

# RES NO ÉS ETERN

## VIDA I MORT DE LA NOSTRA GALÀXIA

Enric Marco

En una nit tranquil·la, sense núvols ni Lluna i, sobretot, lluny de la contaminació lumínica de la ciutat, la bellesa del firmament ens fascina. Per això, ja des de l'antiguitat, l'ésser humà pensà que aquest havia de ser obra dels déus i associà les constel·lacions als seus mites.

La franja blanquinosa que creua el cel havia de tindre un origen mític, pensaren. Zeus havia jagut amb la mortal Alcmena mentre el seu marit Amfitrió era absent. El fruit d'aquesta infidelitat, Hèracles (més conegut com Hèrcules), va ser el seu fill preferit a desgrat d'Hera, la seua esposa. Però només podia esdevenir immortal si mamava dels pits de la deessa. Així doncs, Hermes, per encàrrec de Zeus, aprofità que Hera dormia per deixar Hèrcules al seu costat. Hera es despertà sobresaltada en veure'l mamant i l'apartà violentament. Tanmateix la llet que ja eixia s'escampà des de l'Olimp per tot el firmament. Així nasqué mitològicament la Via Làctia, o camí de la llet d'Hera, que ha fascinat i intrigat tant els poetes com els astrònoms al llarg dels segles.

Una observació acurada de la Via Làctia permet veure-hi zones brillants, descomponibles en estels, que s'alternen amb d'altres de fosques que són nebuloses de gas i pols, com ara el Sac de Carbó. En llocs sense contaminació lumínica també podem distingir cúmuls estel·lars a ull nu, mentre que des de l'hemisferi sud hi destaquen dues nebuloses brillants separades de la Via Làctia: el Petit i el Gran Núvol de Magallanes.

Galileo Galilei observà per primera vegada la Via Làctia amb un telescopi a finals del 1609 i començament del 1610. Veíem com el fons blanquinós es resolía en milers d'estels. Però van ser Immanuel Kant i Thomas Wright al segle XVIII els qui proposaren que era realment un disc d'estels, del qual el Sistema Solar només n'era un component. William Herschel, el 1780, i Jacobus C.

Kapteyn, el 1922, feren els primers mapes de la galàxia després de comptar els estels de moltes regions del cel.

La investigació sobre la Via Làctia no avançà gaire fins que no es trobà un mètode fiable per estimar les distàncies. El descobriment de la relació període-lluminositat dels estels cefeides, l'any 1912, aconseguit per Henrietta Swan Leavitt, del Harvard College Observatory, permeté conèixer, finalment, la profunditat de la galàxia. L'astrònoma trobà en el Petit Núvol de Magallanes una correlació entre el període de variació

de la lluminositat d'aquests estels i la seua lluminositat intrínseca. La llum de les variables cefeides fluctua en períodes més llargs com més brillants són. Si sabem el que brilla una cefeida vista des de la Terra i coneixem la seua brillantor real a partir de la mesura del seu període serem capaços de calcular la seua distància.

Tanmateix, quedava un gran dubte: la Via Làctia és tot l'univers o és només una galàxia d'un conjunt enorme de galàxies? Harlow Shapley, que havia desplaçat el Sol als afores de la galàxia després d'observar multitud de cefeides per tot el cel, pensava en una única gran galàxia, mentre que Heber Curtis sostenia que la Via

Làctia era una d'entre tantes. L'any 1920 s'arribà a fer un gran debat públic per argumentar les dues posicions. Poc temps després Edwin Hubble observà cefeides en la nebulosa d'Andròmeda i n'obtingué la distància. Aquesta era tan gran que s'hagué de concloure que moltes de les nebuloses visibles eren altres galàxies ben llunyanes.

**«LA INVESTIGACIÓ  
SOBRE LA VIA LÀCTIA  
NO AVANÇÀ GAIRE FINS  
QUE NO ES TROBÀ UN  
MÈTODE FIABLE PER  
ESTIMAR LES DISTÀNCIES.  
EL DESCOBRIMENT DE  
LA RELACIÓ PERÍODE-  
LLUMINOSITAT DELS  
ESTELS CEFEIDES PERMETÉ  
CONÈIXER, FINALMENT,  
LA PROFUNDITAT DE LA  
GALÀXIA»**

### ■ ESTRUCTURA ESPIRAL

Des de la Terra, la Via Làctia se'ns presenta plana i allargassada perquè té forma de disc. De fet la forma és molt similar a d'altres galàxies i això s'ha pogut

A l'esquerra, la Via Làctia des de Pinar de Araceli, a la Puebla de Don Fabrique (Granada). S'hi observa Júpiter a l'esquerra.

comprovar a partir de les dades en infraroig del satèl·lit COBE, i amb observacions en ràdio, per exemple. La nostra estrella es troba ben apartada, a uns 26.000 anys llum del centre galàctic.

El disc galàctic és molt prim, ja que té 100.000 anys llum de diàmetre i només 1000 de gruix. Compost fonamentalment per gas hidrogen, pols i estels joves, s'estructura en un conjunt de quatre braços espirals que, en forma de perfecta espiral logarítmica, es troben al voltant del centre galàctic. En aquests la densitat del gas i de la pols és major que la mitjana, cosa que afavoreix la formació estel·lar. Tanmateix, recentment s'han trobat indicis que realment només hi ha dos braços.

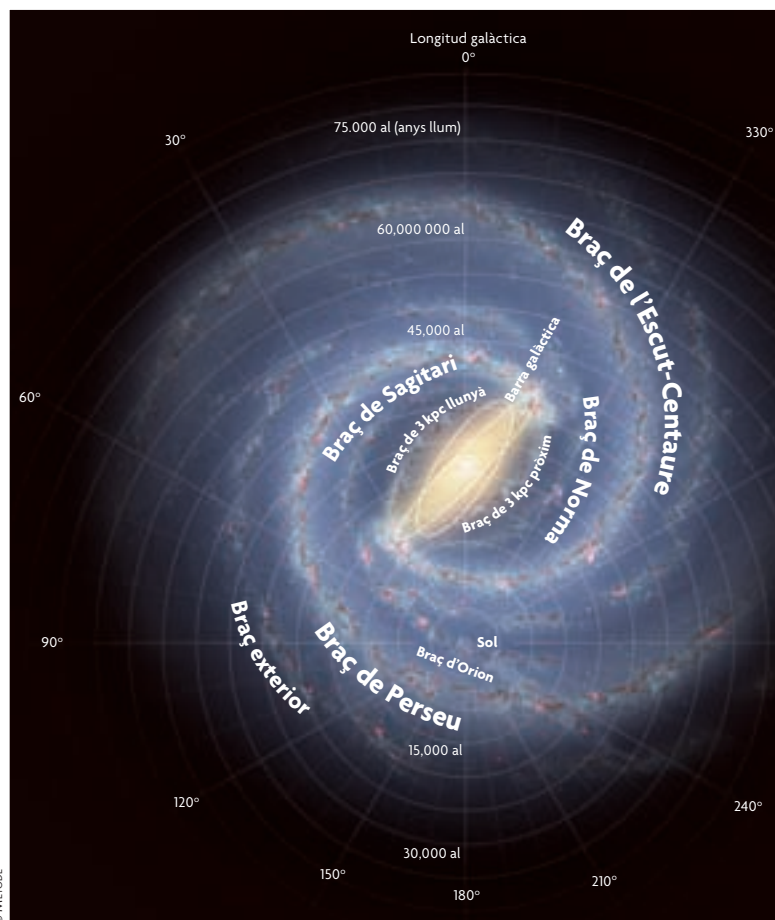
L'any 1996 es proposà que l'estructura galàctica central d'on s'enganxen els braços no és esfèrica, com es pensava fins llavors, sinó que té forma de barra, com s'observa en altres galàxies. Aquestes sospites es confirmaren l'any 2005 amb les observacions en l'infraroig del telescopi espacial Spitzer.

Segons la teoria més acceptada sembla que els braços espirals són una il·lusió i que no representen cap estructura mòbil. Si ho fóra, com que la velocitat de rotació de la galàxia és diferencial, és a dir, major prop del centre i progressivament menor a les regions exteriors, després d'unes poques rotacions els braços es corbarien i s'enrotllarien cada vegada més fins desaparèixer. Això, però, no s'hi observa. Les teories modernes més aviat veuen els braços com ones de densitat. Tot el material galàctic del disc va girant, però es frena i es concentra en algunes zones de la mateixa manera que els cotxes es mouen ràpid i frenen en un embús. En aquest disc, doncs, el Sol travessa els braços i es mou en una òrbita el·líptica d'uns 240 milions d'anys de durada, amb perturbacions causades per les distribucions de massa canviants. Aquest fet ha portat a especular sobre la seua influència en els canvis climàtics a la Terra i les extincions en massa d'espècies.

