

Fuencisla Francés. *So*, 2009. Suport de tela, collage d'oli sobre paper, 75 x 75 cm.

L'UNIVERS AMB NOUS ULLS

L'OBSERVACIÓ ASTRONÒMICA EN EL VISIBLE I INFRAROIG

Rafael Rebolo

Seeing the Universe through New Eyes. Visible and Infrared Astronomical Observation.

The next decade will witness the construction of a new generation of much larger ground and space telescopes: the so-called Extremely Large Telescopes with diameters exceeding 30 m and the 6.5 m James Webb Space Telescope. These will constitute the main devices for optical and infrared astronomy in the near future. These telescopes will feed the most sophisticated set of instruments astronomers have ever built, incorporating state-of-the-art optical components and detectors. These awe-inspiring telescopes and instruments are technically challenging but necessary to satisfy our quest for greater knowledge of the Universe.

S'ha avançat molt des que Galileu va fer servir un telescopi per realitzar observacions astronòmiques cap a l'any 1609. Si bé els principis bàsics no han canviat substancialment, els grans telescopis òptics d'avui, a diferència dels del segle XVII, són portentoses màquines d'extraordinària precisió mecànica i gran qualitat d'imatge. Els majors telescopis òptics tenen diàmetres que superen els 10 metres i poden detectar objectes cent milions de vegades més dèbils que el primer telescopi de Galileu. Aquests telescopis apunten a qualsevol font astronòmica amb un error de posicionament inferior a uns pocs segons d'arc i són capaços de realitzar el seguiment de la font amb una precisió de desenes de mil·lisegons d'arc. Utilitzant tècniques d'òptica adaptativa que corregeixen l'esborronament que introdueixen les fluctuacions atmosfèriques en la propagació de la llum, es poden obtenir imatges que en l'infraroig pròxim ja assoleixen el límit de difracció ($1,22 \lambda/D$, on λ és longitud d'ona i D el diàmetre del telescopi). En el cas dels telescopis de major diàmetre, els Keck de 10 metres instal·lats a Hawaii i el Gran Telescopi de Canàries (GTC), de 10,4 metres, a La Palma, aquestes imatges infraroges poden assolir una resolució espacial superior a 40 mil·lisegons d'arc. Dotats d'una varietat d'espectrògrafs òptics i infrarojos de poder resolutiu des de 100 fins més de 100.000¹, aquests telescopis faciliten informació molt valuosa sobre els processos físics que tenen lloc en una enorme varietat

de fonts còsmiques i són, en definitiva, màquines molt poderoses de fer ciència.

Des de fa unes quantes dècades també disposem de telescopis en l'espai que han estès el tradicional rang d'observació en el rang visible a altres regions de l'espectre electromagnètic que no són accessibles des de la Terra. El més destacat d'aquests telescopis és el Hub-

«ELS MAJORS TELESCOPIS ÒPTICS TENEN DIÀMETRES QUE SUPEREN ELS 10 METRES I PODEN DETECTAR OBJECTES CENT MILIONS DE VEGADES MÉS DÈBILS QUE EL PRIMER TELESCOPI DE GALILEU»

ble, un telescopi de 2,4 metres de diàmetre construït per la NASA en què participa l'Agència Espacial Europea (ESA) amb una contribució del 15%. Aquest telescopi, que es troba en una òrbita relativament baixa (593 km sobre el nivell del mar), accessible per al transbordador espacial, ha realitzat observacions en el rang ultravioleta, visible i infraroig pròxim que constitueixen un referent de l'astronomia moderna. Les imatges més profundes de l'univers s'han obtingut amb el telescopi Hubble en el rang visible i s'hi detecten objectes amb magnitud superior a 27. Els millors ulls humans només poden detectar a ull nu estels més brillants que els de magnitud 6. Més recentment s'han llançat altres telescopis espacials i s'han situat en òrbites molt més distants, concretament

¹ Magnitud que ens dona una idea de la diferència més petita en longituds d'ona que podem distingir en un espectre; com més gran siga, millor és la resolució i més fina l'observació espectral.



