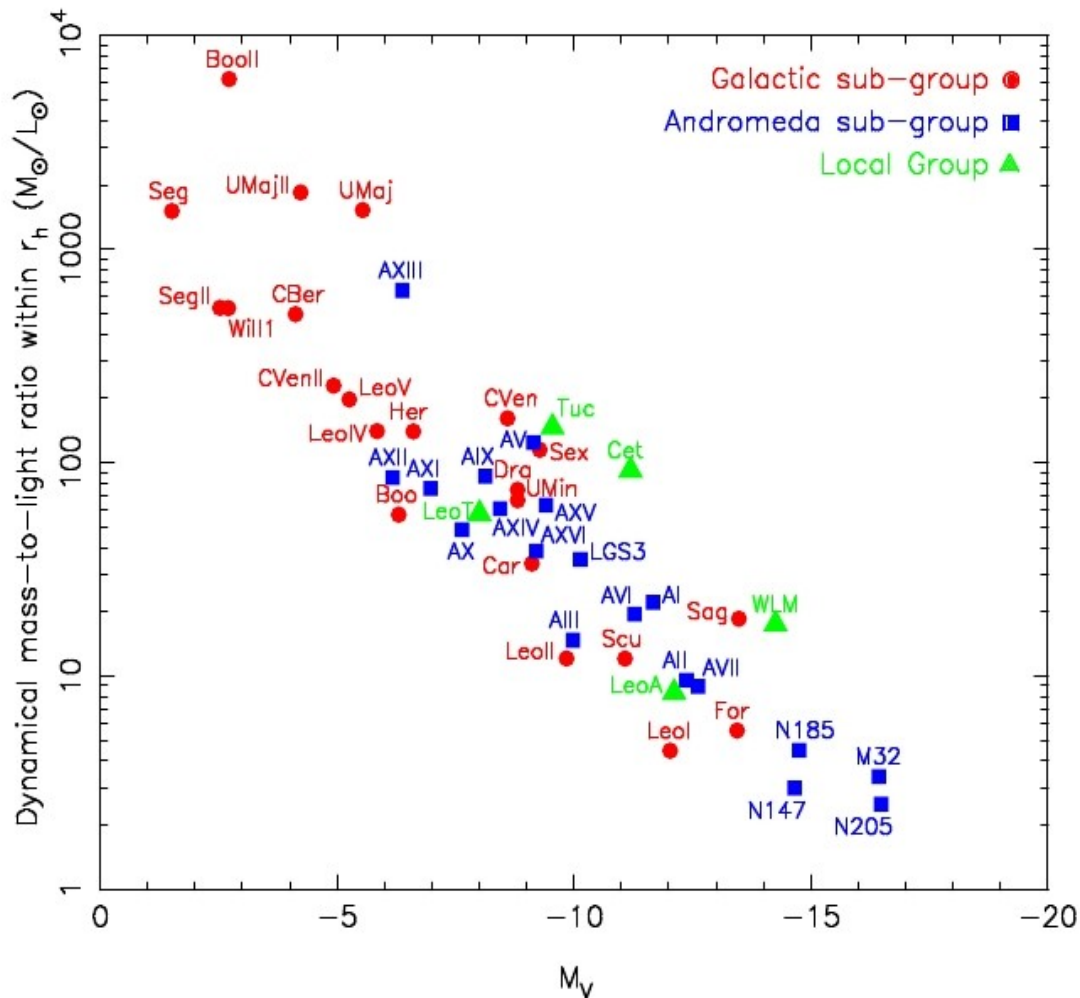
Pieres et al
2017; SMC
stellar cloud.

Galáxias enanas ultra débiles

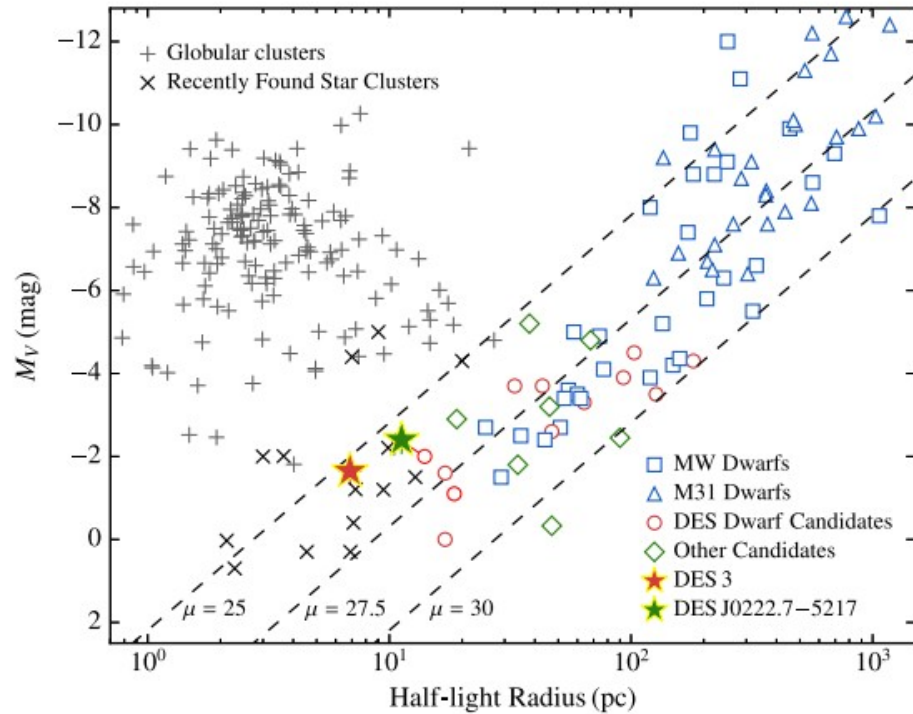
- Muy ricas en matéria oscura
- Pocas cuando comparadas a las expectativas de modelos de formación de estructuras.
- Perfiles de densidade menos inclinados do que esperado.