A la fi del 2013 serà llançada la missió Gaia de l'ESA per censar mil milions d'estels de la nostra galàxia, un 1% del total, i determinar amb precisió la seua magnitud, posició, distància i desplaçament. Després dels cinc anys de la missió tindrem, segur, una nova i més exacta visió del disc.

Contràriament al disc, el centre galàctic o bulb té una estructura esferoïdal d'uns 10.000 anys llum de diàmetre. És una zona molt rica d'estels, d'edats distintes, des d'estels joves de 200 milions d'anys fins a estels vells de més de 7.000 milions d'anys.

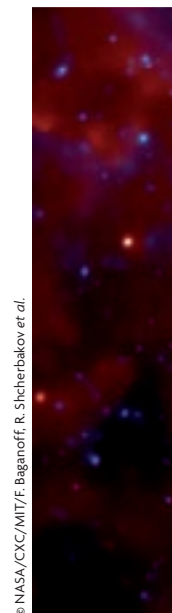
**«SEMBLA QUE ELS BRAÇOS  
ESPIRALS SÓN UNA IL·LUSIÓ  
I QUE NO REPRESENTEN CAP  
ESTRUCTURA MÒBIL. SI HO  
FÓRA, DESPRÉS D'UNES POQUES  
ROTACIONS ELS BRAÇOS ES  
CORBARIEN I S'ENROTLLARIEN  
CADA VEGADA MÉS FINS  
DESAPARÈIXER»**



Esquema de la Via Làctia.

### ■ UN FORAT AL CENTRE DE LA GALÀXIA

Des de la posició que ocupa el Sol en la galàxia el centre és molt difícil d'estudiar. Situat en la direcció de la constel·lació de Sagitari, s'hi troben nebuloses fosques que absorbeixen la llum dels estels que estan darrere i n'impedeixen l'estudi amb les tècniques convencionals. El centre galàctic s'ha d'observar des de telescopis terrestres i des del telescopi Spitzer en radiació infraroja i també mitjançant radiotelescopis. A les freqüències d'infraroig, microones o ràdio, i també en raigs X i raigs gamma, és possible travessar aquestes capes de pols i gas i revelar l'objecte que s'hi troba al centre. Bruce Balick i Robert Brown hi van descobrir l'any 1974 una intensa font de ràdio, anomenada Sagitari A\*, de natura totalment desconeguda. La densitat d'estels en



© NASA/CXC/MIT/F. Baganoff, R. Stcherbakov et al.

el nucli galàctic és realment alta i els estels semblen comportar-se com un gas isoterm. Rainer Schödel, Reinhard Genzel i col·laboradors han estudiat sistemàticament i detallada el moviment dels estels situats a molt poca distància (milers d'unitats astronòmiques<sup>1</sup>) del centre. En particular van descriure l'estel S2 amb un període orbital de 15,2 anys i una distància mínima al centre galàctic de només 120 UA, és a dir de 17 hores llum, un poc més de tres vegades el semieix major de l'òrbita de Plutó. Una òrbita tan menuda, amb un període tan curt, només pot ser causada per un cos molt compacte. Amb aquestes dades, l'aplicació de la tercera llei de Kepler, per la qual, si es coneix la distància al centre galàctic i el període de revolució de l'estel, s'obté directament la massa del cos central, revela que el misteriós objecte situat al centre de la galàxia és, en realitat, un forat negre supermassiu d'uns 4,1 milions de masses solars. Observacions recents indiquen que el seu radi fa només 6,25 hores llum, és a dir, una mica més que l'òrbita de Plutó.

L'existència d'un forat negre supermassiu s'ha revelat com a usual en la majoria, si no totes, de les galàxies espirals i el·líptiques. L'explicació d'aquest fet, segons les teories actuals, caldria buscar-la en el col·lapse d'estels supermassius o bé en el resultat de la col·lisió entre galàxies.

<sup>1</sup> Cada unitat astronòmica (UA) equival a la distància entre la Terra i el Sol.