a un milió i mig de quilòmetres, en el segon punt de Lagrange. És el cas del telescopi Herschel de l'ESA, dedicat a l'infraroig llunyà i submil·limètric, que fa mesos que opera en un ambient de molt baixa temperatura i extraordinària estabilitat tèrmica que permet observacions de gran sensibilitat a aquestes longituds d'ona. Els reptes tecnològics associats amb aquestes missions espacials, per si descomunal, possiblement seran superats en dificultat pels que ha d'afrontar el futur telescopi espacial James Webb de 6,5 metres de diàmetre. Aquest nou telescopi, de caràcter segmentat i desplegable, serà llançat l'any 2014 si tot va bé i la seua òrbita serà semblant a la del satèl·lit Herschel. Disposarà d'instrumentació avançada en l'infraroig pròxim i mitjà, però també de capacitat de detecció en el visible. Com a il·lustració de l'envergadura del projecte no cal sinó mencionar que l'escut de protecció per a la radiació solar d'aquest telescopi té una àrea equivalent a la d'una pista de tennis.

Les limitacions de cost fan difícil construir telescopis espacials molt més grans. Això significa una menor capacitat resolutiva en les imatges que s'obtenen en l'espai enfront de la dels grans telescopis terrestres quan són equipats amb sistemes d'òptica adaptativa, però els telescopis espacials poden assolir major sensibilitat en certs rangs de l'espectre gràcies a un ambient molt estable de baixa temperatura i a l'absència d'atmosfera. En l'ultravioleta, en part del rang visible, i en l'infraroig mitjà i llunyà els futurs telescopis espacials posseeixen una sensibilitat difícilment superable des de terra.

■ TELESCOPIS GEGANTS

Als Estats Units i a Europa es dissenyen actualment telescopis gegants segmentats de 30 metres i 42 metres de diàmetre que es configuren basant-se en centenars d'espills sobre els quals s'actua amb sistemes mecànics de gran precisió perquè en tot moment defineixen una superfície òptica perfecta. Aquest tipus de tecnologies, que van ser pioneres en els telescopis Keck i després desenvolupades pel GTC, són reconegudes ara com la clau per als futurs telescopis gegants i supergegants. No hi ha a priori una limitació que impedisca estendre aquesta tecnologia a telescopis de major diàmetre i fins i tot l'organisme internacional ESO (Observatori Europeu Austral) ha desenvolupat un concepte de telescopi de 100 metres que probablement haurà d'esperar fins que els telescopis de 30-40 metres es facen realitat per poder ser dissenyat en detall. Aquests telescopis de més de 30 metres són coneguts per les sigles en anglès ELT (Extremely Large Telescopes) i suposen per a cada un inversions pròximes als mil milions d'euros, suma que no s'allunya gaire dels costos de les missions centrals de ciència de l'ESA.