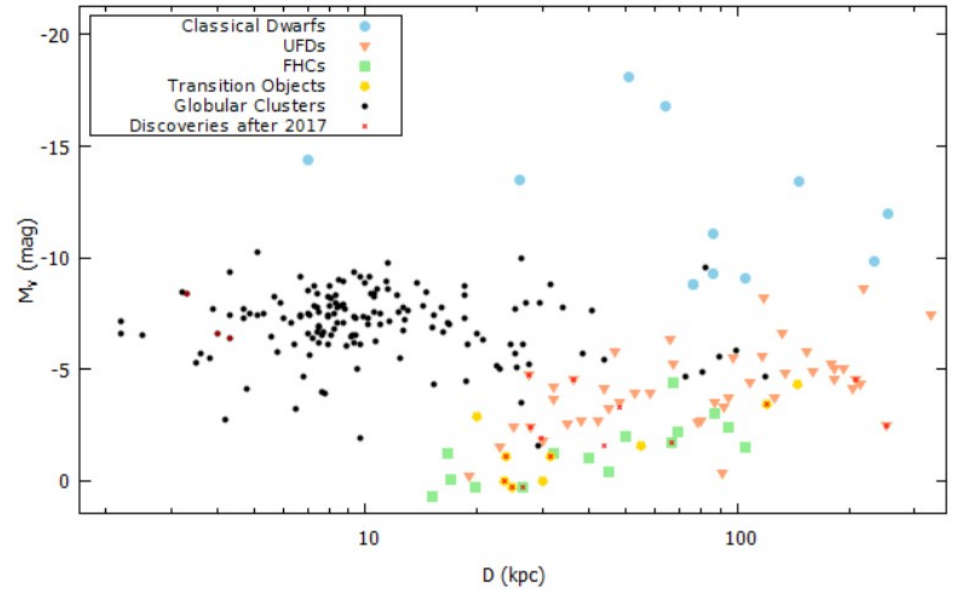
Informaciones sobre la naturaleza de la matéria oscura.



Aun hay mucho por descubrir!



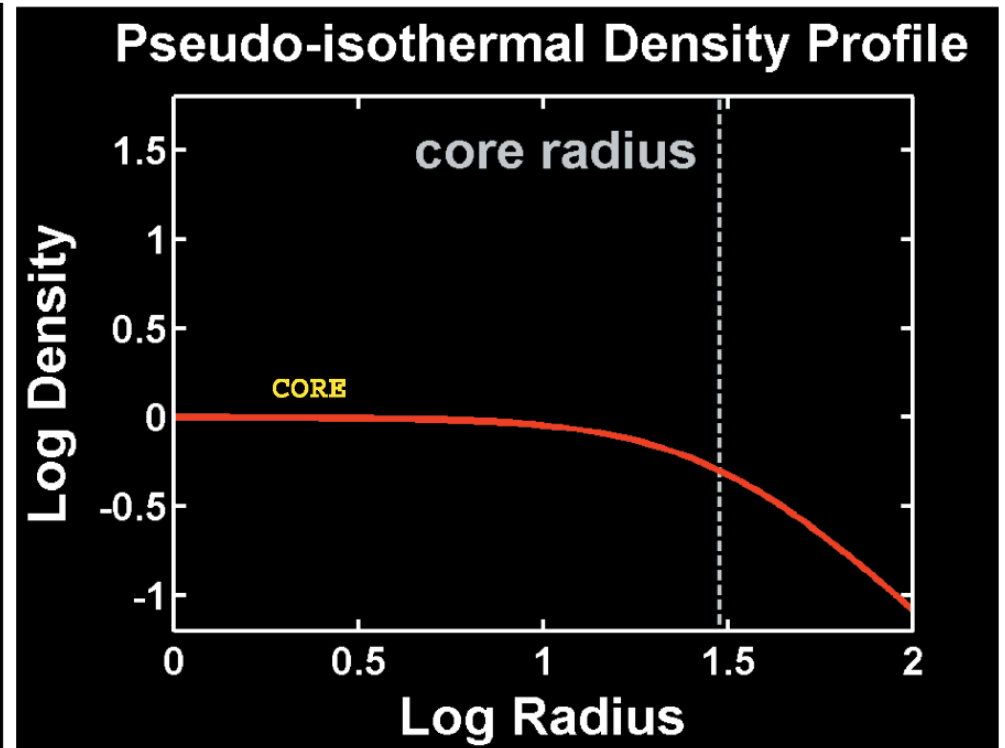
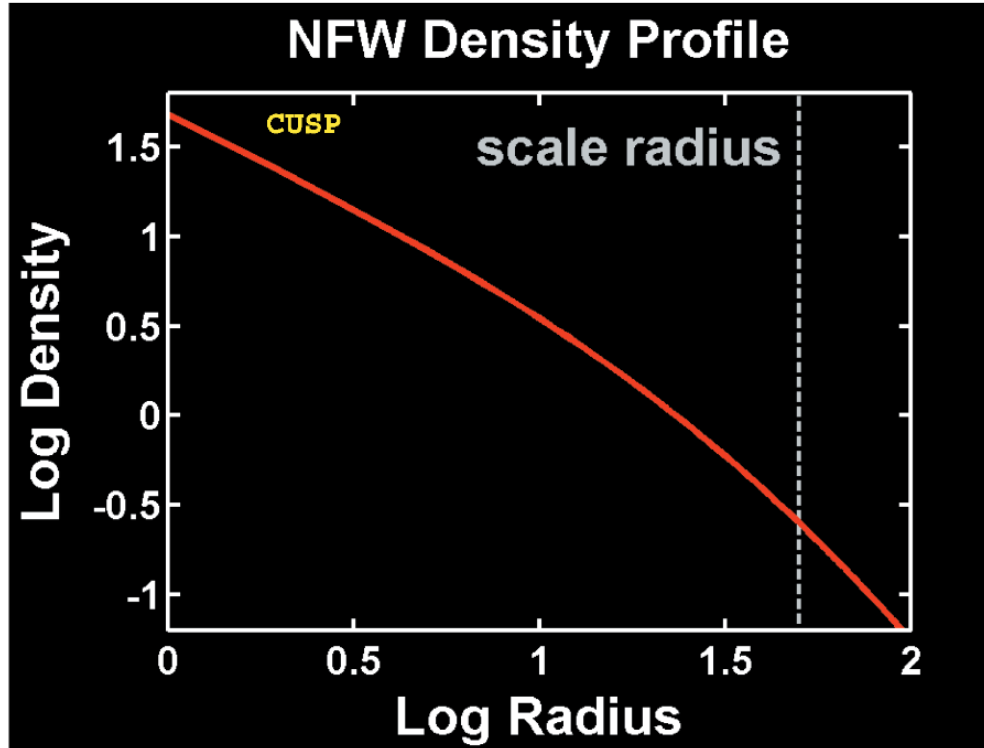
Luque et al 2018



Razera 2020

Censo completo es importante para confrontar con los escenarios de formación de galáxias como la nuestra.