La missió Gaia cartografiarà els estels de la Via Làctia.

L'últim component lluminós de la galàxia és l'halo que envolta les anteriors estructures i que és format, com a mínim, per 150 cúmuls globulars i per estels de camp amb grans velocitats i òrbites perpendiculars a la pla galàctica.

Els cúmuls globulars són formats per centenars de milers d'estels agrupats en forma esfèrica en un volum de pocs anys llum. L'exemple més conegut és M13, situat a la constel·lació d'Hèrcules. Harlow Shapley va demostrar que la distribució dels cúmuls globulars és molt homogènia al voltant del centre galàctic. Pràcticament tots es troben en una esfera de 137.000 anys llum del centre.

La característica principal dels seus estels és el baix contingut en elements pesants, o baixa metal·licitat, la qual cosa indica la seua vellesa, ja que no han estat contaminats per explosions supernova anteriors. No ens ha d'estranyar, per tant, que el més «jove» dels cúmuls globulars tinga 11.000 milions d'anys, mentre que el més antic, amb 13.000 milions d'anys, és només una mica més jove que el mateix univers. Aquests objectes són, sens dubte, els més vells de la galàxia.

## ■ EL MISTERI DE LA MATÈRIA FOSCA

Quan se sumen les masses de tots els components lluminosos de la galàxia —el disc de gas i pols, els estels, la barra, el bulb, el forat negre central i l'halo—, s'arriba a una massa total de  $9 \times 10^{10}$  masses solars. Aquest valor, aconseguit mitjançant tècniques i observacions ben diferents, coincideix prou bé amb el valor de la massa situada a l'interior de l'òrbita del Sol. Si s'aplica la tercera llei de Kepler a l'òrbita del Sol al voltant del centre galàctic, la massa interior és de  $8,8 \times 10^{10}$  masses solars. Aquesta coincidència de resultats no és casual, ja que la major part de la massa lluminosa es troba dins de l'òrbita solar.

Per això, entre la comunitat d'astrònoms, va causar sorpresa el fet de constatar que, més enllà del Sol, la velocitat dels estels no minva en allunyar-se del centre,



Imatge en raigs X, obtinguda pel satèl·lit Chandra, del forat negre supermassiu Sagitari A\* i de la regió que l'envolta. S'hi veu el romanent de supernova Sagitari A Est i els lòbuls de gas calent que s'estenen dotze anys llum a cada costat del forat negre.

sinó que roman constant com si quelcom «estirara» els estels. Aquest efecte s'ha observat també en altres galàxies espirals, com va comprovar l'astrònoma Vera Rubin i col·laboradors a finals dels anys setanta del segle passat. Quelcom desconegut i no lluminós fa moure els estels de la perifèria de les galàxies espirals més ràpid del que fóra raonable. Aquest component no brillant però amb massa, ja que exerceix una atracció gravitatòria sobre el component visible, rep el nom de matèria fosca i és un element que s'ha de tenir en compte en totes les simulacions de formació a gran escala de l'univers o en la formació de galàxies.

L'halo de matèria fosca sembla estar distribuït de manera esfèrica, tot englobant l'halo estel·lar i estenent-se fins a 750.000 anys llum del centre galàctic. La massa és d'uns  $1,9 \times 10^{12}$  masses solars. Aquesta enorme massa fa ridícula la massa del component visible, ja que aquest només representa el 4,5% de la massa total.

Però què és aquest component? Per ara és un misteri. No pot ser de matèria ordinària com gas o pols interestel·lar, perquè la seua presència ja hauria estat detectada amb les tècniques usuals. La primera hipòtesi convincent va fer pensar en objectes compactes massius (MACHO, de *Massive Compact Halo Objects*). En aquesta categoria inclouríem nans blancs, estels de neutrons, forats negres i nans marrons, és a dir, estels ja morts i apagats o d'altres que no han arribat a brillar mai o molt poc. La presència d'aquests MACHO pot ser detectada quan passen entre un estel llunyà i la Terra. Aleshores la llum de l'estel pot ser desviada i/o augmentada per un efecte relativista anomenat lent gravitacional. C. Alcock i col·laboradors han estudiat milions d'estels del Gran Núvol de Magallanes i han trobat molt pocs exemples d'aquests fenòmens. Per això conclouen que la contribució dels MACHO a l'halo de matèria fosca és només d'un 20%.