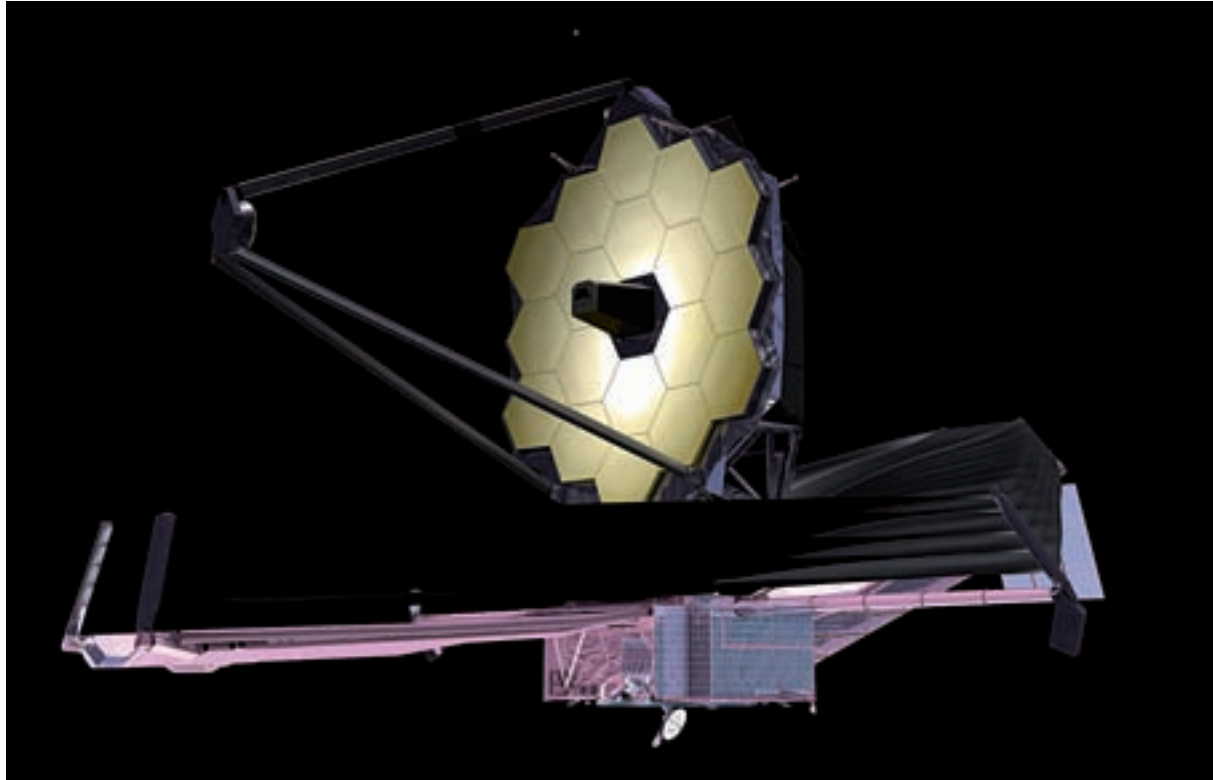


El telescopi espacial infraroig de l'ESA, Herschel, va ser llançat el passat 14 de maig de 2009. Es tracta del major i més potent telescopi infraroig llançat fins a la data i permetrà estudiar l'origen i l'evolució d'estels i galàxies.

**«ALS ESTATS UNITS I A EUROPA ES
DISSENYEN ACTUALMENT TELESCOPIS
GEGANTS SEGMENTATS DE 42 METRES
DE DIÀMETRE QUE ES CONFIGUREN
BASANT-SE EN CENTENARS D'ESPILLS»**



© ESA - D. Ducros, 2009



© NASA

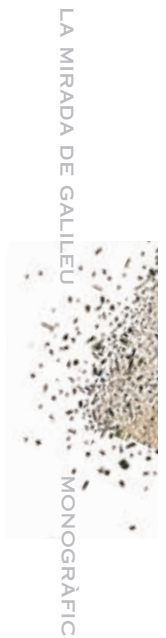
El 2014 es preveu el llançament del telescopi espacial James Webb, una simulació del qual podem veure en la imatge. Amb un diàmetre de 6,5 metres, el telescopi tindrà una òrbita semblant a la del Herschel. Tot i que la resolució de les imatges és menor que la dels grans telescopis terrestres, els telescopis espacials poden obtenir major sensibilitat en certs rangs de l'espectre gràcies a un ambient molt estable de baixa temperatura i a l'absència d'atmosfera.

Concretament el telescopi europeu de 42 metres, conegut com E-ELT, estarà equipat amb un sistema d'òptica adaptativa que permetrà obtenir imatges d'una resolució superior als 10 mil·lisegons d'arc en l'infraroig pròxim i, en cas que s'aprove de construir-lo l'any que ve, podria entrar en funcionament a final de la dècada vinent. Espanya és un membre actiu del consorci que impulsa el desenvolupament d'aquest telescopi gràcies en gran mesura a la nostra experiència amb el GTC, que és molt singular a Europa. L'observatori del Roque de los Muchachos competeix com una de les possibles ubicacions per a aquest telescopi. Per als ELT és fonamental situar-se en un observatori excel·lent en termes d'estabilitat atmosfèrica (el *seeing* dels astrònoms), on, a més, els sistemes d'estels làser artificials funcionen de manera eficaç. Aquests sistemes làser permeten crear estels de referència per excitació dels àtoms de sodi en altes capes de l'atmosfera terrestre. Amb aquests estels de referència és possible corregir en temps real la distorsió introduïda en la propagació del front d'ona per les fluctuacions atmosfèriques. Es resoluria així el problema de la falta d'estels naturals de prou brillantor, que és un factor limitant en l'ús de la correcció d'òpti-

ca adaptativa en qualsevol direcció en què s'apunte el telescopi.

