

# FOTOGRAFIA CIENTÍFICA I ASTRONOMIA

## La tecnologia aplicada al coneixement de l'univers

Fernando Ábalos Vázquez i Javier Ábalos

El 1925 Edwin Hubble va fer el primer pas per expandir en diversos ordres de magnitud la mida de l'univers conegut utilitzant els precaris mètodes fotogràfics disponibles: plaques de vidre amb emulsions fotosensibles. A través del registre de les fluctuacions periòdiques a la brillantor de certes estrelles (cefeides) mitjançant fotografies, Hubble va demostrar que la distància entre Andròmeda i la Terra era molt més gran del que es creia en aquella època. Andròmeda, fins aleshores considerada una nebulosa, devia ser en realitat una altra galàxia molt diferent de la nostra. De sobte, la mida estimada de l'univers va passar de centenars de milers d'anys llum a uns quants milers de milions d'anys llum. Des de llavors, la sinergia entre tecnologia fotogràfica i astronomia no ha deixat d'augmentar.

Paraules clau: **astronomia, fotografia digital, llum, tecnologia, univers.**

La immensitat de l'univers desafia la nostra imaginació. Avui sabem que conté milers de milions de galàxies com la nostra, i que habitem el tercer planeta d'un sistema solar situat en un dels braços perifèrics d'una galàxia espiral, la Via Làctia, inclosa en un cúmul de galàxies a què pertanyen almenys altres quaranta galàxies.

Fa cent anys, però, molts astrònoms sostenien que tots els objectes observables al cel nocturn des de la Terra devien pertànyer a la Via Làctia (Figura 1), és a dir, a la nostra galàxia (Shapley i Curtis, 1921). Les nebuloses (com la nebulosa de l'home corrent, Figura 2a) són, a grans trets, núvols formats per gas i pols. Poden classificar-se en dos grans grups: unes corresponen a regions on s'estan formant estrelles i d'altres es formen a partir dels gasos i materials expel·lits per estrelles moribundes o després de la seua explosió (supernoves). Per poder observar-se des de la Terra, necessiten estar il·luminades per estrelles properes (Figura 2b), encara que també poden estar formades per gasos emissors de llum si presenten elements en estat ionitzat. També hi ha nebuloses fosques que només s'han pogut detectar en forma d'ombres retallades gràcies al fet que amaguen estrelles més llunyanes o altres nebuloses brillants (Figura 2c). Encara que avui distingim una gran varietat

d'objectes celestes com les nebuloses, els cúmuls, els estels i, finalment, altres galàxies, fa cent anys qualsevol objecte amb aspecte de nebulositat es considerava una nebulosa més inclosa a la Via Làctia. Al capdavant, l'aspecte dels diferents objectes celestes era molt similar. Tot semblava ser dins la nostra galàxia, perquè això era tot l'univers conegut.

### ■ LA DISTÀNCIA A LES ESTRELLES

Aquesta concepció de l'univers va canviar a principis del segle XX gràcies a l'ús de la fotografia científica en astronomia. En concret, gràcies a la seua aplicació per al mesurament precís de la brillantor de les estrelles: la fotometria. Una de les figures clau per a aquest canvi de paradigma va ser Edward Pickering, director de l'Observatori Astronòmic de Harvard, el qual, a finals del segle XIX, va començar un projecte monumental enfocat a obtenir centenars de fotografies (plaques de vidre amb emulsions fotosensibles) dels dos hemisferis celestes. Per això comptava amb l'ajuda d'un equip de dones (Figura 3a) que analitzaven amb paciència cada placa, comptaven estrelles i registraven la brillantor, calculant-ne les coordenades celestes (Cassinello Espinosa, 2019).

#### COM CITAR AQUEST ARTICLE:

Ábalos Vázquez, F., & Ábalos, J. (2023). Fotografia científica i astronomia: La tecnologia aplicada al coneixement de l'univers. *Metode Science Studies Journal*. <https://doi.org/10.7203/metode.14.24625>



F. Ábalos Vázquez

Figura 1. Fotografia de la Via Làctia obtinguda amb una exposició menor de 30 segons i una òptica de gran angular des del Complex Astronòmic AstroCamp a Nerpio (Albacete, Espanya).