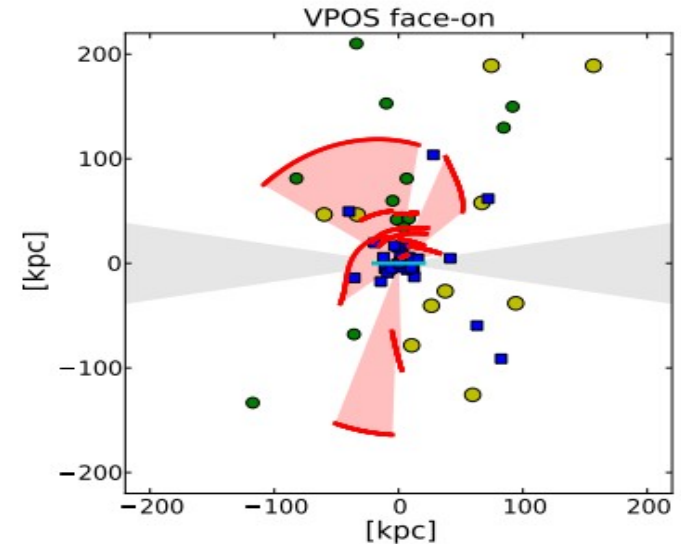
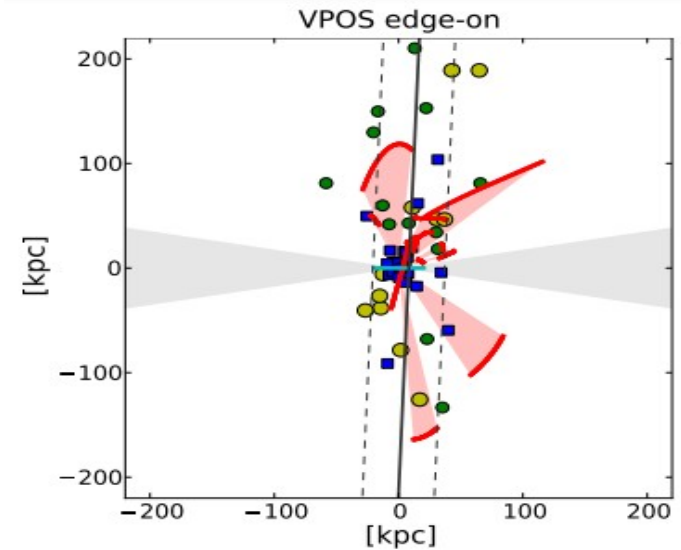
Cusp-core problem



Estructuras planares

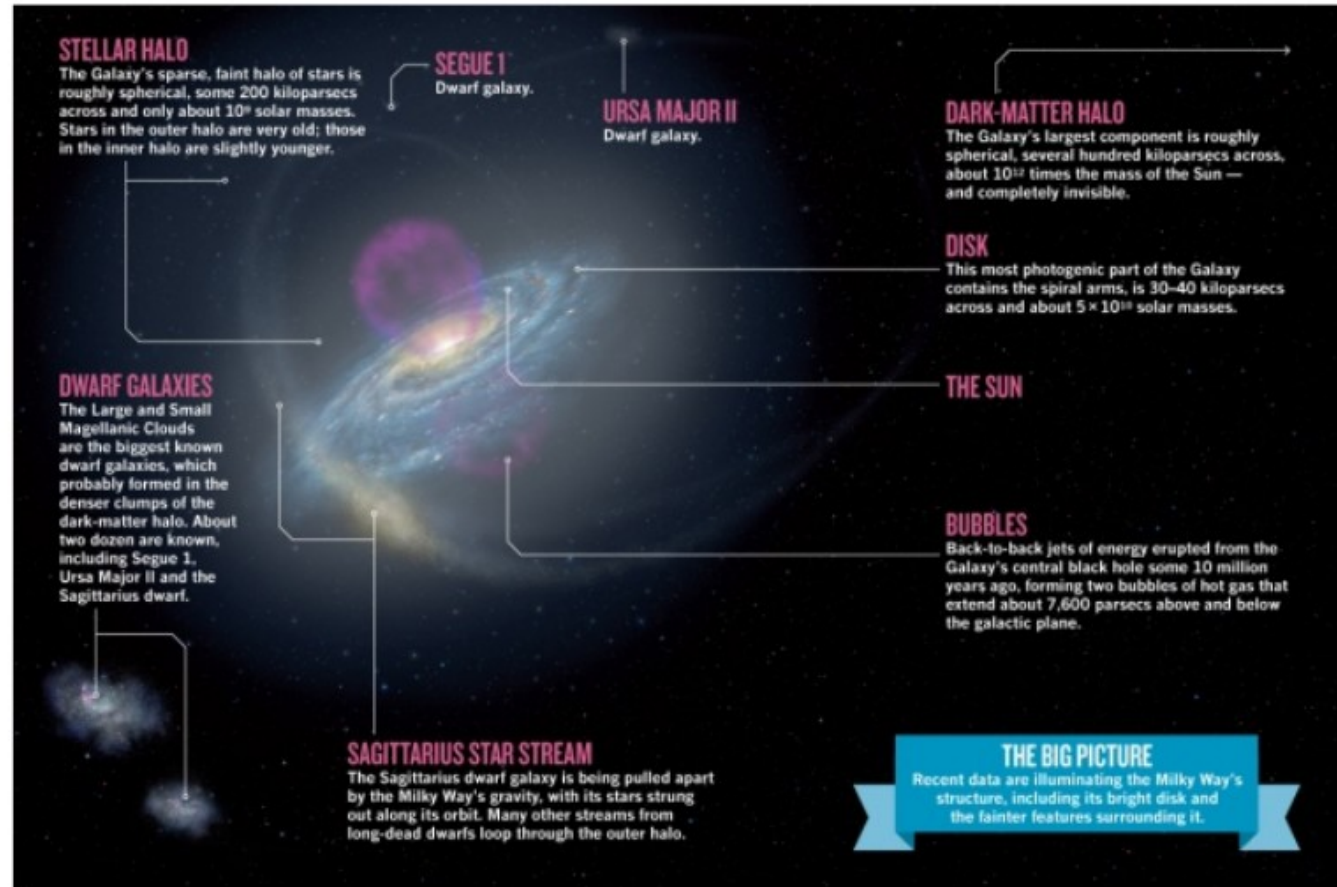
- Satélites, cumulos estelares y corrientes estelares concentranse en un plano.
- Presente en nuestra Galaxia y también en M31
- No son previstas em un escenario de formación de galáxias.

Pawlowski et al
2012



Componentes estelares Galacticos

- Como se formaram las componentes principales de una galáxia: disco(s), bulbo e halo?



Perfiles de densidad y velocidad de estrellas

- Disco fino y espeso: perfiles exponenciales en R y z ; movimientos de rotación
- Halo: perfil de ley de potencias con quebra; sin rotación, órbitas variadas
- Bulto central: conviven un esferoide y una barra; poca rotación

Las química de las poblaciones estelares

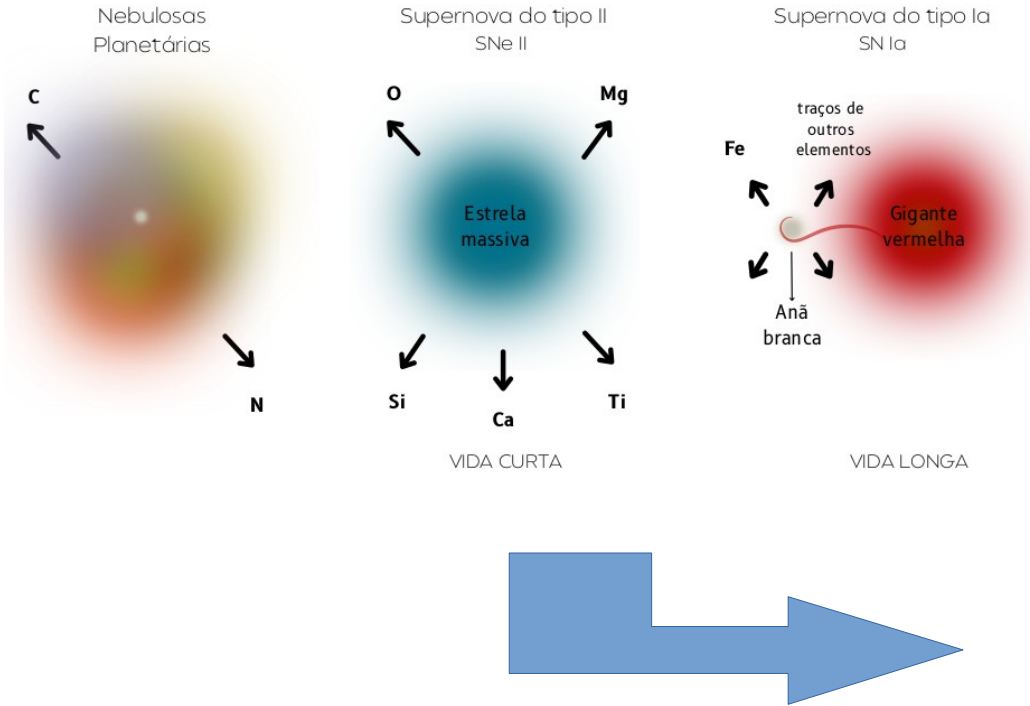
- Química del universo primordial: H, He (nucleosíntesis primordial)
- Interiores estelares producen otros elementos por fusión y devuelven parte dellos para el medio interestelar
- Sucesión de generaciones de estrellas → más núcleos pesados → enriquecimiento químico

Elementos químicos

ORIGINS OF THE ELEMENTS

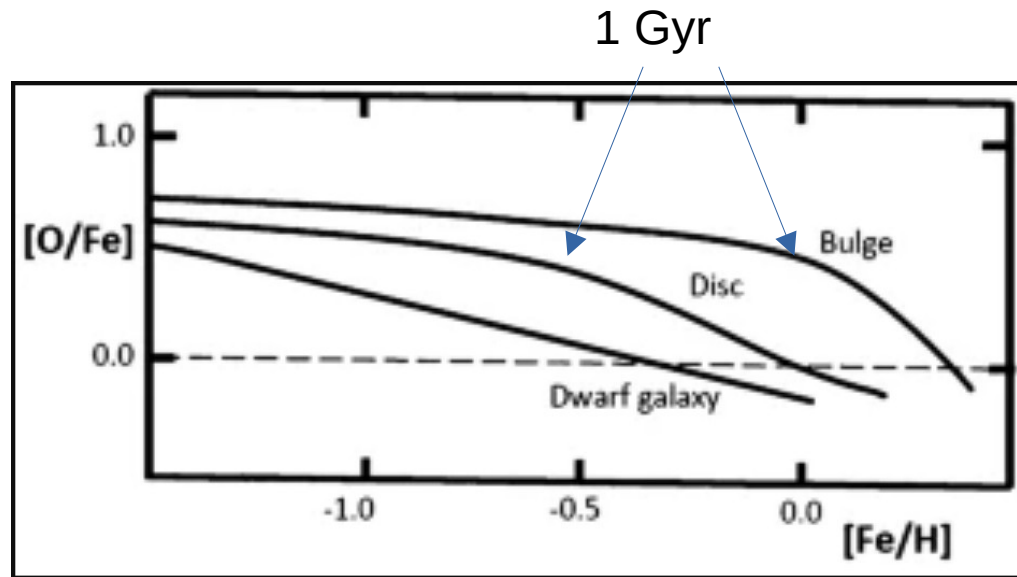


Diagnóstico químico de poblaciones



Estrelas masivas → SN II (10^7 anos)

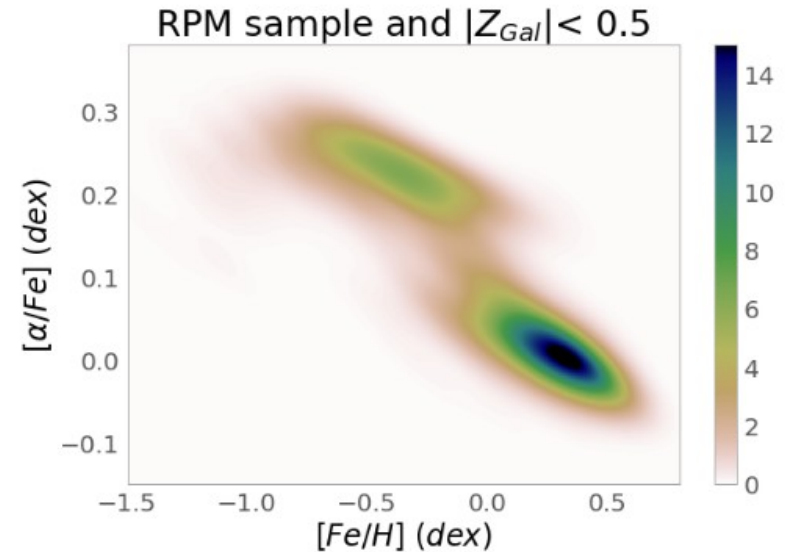
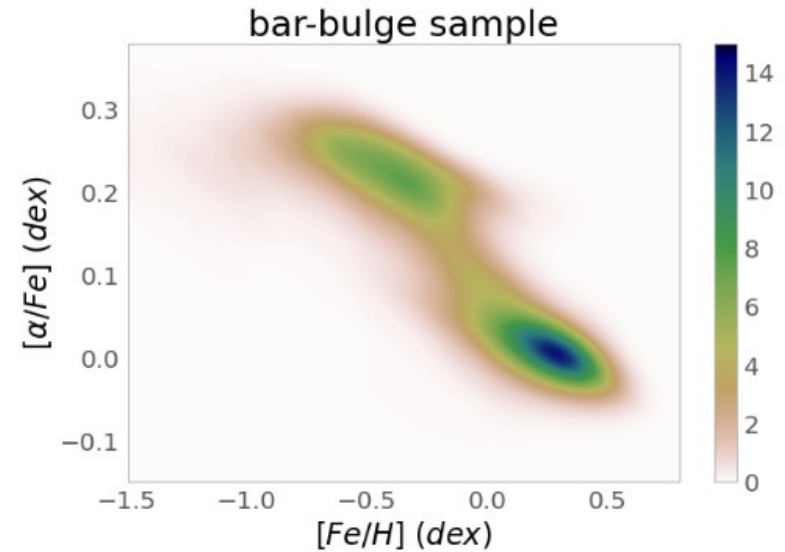
Binárias de contato → SN Ia (10^9 anos)



Las regiones centrales de la Galáxia

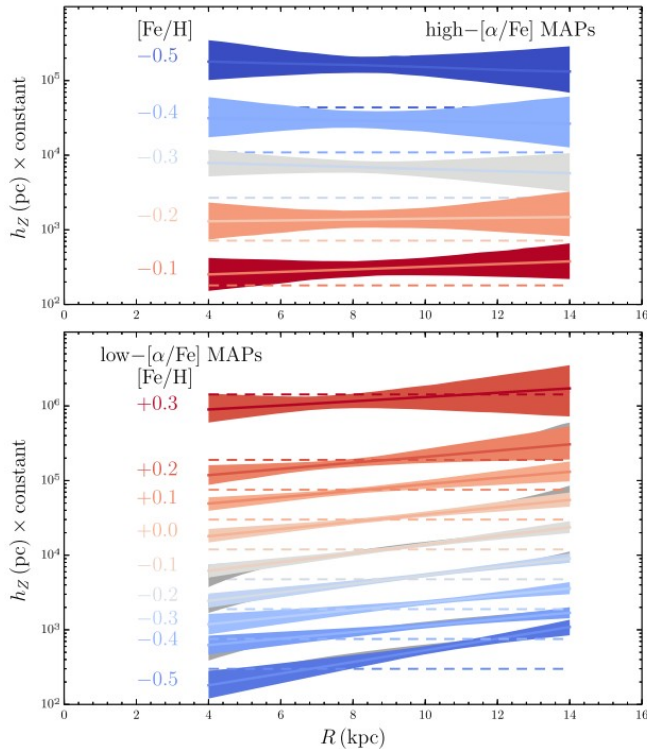
- Muy difícil de estudiar debido a la extinción en el óptico
- Encuesta APOGEE: espectros de alta resolución en el infra-rojo próximo.
- Mezcla de poblaciones: bulbo, barra, disco interno...
- Posible lacuna en la formación de estrellas

Queiroz et al 2021



Distribuição espacial de los discos

Formación de dentro para fuera

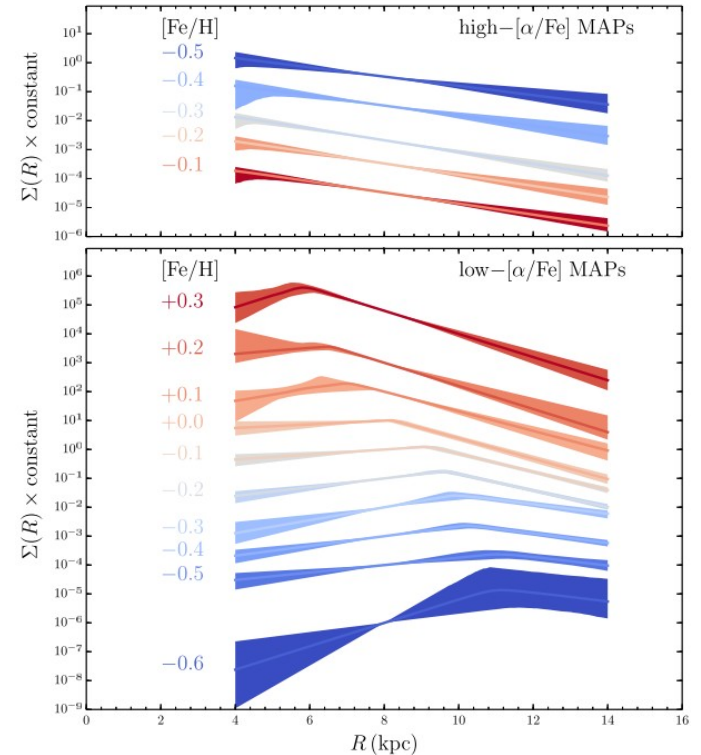


MAP: mono-abundance populations;

Alto $[\alpha/\text{Fe}]$: disco espeso químico, más homogêneo: $h_z \approx 1$ kpc; $hR \approx 2.5$ kpc

Bajo $[\alpha/\text{Fe}]$: disco fino químico: h_z creciente com R ; dupla ley de potencias em R .

Estrutura vertical; Bovy et al 2016.

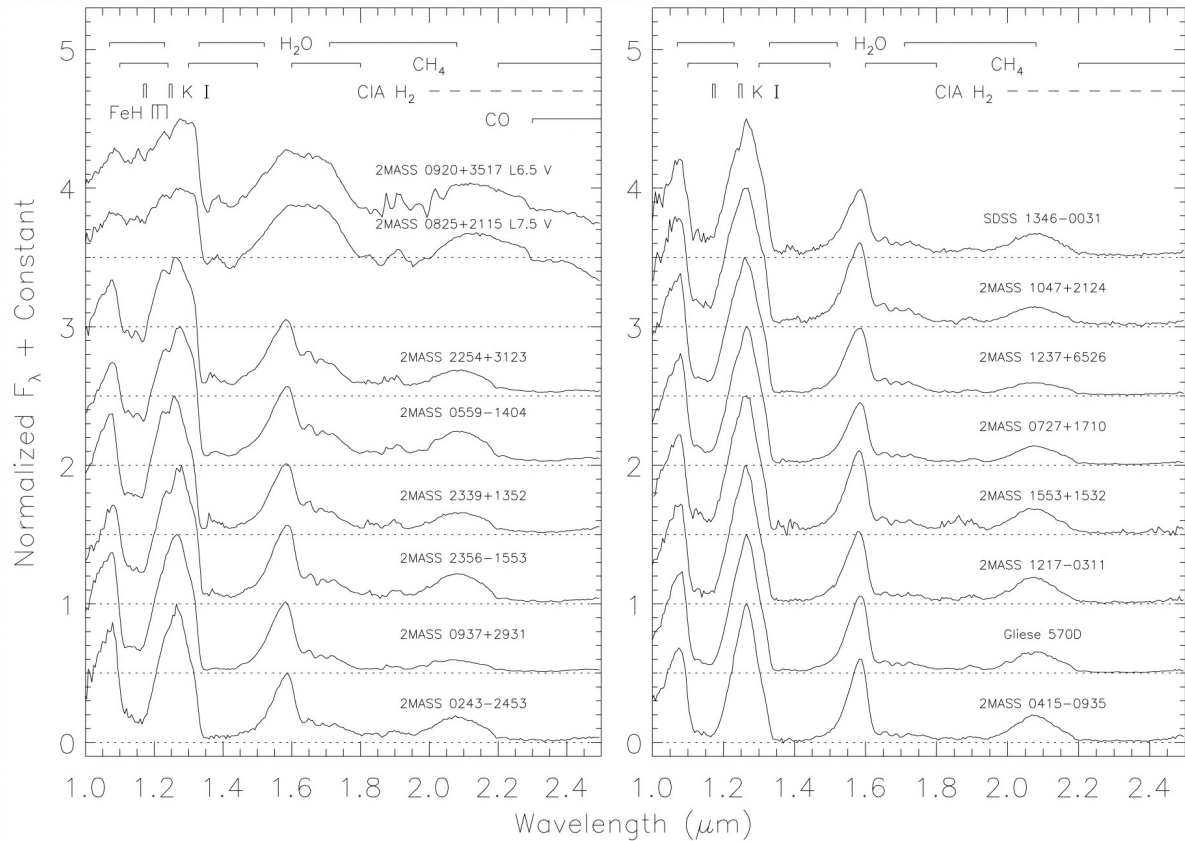
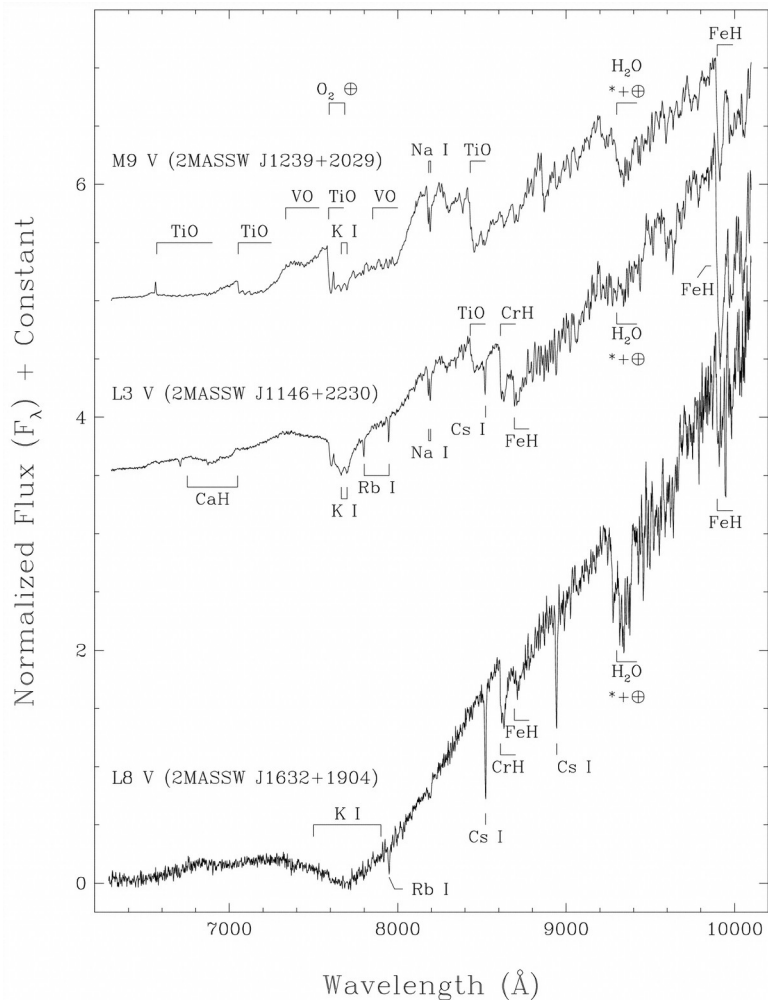


Estrutura horizontal; Bovy et al 2016.

Enanas ultra-frias (UCDs)

- Tipo espectral $> M7$, L, T, Y; $T_{\text{eff}} < 2700\text{K}$
- Estrelas de muy baja masa (VLMS; $m \simeq 0.1m_{\odot}$) o enanas marrones (BDs; $m \lesssim 0.08m_{\odot}$)
- Muy baja luminosidades $< 10^{-3} L_{\odot}$; *muy rojas*: pico de emisión de luz en el NIR.
- Comumente detectadas por sus cores óptico-NIR extremas.