Actualment es considera la possibilitat que partícules massives que interactuen dèbilment (WIMP, de *Weakly*

Les fotografies simulades de la dreta mostren la seqüència del xoc entre la galàxia d'Andròmeda i la Via Làctia (de dalt a baix i d'esquerra a dreta):

- A) Cel nocturn actual, amb la Via Làctia i la galàxia d'Andròmeda a 2,5 milions d'anys llum.
- B) D'ací a 2.000 milions d'anys, el disc de la galàxia d'Andròmeda que s'acosta és notablement més gran.
- C) D'ací a 3.750 milions d'anys, Andròmeda omple el camp de visió.
- D) i E) D'ací a 3.850-3.900 milions d'anys, durant el primer acostament, el cel resplendeix amb la formació de nous estels.
- F) D'ací a 4.000 milions d'anys, Andròmeda s'estira per les mareas. La Via Làctia, també es deforma. Andròmeda se n'allunya però hi torna.
- G) D'ací a 5.100 milions d'anys, durant la segona passada, els nuclis de la Via Làctia i d'Andròmeda apareixen com un parell de lòbuls brillants.
- H) D'ací a 7.000 milions d'anys, les galàxies fusionades formen una gran galàxia el·líptica. Neta de pols i gas, la nova galàxia ja no té estels joves ni nebuloses.





*Interacting Massive Particles*) constitueixen la part principal de la matèria fosca. Algunes consideracions teòriques sobre la formació i l'evolució de l'univers donarien suport a aquestes partícules desconegudes.

#### ■ FUSIÓ AMB LA GALÀXIA VEÏNA ANDRÒMEDA

La Via Làctia, juntament amb la gran galàxia d'Andròmeda, situada a uns 2,5 milions d'anys llum de nosaltres i desenes de galàxies menors, formen l'anomenat Grup Local de galàxies, que estan lligades gravitatoriament i es mouen per les forces que exerceixen les masses visibles i la matèria fosca que hi ha entre elles. Així, mentre l'univers en conjunt s'expandeix acceleradament, els components del Grup Local es mouen en conjunt, però internament poden convergir.

Ja fa cent anys que se sap que Andròmeda s'acosta a la Terra. Les últimes mesures confirmen que té una velocitat d'uns 400.000 km/h, tan gran que recorre la distància Terra-Lluna en una hora. Però malgrat aquesta enorme velocitat, Andròmeda no arribarà ací fins que no transcórreguen 4.000 milions d'anys. El que no se sabia fins fa poc és si el xoc entre les dues galàxies seria frontal –amb el consegüent final catastròfic– o tangencial –amb només lleugeres deformacions de les estructures galàctiques.

Recentment l'equip liderat per Roeland van der Marel i col·laboradors ha resolt el dilema després d'estudiar el moviment d'estels individuals d'Andròmeda durant vuit anys. En un procés llarg les dues galàxies s'aproximaran i es deformaran per efectes de marea. Finalment es fusionaran i formaran una única nova galàxia el·líptica. Sembla que els estels individuals de cada galàxia no quedaran afectats, ja que estan separats per grans distàncies. Més que d'una col·lisió, seria millor parlar d'una intercalació. Això sí, les posicions en resultaran afectades. El Sistema Solar no serà destruït per la col·lisió, però el Sol i la seua cort de planetes, entre ells la Terra, seran enviats, segurament, a un altre lloc de la nova galàxia el·líptica Andròmeda-Via Làctia. De tota manera en aquell temps la Terra serà massa calenta perquè pugui ser habitada, escalfada per un immens Sol ja convertit en gegant roig.

De vegades saps que una situació acabarà malament, faces el que faces. Però si, almenys, pots ajornar el final o deixar el desenllaç per a futures generacions, egoïstament ja et pots sentir satisfet. ☺

#### BIBLIOGRAFIA

- CARROLL, B. W. i D. A. OSTLIE, 2007. *An Introduction to Modern Astrophysics*. Pearson International Edition. San Francisco.  
 MARTÍNEZ, V. J.; MIRALLES, J. A.; MARCO, E. i D. GALADÍ-ENRIQUEZ, 2008. *Astronomia fonamental*. PUV. València.

**Enric Marco i Soler.** Tècnic Superior de Laboratori. Departament d'Astronomia i Astrofísica, Universitat de València