Molt poques dones treballaven llavors en alguna cosa relacionada amb la ciència. L'exemple d'aquestes pioneres va ser fonamental per bandejar prejudicis en contra de les dones i facilitar-ne la incorporació a la investigació científica (Rossiter, 1980). Una d'elles, Henrietta Leavitt (Figura 3b), va fer un descobriment que va resultar essencial per a l'estudi posterior d'Edwin Hubble sobre les dimensions de l'univers. A còpia d'analitzar la posició i la brillantor de multitud d'estrelles, Leavitt va descobrir que algunes variaven en la seua brillantor amb un període d'entre un i 120 dies, les estrelles variables. Leavitt va estudiar milers d'estrelles variables en els dos hemisferis celestes i va descriure'n diferents tipus, destacant les que va anomenar *cefeides*, perquè la primera identificada com a tal era a la constel·lació de Cefeu. La característica essencial que feia interessants les cefeides era que el seu període de variació era proporcional a la seua brillantor real o absoluta, cosa que proporcionava un mètode per mesurar la seua distància respecte de la Terra (Leavitt i Pickering, 1912). El període de variació indica la seua brillantor absoluta i amb la fotografia s'obté la brillantor aparent que es veu des de la Terra, per la qual cosa es pot deduir

la distància a aquesta estrella (la brillantor mesurada és inversament proporcional al quadrat de la distància).

Fins aquell moment, les úniques tècniques disponibles per mesurar la distància fins a altres estrelles (la triangulació i la paral·laxi) podien aplicar-se únicament a estrelles molt pròximes. Leavitt va validar la seua metodologia, basada en la relació entre la brillantor i el període de variació de les cefeides, aplicant-la a estrelles a les quals també podria aplicar-se el mètode de la paral·laxi, obtenint resultats molt semblants. Per primera vegada a la història, els astrònoms disposaven d'un mètode per aconseguir mesures fiables de les distàncies enormes als objectes més llunyans de l'univers.

Henrietta Leavitt va arribar a fer mesures d'estrelles variables al Petit Núvol de Magallanes (una galàxia pròxima a la Terra) sense adonar-se que era una galàxia exterior. Uns anys més tard, Edwin Hubble va trobar estrelles variables cefeides en la llavors coneguda com a «nebulosa» d'Andròmeda i, aplicant el mètode de Leavitt, va estimar la distància d'aquest objecte celeste a la Terra (Figures 3c i 3d). Les mesures tenien grans errors respecte al que sabem avui, però l'important és que aquesta distància era almenys vint vegades més gran



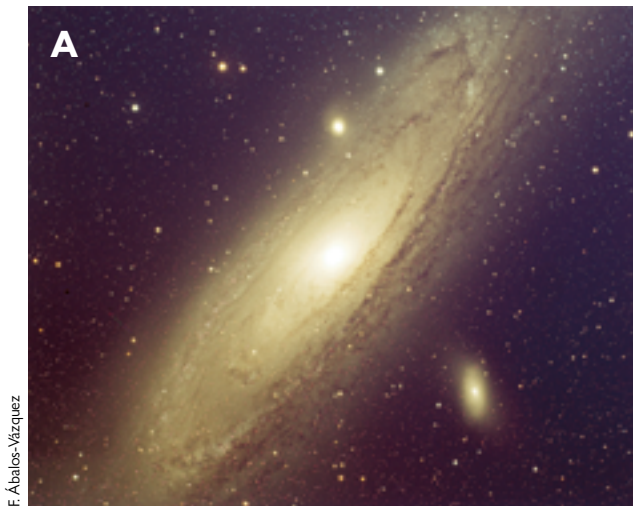
Figura 2. **A)** Nebulosa de l'home corrent, una nebulosa de reflexió situada a la constel·lació d'Orió. **B)** Les Plèiades, un cúmul estel·lar obert ubicat a la constel·lació de Taure. La feble nebulositat de reflexió que s'observa al voltant de les estrelles no està relacionada amb la formació del cúmul, sinó que es tracta d'un núvol de pols al medi interestel·lar a través del qual estan passant els estels del cúmul. **C)** Nebulosa del cap de cavall, un núvol de gas fred i fosc que forma part del complex de núvols moleculars d'Orió. Al voltant d'aquesta nebulosa d'absorció hi ha altres nebuloses d'emissió com la nebulosa de la flama.

que les màximes estimacions de la mida de la nostra galàxia, i, per tant, Andròmeda estava fora de l'univers conegut. És a dir, es tractava d'una altra galàxia composta de centenars de milers d'estrelles com la nostra, i no pas d'una acumulació de pols a la nostra galàxia. Les nebuloses de la nostra galàxia són a milers o desenes de milers d'anys llum, però les galàxies externes són a milions d'anys llum o fins i tot milers de milions d'anys llum. No va trigar gaire a descobrir-se que moltes suposades nebuloses eren en realitat «altres universos»; és a dir, galàxies externes compostes de milers de milions d'estrelles (Figura 4). L'univers conegut s'havia fet, de sobte, immensament més gran.