La instrumentació que es planifica per als telescopis segmentats gegants és la més complexa que s'haja construït en telescopis terrestres i preveu des de sistemes d'imatge amb contrast molt alt capaç de detectar exoplanetes a separacions inferiors a un segon d'arc del seu estel (la brillantor dels exoplanetes de tipus terrestre pot ser mil milions de vegades més dèbil que la del seu estel), a espectrògrafs ultraprecisos i estables capaçs de mesurar en directe la velocitat d'expansió de l'univers, per a la qual cosa es requereixen mesures amb una precisió pròxima a 1 cm/s estables en escales d'anys. Aquesta mateixa precisió permetria detectar planetes com la Terra pel seu efecte gravitatori en estels semblants al Sol. Aquests i altres instruments proposats per als futurs telescopis gegants es basen en la gran experiència adquirida en el desenvolupament d'instrumentació per a telescopis en terra i en espai.

Al món hi ha uns deu telescopis de classe 8-10 metres en funcionament, i almenys trenta telescopis de classe 2-4 metres. Cada un està equipat habitualment amb dos o tres instruments que permeten obtenir imat-



LA MIRADA DE GALILEU

MONOGRÀFIC

UN UNIVERS D'INSTRUMENTS PER A L'OBSERVACIÓ ASTRONÒMICA

Durant els darrers cent anys, l'ús del telescopi òptic com a eina fonamental per a l'exploració de l'univers s'ha vist complementat per una bateria d'instruments que han obert noves vies d'exploració astronòmica. Des del punt de vista qualitatiu, podem agrupar aquestes noves eines en dos grans fronts: d'una banda l'obertura de tot l'espectre electromagnètic (i no tan sols la llum visible) per a l'observació astronòmica i d'altra l'ús de l'espai com a ubicació de les nostres eines d'exploració remota o *in situ* dels cossos astronòmics. Naturalment, el domini d'un munt de tecnologies ha estat la clau per a aquests progressos; malgrat tot, han estat sovint les necessitats científiques les que han promogut també els reptes tecnològics. Ciència i tecnologia han anat de la mà en aquesta excursió tan fascinant.

Tot començà al primer quart del segle xx, i com passa sovint, per casualitat. Tot investigant l'origen del soroll a les transmissions telefòniques transoceàniques amb una antena unidireccional, Karl Jansky conclougué que era degut al pas de la nostra galàxia pel cel. Amb això s'obria la radioastronomia, és a dir l'observació de l'univers en ones de ràdio, a longitud d'ona de metres, centímetres o fins i tot mil·límetres.

Avui dia la radioastronomia a ones centimètriques ofereix la millor resolució espacial, mitjançant tècniques interferomètriques. El senyal rebut simultàniament per diferents antenes amb els seus receptors es combina, obtenint la resolució angular equivalent a la d'una antena virtual gegant. El VLA (Very Large Array) a Socorro, és el paradigma d'interferometria connexa, on el senyal de les seves 27 antenes que es poden moure fins a una separació de 36 km es combina en temps real. Per assolir resolucions angulars més grans, la interferometria de molt llarga base usa antenes de ràdio localitzades a distàncies de milers de km (fins i tot a diferents continents), però allà el senyal es guarda i es combina des-

prés als centres de correlació, com al JIVE (Joint Institute for VLBI in Europe), a Dwingeloo, Holanda. La resolució angular que s'assoleix és de mil·lèsimes de segon d'arc. Fins i tot es treballa per fer interferometria no connexa entre antenes a terra i a l'espai.

L'observació a ones de ràdio mil·limètriques és notablement més difícil, sobretot per la influència del vapor d'aigua atmosfèric. Els observatoris d'ones mil·limètriques, com els del consorci IRAM al Plateau de Bure (Alps francesos) o a Pico Veleta, són a llocs particularment alts i secs. ALMA és el projecte global d'astronomia mil·limètrica, actualment en construcció al Llano de Chajnantor, prop de San Pedro de Atacama (Xile) a 5.100 metres d'alçada. Tindrà 66 antenes que es podran configurar sobre una separació de quasi 10 km, en un lloc on les condicions atmosfèriques són possiblement úniques. Això ha portat pràcticament tots els països a consorciar-se al voltant d'aquest projecte (Europa, EUA, Canadà, Japó i Taiwan), que esperem que s'acabi de construir cap al 2012.

L'observació de radiació infraroja i visible ha guanyat en sensibilitat i qualitat un munt d'ordres de magnitud des dels temps de Galileu. Part d'aquest progrés espectacular ha vingut de la construcció de telescopis més grans, i situats en llocs privilegiats. