

Cosmologia

Julieta Fierro, Beatriz García, Susana Deustua

International Astronomical Union, Universidad Nacional Autónoma de México (México), Universidad Tecnológica Nacional (Argentina), Space Telescope Science Institute (USA)

Resum

Tot i que cada objecte celeste té encants particulars, comprendre l'evolució de l'Univers sol ser un tema fascinant doncs engloba la totalitat. Pensar que estant ancorats al veïnatge terrestre podem saber tant - de tant - resulta captivador.

L'astronomia al segle XIX es va centrar en la catalogació de les propietats dels objectes celestes individuals: planetes, estrelles, nebuloses i galàxies. A la fi de segle XX en canvi, es va focalitzar en les propietats de les categories d'objectes: cúmuls d'estrelles, formació de galàxies i estructura de l'Univers. Ara sabem l'edat i la història de l'Univers i que la seva expansió s'està accelerant, però encara no coneixem la naturalesa de la matèria fosca. I nous descobriments es continuen fent.

Primer descriurem algunes propietats de les galàxies que formen part de les grans estructures de l'univers. Més endavant ens referirem al que es coneix com el model estàndard del Big Bang i l'evidència que dóna suport al model.

Objectius

- Comprendre com ha evolucionat l'Univers des del Big Bang als nostres dies
- Conèixer com s'organitzen la matèria i l'energia en l'Univers
- Analitzar de quina manera els astrònoms poden conèixer la història de l'Univers

Les Galàxies

Les galàxies estan compostes d'estrelles, gas, pols i matèria fosca, i poden ser molt grans, de més de 300 000 anys llum de diàmetre. La galàxia a la qual pertany el Sol té cent mil milions (100 000 000 000) d'estrelles. En l'univers hi ha milers de milions d'aquestes galàxies.

La nostra galàxia és una gran galàxia espiral, similar a la d'Andròmeda (figura 1a). El Sol triga 200 milions d'anys en orbitar al voltant del seu centre, i viatja a 250 quilòmetres per segon. A causa de que el nostre sistema solar es troba immers en el disc de la galàxia, no podem veure tota la galàxia, és com tractar d'imaginar un bosc quan s'està enmig d'ell. La nostra galàxia es diu Via Làctia. A simple vista des de la Terra, podem veure moltes estrelles individuals i un ample cinturó format per un enorme nombre d'estrelles i pels núvols interestel·lars de gas i pols. L'estructura de la nostra galàxia va ser descoberta a través d'observacions amb telescopis en el visible i en ràdio, i mitjançant l'observació d'altres galàxies. (Si no hi hagués miralls, ens podríem

imaginar el que el nostre propi rostre és mirant a altres rostres.) Fem servir les ones de ràdio, ja que poden passar a través dels núvols que són opaques a la llum visible, de manera semblant a la manera en què podem rebre trucades al telèfon mòbil dins d'un edifici.



Fig. 1a: Galàxia d'Andròmeda. Galàxia espiral molt similar a la nostra: la Via Làctia. El Sol es troba en la vora exterior d'un dels braços de la nostra galàxia. (Foto: Bill Schoening, Vanessa Harvey / REU program / NOAO / AURA / NSF) Fig. 1b: Núvol Gran de Magallanes. Galàxia irregular, satèl·lit de la Via Làctia que es pot observar a simple vista des de l'hemisferi sud. (Foto: ESA and Eckhard Slawik).

Classifiquem les galàxies en tres tipus. Les galàxies irregulars són més petites i abundants i solen ser riques en gas, i formen noves estrelles. Moltes d'aquestes galàxies són satèl·lits d'altres galàxies. La Via Làctia té 30 galàxies satèl·lit, i la primera que van ser descobertes són els Núvols de Magallanes, que es veuen des de l'hemisferi sud.

Les galàxies espirals, com la nostra, tenen, en general, dos braços fortament o feblement retorçats en espiral que emanen de la part central anomenada nucli. Els nuclis de les galàxies com la nostra tendeixen a tenir un forat negre de milions de vegades la massa de el Sol. Les noves estrelles neixen principalment en els braços, a causa de la major densitat de la matèria interestel·lar la contracció dona naixement a les estrelles.

Quan els forats negres en els nuclis de galàxies atreuen núvols de gas o estrelles, la matèria s'escalfa i abans de caure en el forat negre, part d'ella emergeix en forma de dolls de gas incandescent que es mouen a través de l'espai i el medi intergalàctic. Són coneguts com a nuclis galàctics actius i existeixen en un gran nombre de galàxies espirals.

Les galàxies més grans són les el·líptiques (tot i que també hi ha el·líptiques petites). Es creu que aquestes, així com les espirals gegants, es formen quan les galàxies més petites es fusionen. Alguna evidència d'això prové de la diversitat d'edats i composició química dels diversos grups d'estrelles en la galàxia fusionada.

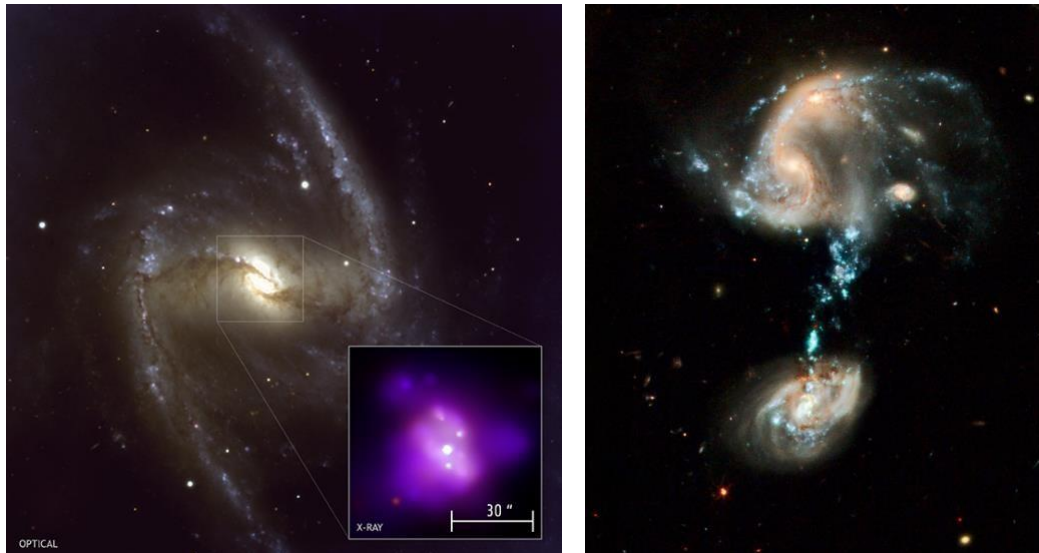


Fig. 2a: Imatge òptica de la Galàxia NGC 1365 presa amb el VLT de l'ESO i la imatge de Chandra de raigs X del material proper al forat negre central. Fig. 2b: Mostra de canibalisme galàctic on interactuen dues galàxies fusionant-se en un procés molt espectacular. (Foto: NASA, ESA, the Hubble Heritage (STScI / AURA) -aquesta / Hubble Collaboration, and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville / NRAO / Stony Brook University)).

Les galàxies formen cúmuls de galàxies, amb milers de components. El·líptiques gegants es troben generalment en els centres dels conglomerats i alguns d'ells tenen dos nuclis com a resultat d'una recent fusió de dues galàxies.

Els cúmuls i supercúmuls de galàxies es distribueixen en l'Univers formant estructures filamentosos que envolten immensos buits desproveïts de galàxies. És com si l'Univers a gran escala fos un bany de bombolles, on les galàxies es troben a la superfície de la bombolla.

Cosmologia

A continuació descriurem algunes propietats de l'Univers en què vivim. L'Univers, que està format per matèria, radiació, espai i energia, evoluciona amb el temps. Les seves dimensions temporals i espacials són molt més grans que les que fem servir en la nostra vida quotidiana.

La cosmologia ens ofereix respostes a preguntes fonamentals sobre l'Univers D'on venim? Cap a on anem? On ens trobem? Des de quan? Val la pena esmentar que la ciència evoluciona. Com més sabem, més ens adonem del molt que no sabem. Un mapa és útil fins i tot si és només una representació d'un lloc, així és com la ciència ens permet disposar d'una representació de la natura, veure alguns dels seus aspectes i predir els esdeveniments, tots ells basats en la raó supòsits que tenen necessàriament de ser recolzats amb amidaments i dades.

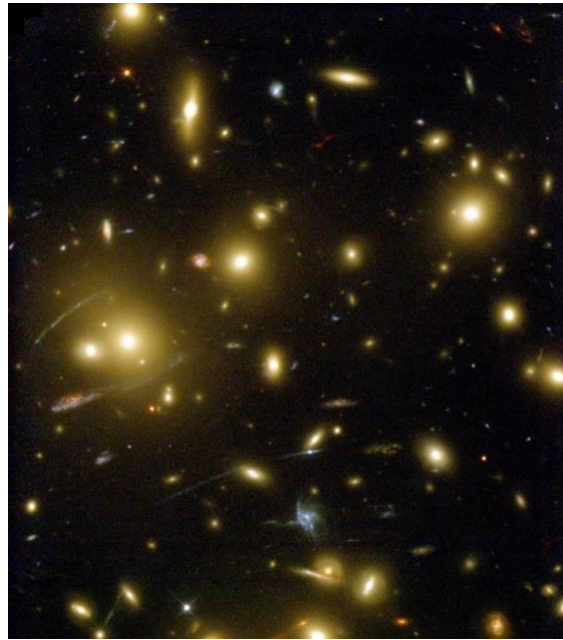


Fig. 3: Cúmulo de galàxies Abell 2218 Es poden distingir arcs derivats de l'efecte de lents gravitacionals. (Foto: NASA, ESA, Richard Ellis (Caltech) and Jean-Paul Kneib (Observatoire Midi-Pyrenees, France)).

Les dimensions de l'univers

Les distàncies entre les estrelles són enormes. La Terra està a 150.000.000 de quilòmetres de el Sol, Plutó està 40 vegades més lluny. L'estrella més propera està 280.000 vegades més distant, i la galàxia més propera està deu, mil milions (10.000.000.000) vegades més lluny. L'estructura de filaments de galàxies és deu bilions (un u seguit de 12 zeros) de vegades més gran que la distància de la Terra a el Sol.

L'edat de l'univers

El nostre Univers va començar fa 13,7, mil milions (13700000000) d'anys. El sistema solar es va formar molt més tard, fa 4,6 milions d'(4600000000) d'anys. La vida a la Terra va sorgir fa 3800000000 (3800000000) d'anys i els dinosaures es van extingir fa 6,5 milions (6.500.000) d'anys. Els éssers humans moderns només han aparegut fa uns 150.000 anys.

Raonem que el nostre univers va tenir un origen en el temps perquè s'observa que s'està expandint ràpidament. Això vol dir que tots els grups de galàxies s'estan allunyant els uns dels altres i les galàxies més distants s'estan allunyant més ràpid. Si mesurem la taxa d'expansió es pot estimar quan tot l'espai estava al costat. Aquest càlcul dóna una edat de 13,7 milions d'anys. Aquesta edat no contradiu l'evolució estel·lar, ja que no observem estrelles ni les galàxies més grans de 13,5 milions d'anys. L'esdeveniment que va iniciar l'expansió de l'Univers es coneix com Big Bang.

Mesura de velocitat

Es pot mesurar la velocitat d'una estrella o galàxia utilitzant l'efecte Doppler. A la vida diària experimentem l'efecte Doppler quan escoltem el canvi de to d'una ambulància o sirena de la policia, que s'acosta i després s'allunya. Un experiment simple és col·locar un rellotge d'alarma en una bossa amb un mànec llarg. Si una altra persona fa girar la borsa per la nansa amb el seu braç estès per sobre del seu cap, podem detectar que el to canvia quan es mou del rellotge cap o allunyant-se de nosaltres. Podríem calcular la velocitat del rellotge a l'escoltar el canvi del to, que és més alt si la velocitat és més gran.

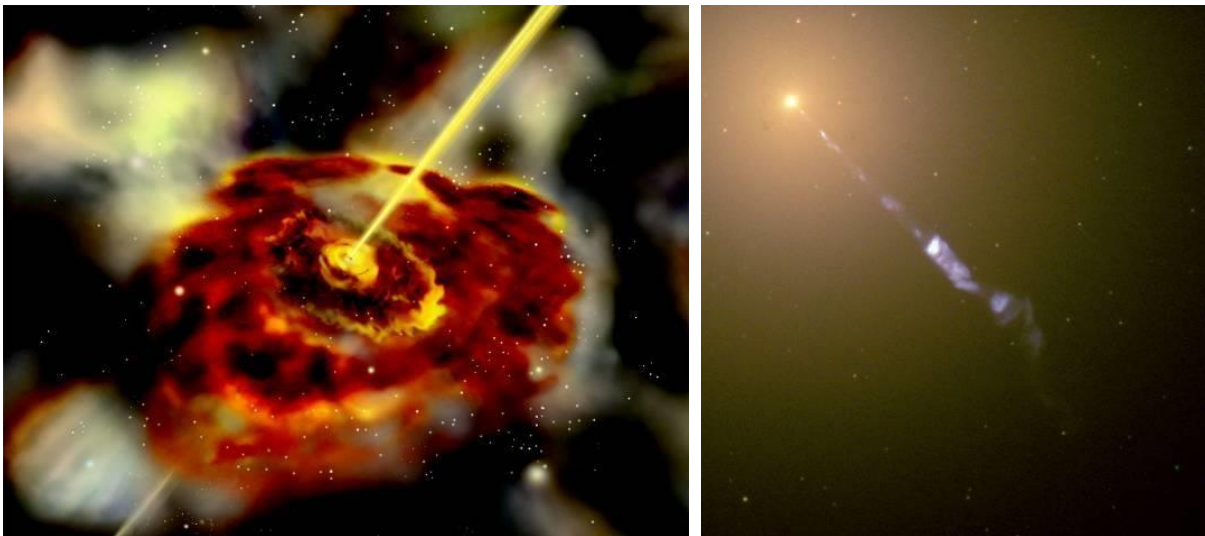


Fig. 4a: Representació artística d'un forat negre en el centre d'una galàxia. (Foto: NASA E / PO - Sonoma State University, Aurore Simonnet) Fig. 4b: Galàxia M87, exemple de galàxia real amb un raig que l'acompanya. (Foto: NASA and The Hubble Heritage Team (STScI / AURA)).

La llum emesa pels objectes celestes també passa per un canvi de freqüència o canvi de color que es pot mesurar en funció de la velocitat amb què aquests s'aproximen o surten. La longitud d'ona és més llarga (més vermell) quan s'allunyen de nosaltres i més curta (blau) quan es mouen cap a nosaltres.

Quan l'Univers era més compacte, les ones sonores passant a través d'ell van produir regions de major i menor densitat. Els supercúmuls de galàxies es van formar quan la densitat de la matèria era més alta. A mesura que l'Univers es va expandir, l'espai entre les regions d'alta densitat va augmentar en grandària i volum. L'estructura filamentosa de l'Univers és el resultat de la seva expansió.

Les ones de so

El so viatja a través d'un mitjà, com l'aire, l'aigua o la fusta. Quan produïm un so, generem una ona que comprimeix el material del seu entorn. Aquesta ona de compressió es desplaça a través

del material fins la nostra oïda i comprimeix el timpà, que envia el so a les nostres cèl·lules nervioses sensibles. No sentim les explosions del Sol o de les tempestes de Júpiter causa de que l'espai entre els objectes celestes està gairebé buit i per tant la compressió de so no pot propagar-se.

És de destacar que no hi ha un centre d'expansió de l'Univers. Usant una analogia bidimensional, imaginem que estàvem a París, a la seu de la UNESCO i la Terra s'està expandint. Observariem que totes les ciutats s'allunyarien les unes de les altres, i de nosaltres, però no tindriem raó per dir que estem en el centre de l'expansió, perquè tots els habitants d'altres ciutats s'observarien l'expansió de la mateixa manera.