#### ■ LA RECERCA D'ALTRES MONS

Aproximadament cent anys més tard, la tecnologia ha millorat tant que fins i tot un aficionat avançat en astronomia disposa de recursos força més sofisticats de què disposaven Pickering, Leavitt o Hubble (vegeu «Breu

introducció tècnica a l'astrofotografia»). Cal destacar, però, que els avenços en astronomia no es poden atribuir únicament a la fotografia, sinó a la ràpida millora en el conjunt d'instrumentació astronòmica (telescòpis, sensors digitals, espectrògrafs, etc.). Entre les moltes possibilitats obertes per aquesta autèntica revolució tecnològica, la recerca d'exoplanetes (planetes orbitant altres estrelles) destaca per la seua popularitat i per haver aportat alguns dels descobriments més fascinants dels darrers anys (Mayor i Queloz, 1995) i reconeguts amb el Premi Nobel el 2019. Podem detectar exoplanetes indirectament quantificant la variabilitat periòdica a la brillantor de certes estrelles deguda al pas d'un dels seus planetes entre l'estrella i nosaltres –una variació moltes vegades tan tènue que la seua detecció resultava impossible abans de l'aparició dels sensors digitals moderns. En registrar la brillantor d'una estrella al llarg del temps, podem fer una corba de brillantor a partir de la qual deduir la massa i la distància de l'estrella principal, així com la mida, la massa i el període orbital



F. Ábalos-Vázquez



Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics



Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics



Mt. Wilson Archive, Carnegie Institution of Washington. Crèdit: Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics

Figura 3. **A)** Galàxia d'Andròmeda, també coneguda com a M31 o NGC 224. **B)** Edward Pickering amb el seu equip el maig de 1913. **C)** Henrietta Leavitt al seu escriptori del Harvard College Observatory. **D)** Edwin Hubble al Mount Wilson Observatory.

del possible exoplaneta. Una altra tècnica per detectar exoplanetes, també basada en la fotografia, consisteix a fotografiar estrelles pròximes on es puga observar un moviment propi respecte al «fons d'estrelles» més llunyanes. En algunes, el seu moviment resulta no ser rectilini sinó ondulat. La raó és que podria tenir un planeta gran que en desvia lleugerament la trajectòria. És a dir, seria un cas semblant als exoplanetes descrits anteriorment, amb la diferència que l'exoplaneta en qüestió no eclipsa l'estrella quan s'observa des de la Terra.

Avui dia, aquestes dues tècniques per buscar exoplanetes estan a l'abast dels aficionats a l'astronomia. Hi ha moltes raons per justificar l'interès de detectar exoplanetes. Cada nou exoplaneta ens ensenya alguna cosa sobre com funciona l'univers. Gràcies al descobriment d'exoplanetes, podem ser testimonis del naixement d'altres sistemes solars i aprendre sobre el nostre origen. També ens permet fer-nos una idea més exacta de la diversitat enorme de planetes que tenen cabuda a l'univers. Entre els més de 4.000 exoplanetes descrits fins ara, s'hi inclouen alguns sorprenentment semblants als mons gelats o desèrtics imaginats per la ciència-ficció, però també altres que superen els nostres somnis més fantasiosos

**«L'abaratiment de la tecnologia ha permès la proliferació de projectes de recerca en astronomia oberts al públic general (ciència ciutadana)»**



F. Ábalos Vázquez

Figura 4. Parella de galàxies: M81 (a la dreta de la imatge) i M82 (a l'esquerra). Tot i que des de la Terra semblen separades per gairebé el diàmetre de la Lluna, la distància entre elles és en realitat d'uns 150.000 anys llum.

(per exemple, Kepler-51 b, c i d, caracteritzats pels seus descobridors com a gegantines «boles de cotó» amb la mida de Júpiter, però una massa diversos centenars de vegades menor) (Libby-Roberts et al., 2020). Finalment, potser una de les motivacions més comunes per a la cerca d'exoplanetes és la possibilitat de trobar altres planetes compatibles amb la vida tal com la coneixem a la Terra. Els astrònoms denominen *zona habitable* (o zona de Goldilocks) a la regió entorn d'una estrella en què un exoplaneta podria albergar aigua en estat líquid (en cas de comptar amb una massa i pressió atmosfèrica adequades). Per tant, un dels paràmetres més importants per categoritzar un exoplaneta com a habitable és establir o conèixer la seua distància respecte a l'estrella al voltant de la qual orbita. A partir de la massa, la brillantor absoluta i la periodicitat en la brillantor de l'estrella principal, és possible determinar si un exoplaneta es troba en aquesta zona habitable. Avui dia, s'han descrit a la Via Làctia uns vint exoplanetes a la zona habitable, i s'estima que hi pugui haver fins a 40 milers de milions (Bryson et al., 2022; Petigura et al., 2013).

#### ■ DE QUÈ ESTÀ FET L'UNIVERS?

L'evolució en els detectors d'imatge ha estat clau no només per a la recerca d'exoplanetes, sinó també per a l'estudi de la composició química de l'univers. Cal

recordar que tot l'univers està compost de la mateixa matèria, i que gairebé la totalitat es troba en forma d'àtoms d'hidrogen, el primer element de la taula periòdica. La rica varietat d'elements químics que trobem a la Terra (però també en altres planetes, nebuloses, estels, etc.) va sorgir a partir de l'hidrogen mitjançant reaccions nuclears en les condicions extremes que es donen a l'interior de les estrelles. Els nostres cossos –però també, per exemple, el cometa C/2020 F3 (NEOWISE) que es pot veure a la Figura 5– constitueixen l'agregació temporal d'un conjunt d'àtoms (de carboni, hidrogen, ferro, silici, etc.), sorgits en una munió d'estrelles diferents fa milers de milions d'anys i que, a la llarga, es tornaran a dispersar per l'univers.

Per estudiar la composició química dels objectes de l'univers, es fa servir l'espectroscòpia, que permet descompondre la llum provinent d'una estrella (per exemple) i determinar els elements que hi són presents a partir del seu espectre de radiació electromagnètica. En escalfar-se, cada element de la taula periòdica emet llum en un patró de longituds d'ona que varia molt específicament amb la seua temperatura. Els espectres d'emissió dels diferents elements van començar a estudiar-se al laboratori ja des de la segona meitat del segle XIX (Huggins i Miller, 1864). El procediment consisteix a descompondre la llum emesa per una substància escalfada fins a la incandescència fent-la passar per un

## BREU INTRODUCCIÓ TÈCNICA A L'ASTROFOTOGRAFIA

L'element més important en un equip dedicat a l'astrofotografia és el sensor de la càmera digital. No només la fotografia digital és molt més sensible que la química, sinó que, a més, permet un processament essencial per destacar objectes tènues en un cel fosc. Dos dels principals avantatges són la possibilitat d'apilar centenars de fotografies fetes amb temps d'exposició breus, així com les eines que permeten «restar» el soroll propi de l'electrònica i altres fonts.

En molts casos, les càmeres digitals astronòmiques utilitzen els mateixos sensors que les càmeres digitals convencionals (sobretot en els dispositius d'aficionats), però els equips resultants tenen diferències importants. En primer lloc, les càmeres astronòmiques no porten òptica, disparador, botons d'ajustament ni visor. Totes aquestes funcions es controlen des del telescopi i/o l'ordinador que controla la càmera.

En astrofotografia, les càmeres presenten, a més, les característiques següents: 1) utilitzen sensors seleccionats entre els que tenen menys defectes, ja que en astrofotografia un píxel defectuós podria semblar una estrella; 2) la lectura del contingut de fotons al sensor es fa amb un convertidor analògic-digital de 16 bits que produeix un nombre de matisos de gris de 65.536 valors, mentre que en càmeres digitals comercials solen ser de 12 bits (4.096 valors), cosa que facilita el processament de les zones fosques (gairebé totes en astronomia), i 3) el sensor es tanca en una cambra aïllada i segellada a la qual s'aplica fred per reduir el soroll tèrmic.

Una altra diferència és que en cambres astronòmiques no es col·loquen filtres davant del sensor (accessoris destinats a modificar la distribució espectral de la radiació transmesa) que eliminin les longituds d'ona d'infraroig i ultraviolat. Fer fotografies amb un espectre de llum eixamplat (que inclogui l'infraroig i l'ultraviolat) genera un tipus de distorsió òptica coneguda com a *aberració cromàtica* (imatges desenfocades amb vores acolorides). Per eliminar aquest problema, les càmeres convencionals inclouen un filtre que elimina aquestes longituds d'ona. En astrofotografia científica, però, molt sovint es van buscant precisament aquestes bandes invisibles a l'ull humà, per exemple, per localitzar estrelles de formació recent o estudiar els objectes més antics i tènues (en l'espectre visible) de l'univers observable.

De la mateixa manera, els sensors fotogràfics són normalment monocroms, però en fotografia convencio-

nal s'afegeix una matriu de microfiltres de color vermell, verd i blau (RGB, per les sigles en anglès) per facilitar l'obtenció de fotografies en color. En els sensors dedicats a astrofotografia, per contra, s'utilitzen els sensors monocroms «nus» per tal de captar tanta llum com siga possible. Això possibilita la utilització d'una gran varietat de filtres, cadascun optimitzat per a una funcionalitat molt específica. Els filtres més utilitzats es poden classificar per la banda de l'espectre electromagnètic que deixen passar. Els de banda ampla, que abasten un rang ampli de longituds d'ona, són els anomenats L (luminància), R (*red*=vermell), G (*green*=verd), B (*blue*=blau). Si es combinen quatre fotos monocromes fetes amb aquests quatre filtres i es corregeix la intensitat total (luminància), s'obté una fotografia en color més o menys realista (Figures 2-6). Entre els de banda estreta cal destacar els anomenats H $\alpha$  (hidrogen  $\alpha$ ), OIII (oxigen ionitzat III) i SII (sofre ionitzat II), corresponents a tres de les bandes d'emissió més abundants entre els elements ionitzats que componen la majoria de nebuloses d'emissió. Les fotografies fetes amb els filtres de banda estreta incorporen informació que es pot fer servir per estudiar la composició química d'una nebulosa d'emissió.