Espectros de UCDs

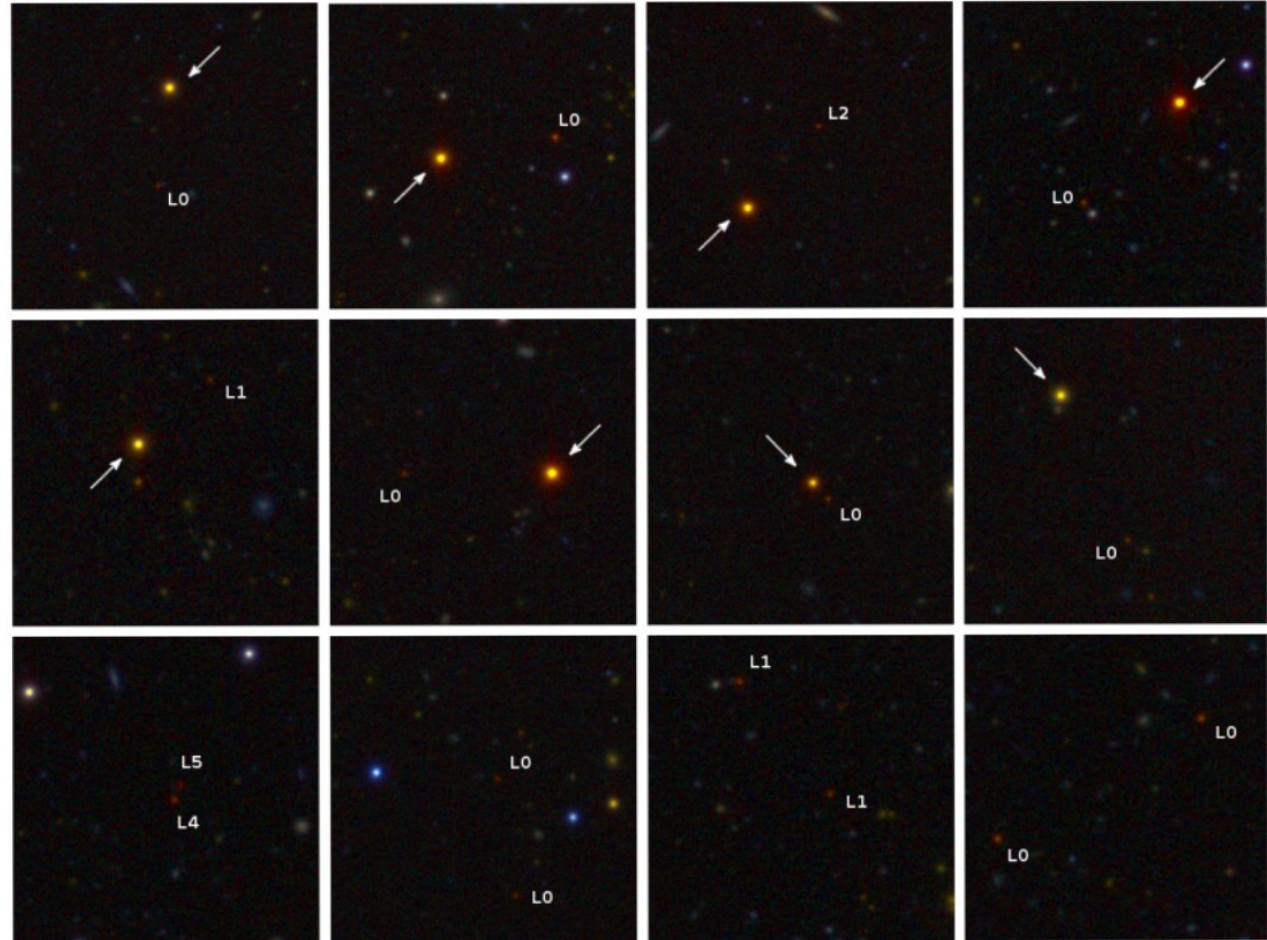


Espectros ópticos de enanas M tardías y L (Kirkpatrick et al 1999); Espectros NIR de enanas L y T (Burgasser et al 2002).

Escenarios de formación de UCDs

LT dwarfs benchmark wide binaries from the Dark Energy Survey DR1 and Gaia DR2 data 7

- Mecanismos específicos para las UCDs: interrupción de acreción de materia: colisiones, mareas, radiación ionizante, eyección (Luhman et al 2012 y refs.). → distribución cinemática, espacial, frecuencia de binarias



UCDs - Dark Energy Survey (DES)

- Carnero-Rossel et al. (2019): Muestra de enanas L y T de DES-Y3 (+VHS+WISE) → 11745 objetos ($z \leq 22$) con photo-type y estimativas de distância; escala exponencial perpendicular del disco Galactico $h_z \sim 450$ pc
- Dal Ponte et al. (2020): 264 binarias resolvidas+ 6 sistemas múltiples con UCDs. DES-Y3 + Gaia DR2+PMs Gaia, CatWISE.
- Dal Ponte et al. (2022): Muestra de UCDs de DES-Y6. ~20k enanas L e T, identificación de binarias y miembros de grupos cinematicos.

Observatorio Vera Rubin

- Refletor de $D = 8.4\text{m}$, ubicado em Cerro Pachón, Chile.
- 3 espejos curvos; design modificado de Paul-Baker e Marsenne-Schmidt.

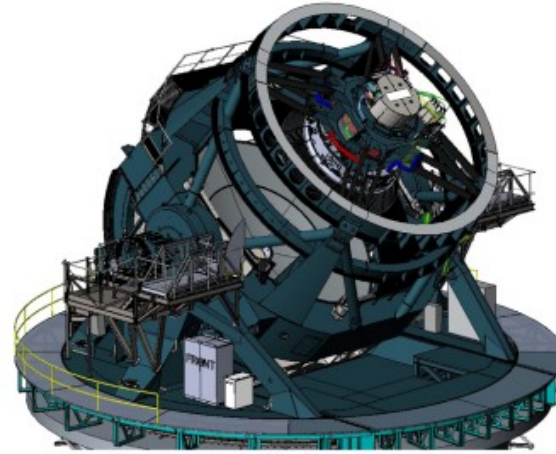


Figure 10. Baseline design for the LSST telescope. The small focal ratio allows for a very squat telescope, and thus a very stiff structure.

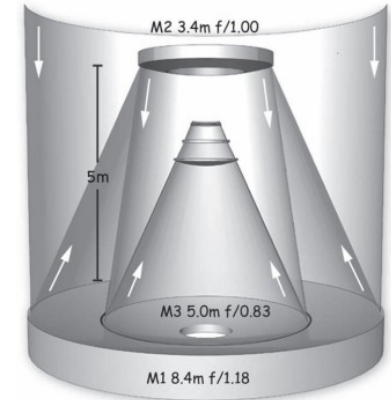


Figure 7. LSST baseline optical design (modified three-mirror Paul-Baker) with its unique monolithic mirror: the primary and tertiary mirrors are positioned such that they form a continuous compound surface, allowing them to be polished from a single substrate.

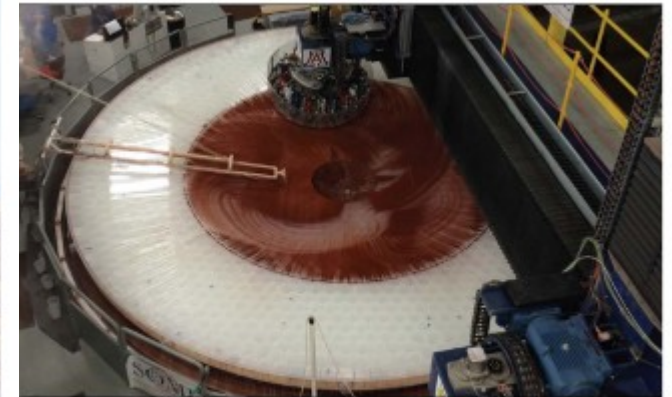
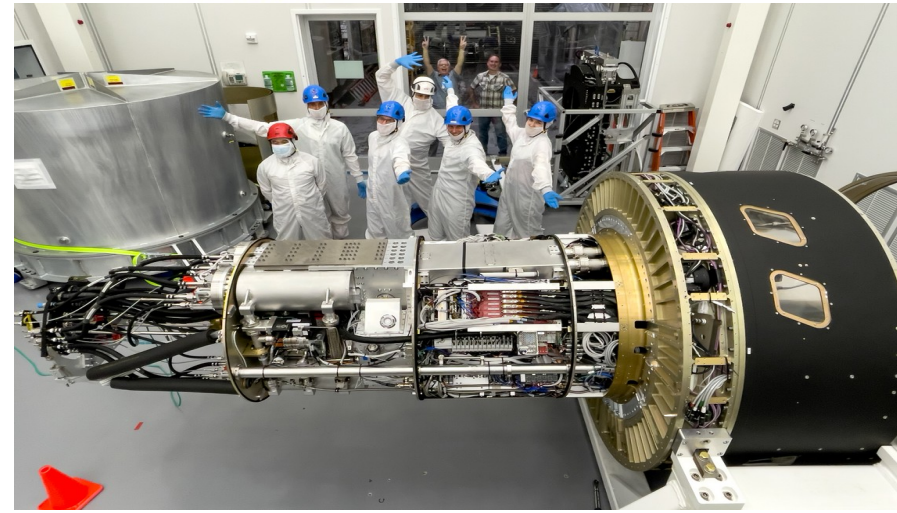
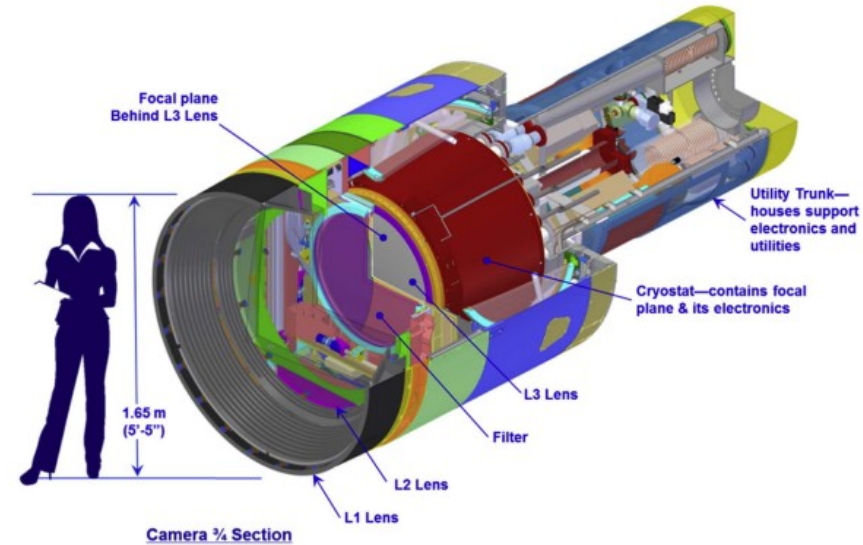


Figure 8. The polishing of the primary-tertiary mirror pair at the Richard F. Iris Mirror Lab at the University of Arizona in Tucson.

Observatorio Vera Rubin

- Camera digital de 3.2 Gpixels
→ cobre 9.6 grados² em el cielo
→ massa de 3 toneladas
- Camera contiene 201 CCDs de 4k x 4k pixels



Legacy Survey of Space and Time (LSST)

- Duración prevista de 10 años (2024-2034)
- 2×10^9 galaxias; 1.7×10^9 estrellas; 10^7 objetos del Sistema Solar
- Cobertura angular de 18000 grados²
- Media de 1 visita / 5 días $\rightarrow 10^7$ alertas de variabilidad diarios.

Filtro	Limite 1 expo (mag)	Limite final (mag)
u	23.9	26.1
g	25.0	27.4
r	24.7	27.5
i	24.0	26.8
z	23.3	26.1
Y	22.1	24.9

LSST – ciencia de *Big Data*

- Exposiciones típicas tendrán ~3Gb
- 20 Tb / noche
- Total de 15Pb de datos científicos al final

Motivaciones científicas

- Mejor comprender lo que son la materia y la energía oscuras;
- Sondar el universo óptico variable;
- Cartografía en detalle de la Galaxia y sus poblaciones estelares (galaxias enanas, cúmulos/corrientes estelares y UCDs!);
- Inventario del Sistema Solar.

Incremental gain in M_V and SB space

LSST – DES Y5

	ΔM_V	$\Delta M_V @ R_{hl} = 100\text{pc}$
Distance range (kpc)		
79-126	1.0	1.0
126-200	1.5	1.5
200-316	2.5	2.5
316-501	2.5	2.5

DES Y5 MS
out

Resumen

- Evolución de galáxias está conectada a la evolución de sus estrellas.
- Escenarios reproducen muchas, pero no todas, las observaciones: # de satélites, anisotropía en la distribución de satélites, perfiles de densidad
- Astroquímica se ha tornado una herramienta fundamental para comprender en detalles la evolución de la MW
- LSST → Límites observacionales y físicos de nuestra Galaxia