Fig. 5: Fins a la data s'han localitzat més de 300 núvols foscos i densos de pols i gas on estan passant processos de formació estel·lar. Super Cúmulo Abell 90/902. (Foto: Hubble Space Telescope, NASA, ESA, C. Heymans (University of British Columbia) i M. Gray (University of Nottingham)).

Encara que des del nostre punt de vista la velocitat de la llum de 300.000 quilòmetres per segon és molt ràpida, no és infinitament ràpida. La llum de les estrelles triga centenars d'anys a arribar a la Terra i la llum de les galàxies porta viatjant milions d'anys. Tota la informació del cosmos triga molt temps a arribar pel que sempre veiem les estrelles com van ser en el passat, no com són ara.

Hi ha objectes tan distants que la seva llum no ha tingut temps d'arribar fins a nosaltres, però tot i que no podem veure'ls, no és que no hi siguin, simplement que es van formar després que la radiació procedent d'aquesta regió de cel ens ha arribat.

La velocitat finita de la llum té diverses implicacions per a l'astronomia. Les distorsions en l'espai afecten la trajectòria de la llum, pel que veiem una galàxia en un lloc donat on en realitat no pot ser-hi ara, perquè la curvatura de l'espai canvia la seva posició. A més, un estel ja no està en el lloc on s'observa pel fet que les estrelles es mouen. Tampoc són com les veiem ara. Sempre veiem els objectes celestes com eren, i com més distants estiguin, els veiem més enrere en el seu passat. L'anàlisi d'objectes similars a diferents distàncies és equivalent a veure el mateix objecte en diferents moments de la seva evolució. En altres paraules, podem veure la història de les estrelles, si ens fixem en aquells que assumim són tipus similars, però a diferents distàncies.

No podem veure la vora de l'Univers, perquè la seva llum no ha tingut temps d'arribar a la Terra. El nostre Univers és infinit en grandària, de manera que només es veu una secció de 13,7 mil milions d'ans llum de ràdio, és a dir, on la llum ha tingut temps d'arribar fins a nosaltres des del Big Bang. Una font emet llum en totes les direccions, de manera que les diferents parts de l'Univers són coincidents de la seva existència en temps diferents. Veiem tots els objectes celestes com ho eren en el moment d'emetre la llum que ara observem, perquè pren un temps finit per a la llum arribar fins a nosaltres. Això no vol dir que tenim una posició privilegiada en l'univers, qualsevol observador d'una altra galàxia observaria alguna cosa equivalent al que detectem nosaltres.

A l'igual que totes les ciències, en astronomia i astrofísica com més aprenem sobre el nostre Univers, més preguntes descobrim. Ara parlem de la matèria fosca i l'energia fosca, per donar una idea del molt que encara no sabem sobre l'Univers.

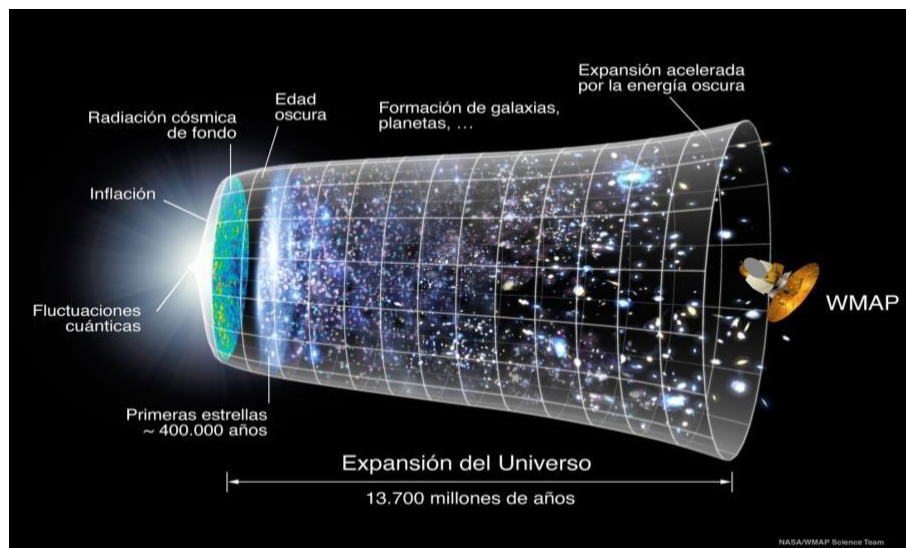


Fig. 6: Expansió de l'Univers. (Foto: NASA).