Mostrar aquesta composició química amb un codi de colors realista planteja problemes: la informació de H $\alpha$  (gairebé infraroig) hauria d'anar al canal vermell, la informació d'OIII es pot repartir a parts iguals entre els canals verd i blau, però la informació de SII està massa a prop de la de H $\alpha$ . Per aquest motiu, se sol fer servir una paleta de colors diferent per ressaltar més els diferents elements de la nebulosa. Es perd realisme, però es guanya en visibilitat de la informació. Una paleta molt utilitzada és la paleta Hubble, anomenada així perquè va començar a utilitzar-se amb el telescopi espacial Hubble. A la Figura 6 es pot apreciar la diferència entre una fotografia de la nebulosa de la Roseta (NGC 2237) ampla, i la mateixa nebulosa quan combinem la informació en banda ampla i estreta utilitzant la paleta Hubble.

En conjunt, la sofisticació creixent de la tecnologia fotogràfica posa en mans d'aficionats i professionals una poderosa eina per estudiar l'univers. Aquesta revolució tecnològica ja ens ha deixat una proliferació d'importants descobriments en astronomia, i és raonable esperar que els pròxims anys la nostra comprensió de l'univers continuï avançant al ritme del progrés tecnològic en astrofotografia.



Figura 5. Estel C/2020 F3 (NEOWISE), descobert el març del 2020. Va ser observable fins i tot a simple vista durant tot el mes de juliol del 2020, cosa que no tornarà a passar fins d'aquí a diversos milers d'anys.

**«Cal destacar que els avenços en astronomia no es poden atribuir únicament a la fotografia, sinó a la ràpida millora en el conjunt d'instrumentació astronòmica»**

prisma òptic. S'obté així un espectre discontinu, principalment negre, amb algunes ratlles de colors. Cada element emet llum només en algunes longituds molt concretes. Si, per contra, mantenim fred l'element en qüestió, l'il·luminem amb una llum blanca i descomponem la llum transmesa amb un prisma òptic, s'obté un espectre de colors interromput per una sèrie de ratlles fosques que coincideixen amb les ratlles de color a l'espectre d'emissió (cada element absorbeix llum a les mateixes longituds d'ona on emet llum en incandescència). Una vegada elaborat el catàleg amb les «firmes espectrals» dels diferents elements, aquest coneixement es pot aplicar per esbrinar la composició i la temperatura de les estrelles i altres objectes celestes. A causa de la seua poca brillantor, aconseguir espectres fiables per a bona part dels objectes celestes era un autèntic desafiament o una cosa del tot impossible abans de l'aparició dels sensors de fotografia digital moderns.

El treball de pioners com Joseph von Fraunhofer (que el 1823 va deixar escrit que altres estrelles pre-

sentaven bandes d'emissió semblants a les del Sol), Sir William Huggins (que el 1864 va identificar aquestes bandes amb elements presents a la Terra), o el jesuïta italià Pietro Angelo Secchi (que el 1868 va reunir més de 4.000 espectres d'estrelles diferents descomponent amb un prisma òptic la llum captada en un telescopi), van demostrar que hi ha moltes estrelles semblants al Sol a l'univers, i que el Sol i les estrelles estan compostes dels mateixos materials que podem trobar a la Terra (Cassinello Espinosa, 2019; Taton i Curtis, 1995). La idea que el sistema solar constituïa alguna forma d'excepció a l'univers va haver de ser abandonada. Avui dia, les tècniques d'espectroscòpia i la tecnologia fotogràfica estan tan avançades que els astrònoms poden, per exemple, obtenir espectres de la llum d'una estrella filtrada a través de l'atmosfera d'un dels seus exoplanetes, fet que els permet estudiar la presència d'aigua i altres paràmetres necessaris per a la vida a l'atmosfera planetària (Benneke et al., 2019).

■ UN UNIVERS EN EXPANSIÓ

Una altra de les contribucions monumentals a l'astronomia que devem a l'espectroscòpia d'imatge és la confirmació empírica de l'expansió de l'univers. Des de la segona meitat del segle XIX, astrònoms com Sir William Huggins o Vesto Slipher havien descrit que els espectres de moltes nebuloses –més tard identificades com a galàxies– presentaven un patró de bandes d'emissió molt semblant del d'altres estrelles a la nostra galàxia, excepte per una condició: les línies d'emissió estaven desplaçades en igual mesura cap a longituds d'ona més grans; és a dir, cap al vermell (Slipher, 1915). Aquest fenomen, conegut com a *desplaçament cap al vermell*, va ser inicialment atribuït a aquest efecte Doppler, que descriu el canvi de freqüència aparent d'una ona produït pel moviment relatiu de la font respecte al seu observador, o de l'observador respecte de la font. Si un objecte emet una llum i s'acosta cap a nosaltres, o roman quiet mentre nosaltres ens hi acostem, percebrem la llum en una freqüència d'ona augmentada, desplaçada cap al blau. Si, per contra, l'objecte s'allunya, o es manté quiet mentre nosaltres ens allunyem, la llum ens arribarà amb una freqüència més baixa (desplaçada en la seua freqüència cap al vermell). Passa, a més, que el desplaçament cap al vermell, o cap al blau, serà més gran com més gran siga la velocitat a què s'allunya o acosta l'objecte. L'efecte Doppler també afecta el so i és el responsable que percebem el so d'una ambulància molt més agut quan s'acosta a nosaltres que quan s'allunya.

A mitjan segle XIX, en principi no hi havia raons per suposar cap pauta en el moviment de l'univers: el que s'esperava era que algunes nebuloses (en realitat, altres

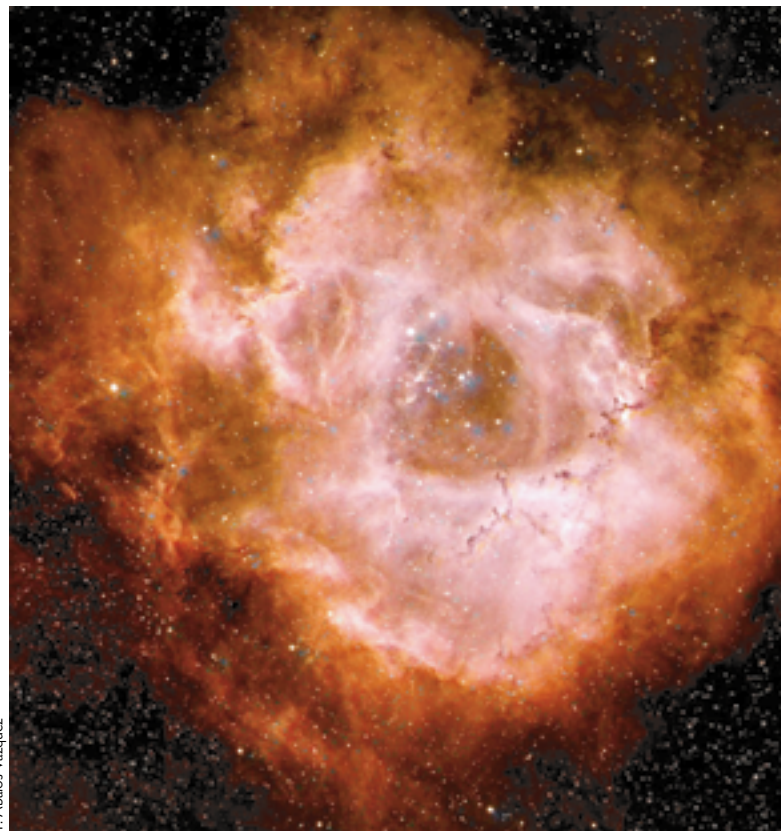
galàxies) presentessin un desplaçament cap al vermell mentre altres el presentessin cap al blau. Tot i això, l'observació d'un desplaçament cap al vermell consistent i la seua quantificació per a un gran nombre d'objectes celestes va permetre a Edwin Hubble concloure que l'univers estava en expansió, amb totes les seues galàxies i cúmuls de galàxies allunyant-se entre si a una velocitat directament proporcional a la distància que els separa (Hubble, 1929; Hubble i Humason, 1931). La formulació posterior de la teoria de la relativitat general d'Einstein ens va permetre entendre per què l'atribució del desplaçament cap al vermell a aquest efecte Doppler dona resultats erronis quan s'aplica a galàxies molt llunyanes: en realitat, l'allargament de l'ona es produeix per l'expansió del mateix espai-temps entre emissor i receptor, estirant l'ona (és a dir, disminuint la seua freqüència) a mesura que aquesta viatja (Bunn i Hogg, 2009; Harrison, 1993).

Per als objectes més distants (i que, per tant, s'allunyen a més velocitat) el desplaçament cap al vermell és tan pronunciat que les línies d'emissió i absorció s'observen més enllà del vermell, a la banda de l'infraroig. En conseqüència, els instruments utilitzats com a telescopis, lents, miralls i càmeres han de ser especialment sensibles a la radiació infraroja. Per estudiar l'univers visible més llunyà (que és el més antic), s'utilitzen telescopis els miralls dels quals no estan platejats o aluminitzats a la superfície reflectora, sinó daurats. L'or és molt més eficaç reflectint la radiació infraroja que altres metalls.

Una altra consideració necessària per fer fotografies a l'infraroig és refrigerar el sensor i tota l'electrònica fins a temperatures tan properes com siga possible al zero absolut (en cas contrari, la seua calor ocultarà la radiació infraroja de l'objecte fotografiat). Hi ha observatoris a la Terra que treballen a l'espectre infraroig (fins i tot hi ha aficionats que s'hi dediquen), però els telescopis més importants específicament dedicats a aquesta tasca es troben a l'espai. Els motius són principalment dos: en primer lloc, la seua localització extraatmosfèrica elimina l'efecte distorsionador de la mateixa atmosfera i, en segon lloc, mantenir els equips sensors prou freds és més senzill allà que a la Terra (sempre que els mantinguem protegits de la radiació solar directa). Un exemple actual el trobem en el telescopi espacial James Webb, recentment enviat a l'espai i equipat per estudiar com era l'univers fa milers de milions d'anys (Böker et al., 2022; Gardner et al., 2006). Els miralls hexagonals que componen el reflector del telescopi són daurats per poder observar els objectes més llunyans i antics de l'univers, que, sens dubte, seran a la part infraroja de l'espectre. El llançament del James Webb va tenir lloc el desembre del 2021 i les primeres imatges van arribar el juliol



F. Abalos Vázquez



F. Abalos Vázquez

Figura 6. Nebulosa de la Roseta (NGC 2237). La imatge superior es va obtenir combinant informació de banda ampla i estreta, fent servir la paleta Hubble per assignar el color. Per aconseguir la imatge inferior, només es va utilitzar la informació dels filtres RGB (banda ampla).



del 2022. Entre elles destaca la fotografia d'una fracció minúscula del cel visible de l'hemisferi sud que revela una autèntica simfonia composta per milers de galàxies. La majoria d'aquestes galàxies apareixen tal com eren fa uns 4.600 milions d'anys (poc després de la formació del sistema solar), i algunes apareixen distorsionades (o fins i tot reflectides) per l'efecte de lent gravitatòria que exerceix el cúmul de galàxies central. No hi ha dubte que imatges com aquesta han marcat un abans i un després a la història de l'astronomia. I, tanmateix, el més probable és que el millor encara estigui per arribar.

## ■ UNA EINA CLAU EN MANS DE LA CIUTADANIA

El desenvolupament ràpid de la tecnologia (i particularment la sofisticació dels detectors d'imatge) els darrers cent anys ha estat clau per a l'avenç de la investigació en astronomia, superant fins i tot en importància l'evolució en l'òptica dels telescopis. El grau de refinament ha estat tan alt que la construcció de grans telescopis ha anat perdent rellevància per la forta inversió que requereix davant els avantatges oferts per una instrumentació capdavantera acoblada a un telescopi més modest.

Ahora, l'abaratiment de la tecnologia ha permès la proliferació de projectes de recerca en astronomia oberts al públic general (ciència ciutadana). Entre les línies de recerca on l'aportació d'imatges obtingudes per aficionats a l'astronomia resulta particularment rellevant destaquen el seguiment d'asteroides, el descobriment de nous estels, la detecció d'exoplanetes i fins i tot la mesura de l'espectre d'emissió d'alguns objectes celestes (Henden et al., 2009).

Al llarg del darrer segle, la fotografia digital s'ha consolidat com una eina clau en la investigació astronòmica i tot apunta que la millora tecnològica, lluny de frenar-se, seguirà la seua acceleració els anys vinents, deixant-nos un reguitzell de descobriments sobre l'origen de l'univers, la seua grandària i expansió, o l'existència d'altres planetes habitables (o fins i tot habitats!).

### REFERÈNCIES

- Benneke, B., Wong, I., Piaulet, C., Knutson, H. A., Lothringer, J., Morley, C. V., Crossfield, I. J. M., Gao, P., Greene, T. P., Dressing, C., Dragomir, D., Howard, A. W., McCullough, P. R., Kempton, E. M. R., Fortney, J., & Fraine, J. (2019). Water vapor and clouds on the habitable-zone sub-Neptune exoplanet K2-18b. *The Astrophysical Journal Letters*, 887(1), L14. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab59dc>
- Böker, T., Arribas, S., Lützendorf, N., Alves de Oliveira, C., Beck, T. L., Birkmann, S., Bunker, A. J., Charlot, S., de Marchi, G., Ferruit, P., Giardino, G., Jakobsen, P., Kumari, N., López-Cañiego, M., Maiolino, R., Manjavacas, E., Marston, A., Moseley, S. H., Muzerolle, J., ... Zeidler, P. (2022). The near-infrared spectrograph (NIRSpec) on the James Webb Space Telescope. III. Integral-field spectroscopy. *Astronomy & Astrophysics*, 661, A82. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202142589>
- Bryson, S., Kunimoto, M., Koppurapu, R. K., Coughlin, J. L., Borucki, W. J., Koch, D., Aguirre, V. S., Allen, C., Barentsen, G., Batalha, N. M., Berger, T., Boss, A., Buchhave, L. A., Burke, C. J., Caldwell, D. A., Campbell, J. R., Catanzarite, J., Chandrasekaran, H., Chaplin, W. J., ... Zamudio, K. A. (2021). The occurrence of rocky habitable-zone planets around solar-like stars from Kepler data. *The Astronomical Journal*, 161(1), 36. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/abc418>
- Bunn, E. F., & Hogg, D. W. (2009). The kinematic origin of the cosmological redshift. *American Journal of Physics*, 77(8), 688–694. <https://doi.org/10.1119/1.3129103>
- Cassinello Espinosa, A. (2019). *La medida del cielo: Momentos estelares en las ciencias del cosmos*. Escolar y Mayo Editores S. L.
- Gardner, J. P., Mather, J. C., Clampin, M., Doyon, R., Greenhouse, M. A., Hammel, H. B., Hutchings, J. B., Jakobsen, P., Lilly, S. J., Long, K. S., Lunine, J. I., Mccaugherean, M. J., Mountain, M., Nella, J., Rieke, G. H., Rieke, M. J., Rix, H., Smith, E. P., Sonneborn, G., ... Wright, G. S. (2006). The James Webb space telescope. *Space Science Reviews*, 123(4), 485–606. <https://doi.org/10.1007/s11214-006-8315-7>
- Harrison, E. (1993). The redshift-distance and velocity-distance laws. *The Astrophysical Journal*, 403, 28–31.
- Henden, A. A., Welch, D. L., Terrell, D., & Levine, S. E. (2009). The AAVSO photometric all-sky survey (APASS). *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, 214, 402–407.
- Hubble, E. (1929). A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 15(3), 168–173. <https://doi.org/10.1073/pnas.15.3.168>
- Hubble, E., & Humason, M. L. (1931). The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae. *The Astrophysical Journal*, 74, 43–80. <https://doi.org/10.1086/143323>
- Huggins, W., & Miller, W. A. (1864). On the spectra of some fixed stars. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 154, 413–445. <https://doi.org/10.1098/rstl.1864.0012>
- Leavitt, H. S., & Pickering, E. C. (1912). Periods of 25 variable stars in the Small Magellanic Cloud. *Harvard College Observatory Circular*, 173, 1–3.
- Libby-Roberts, J. E., Berta-Thompson, Z. K., Désert, J.-M., Masuda, K., Morley, C. V., Lopez, E. D., Deck, K. M., Fabrycky, D., Fortney, J. J., Line, M. R., Sanchis-Ojeda, R., & Winn, J. N. (2020). The featureless transmission spectra of two super-puff planets. *The Astronomical Journal*, 159(2), 57. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab5d36>
- Mayor, M., & Queloz, D. (1995). A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature*, 378(6555), 355–359. <https://doi.org/10.1038/378355a0>
- Petigura, E. A., Howard, A. W., & Marcy, G. W. (2013). Prevalence of Earth-size planets orbiting Sun-like stars. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(48), 19273–19278. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319909110>
- Rossiter, M. W. (1980). "Women's work" in science, 1880-1910. *ISIS*, 71(3), 381–398. <https://doi.org/10.1086/352540>
- Shapley, H., & Curtis, H. D. (1921). The scale of the universe. *Bulletin of the National Research Council*, 2(11), 171–217. <https://archive.org/details/scaleofuniverse00shap>
- Slipher, V. M. (1915). Spectrographic observations of nebulae. *Popular Astronomy*, 23, 21–24.
- Taton, R., & Curtis, W. (1995). *Planetary astronomy from the Renaissance to the rise of Astrophysics: Part B: The Eighteenth and Nineteenth centuries*. Cambridge University Press.

NOTA: Totes les fotografies astronòmiques d'aquest article han estat fetes des de l'Observatori d'AstroCamp a Nerpio (Albacete) amb un telescopi refractor de 130 mm de diàmetre i una càmera CCD refrigerada i són obra de Fernando Ábalos Vázquez.

**FERNANDO ÁBALOS VÁZQUEZ.** Enginyer i cap d'operacions al Complex Astronòmic AstroCamp (Nerpio, Albacete, Espanya), un projecte científicotècnic fundat el 2011 amb l'objectiu de facilitar l'accés a unes condicions òptimes per a l'astrofotografia a través de l'ús de telescopis en remot.

✉ [fernando@astrocamp.es](mailto:fernando@astrocamp.es)

**JAVIER ÁBALOS.** Investigador postdoctoral del Laboratori d'Etologia. Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva de la Universitat de València (Espanya). La seua investigació se centra en l'estudi de la coloració i el comportament dels animals, tot i que els seus interessos científics són amplis.

✉ [jal4@uv.es](mailto:jal4@uv.es)