La matèria fosca no interactua amb la radiació electromagnètica, pel que no absorbeix ni emet llum. La matèria ordinària, com la d'una estrella, pot produir llum, o absorbir-la, a l'igual que un núvol de pols interestel·lar. La matèria fosca és insensible a qualsevol radiació però té massa i per tant té atracció gravitatòria. Va ser descoberta a través dels seus efectes sobre el moviment de la matèria visible. Per exemple, si una galàxia es mou en una òrbita al voltant d'un espai buit, aparentment, estem segurs que alguna cosa l'està atraient. A l'igual que el sistema solar es manté unit per la força gravitacional del Sol, que manté als planetes en les seves òrbites, la galàxia en qüestió té una òrbita a causa d'alguna cosa que l'atreu. Ara sabem que la matèria fosca està present en les galàxies individuals, en els cúmuls de galàxies i sembla ser el fonament de l'estructura filamentosa de l'Univers. La matèria fosca és el tipus més comú de matèria en el cosmos.

També sabem ara que l'expansió de l'Univers s'està accelerant. Això vol dir que hi ha una força que contraresta l'efecte de la gravetat. Energia fosca és el nom donat pels astrònoms per aquest fenomen recentment descobert. En absència de l'energia fosca, l'expansió de l'univers s'alenteix.

El nostre coneixement actual del contingut de la matèria-energia de l'univers indica que el 74 per cent és energia fosca, el 22 per cent és matèria fosca i només el 4 per cent és normal, la matèria lluminosa (totes les galàxies, estrelles, planetes, gas, pols) Bàsicament, la naturalesa i les propietats d'un 96 per cent de l'univers encara no s'han descobert.

El futur del nostre Univers depèn de les quantitats de matèria visible, la matèria fosca i l'energia fosca. Abans de la descoberta de la matèria fosca i l'energia fosca, es pensava que l'expansió cessaria, i la gravetat podria revertir l'expansió resultant al Big Crunch, en què tot tornaria a un sol punt. Però una vegada que es va establir l'existència de la matèria fosca, es va modificar la teoria. Ara, l'expansió podria arribar a un valor constant en un temps infinit en el futur. Però, ara que sabem de l'energia fosca, el futur esperat és que l'expansió s'accelerarà, a l'igual que l'increment de volum de l'univers. En aquest escenari, l'univers serà molt fred i molt fosc per un temps infinit.

Bibliografia

- Greene, B., *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality* (2006)/*El tejido del cosmos* (2010)
- Fierro, J., *La Astronomía de México*, Lectorum, México, 2001.
- Fierro, J, Montoya, L., *La esfera celeste en una pecera*, El Correo del Maestro, México, 2000.
- Fierro J, Domínguez, H, *Albert Einstein: un científico de nuestro tiempo*, Lectorum, México, 2005.
- Fierro J, Domínguez, H, *La luz de las estrellas*, Lectorum, El Correo del Maestro, México, 2006.
- Fierro J, Sánchez Valenzuela, A, *Cartas Astrales, Un romance científico del tercer tipo*, Alfaguara, 2006.
- Thuan, Trinh Xuan, *El destino del universo: Despues del big bang* (Biblioteca ilustrada)(2012) / *The Changing Universe: Big Bang and After* (New Horizons) (1993)
- Weinberg, Steven, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. Weinberg, Steven y Nestor Miguez, *Los tres primeros minutos del universo* (2009)

Fonts d' Internet

- The Universe Adventure <http://www.universeadventure.org/> or <http://www.cpepweb.org>
- Ned Wright's Cosmology Tutorial (in English, French and Italian) <http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm>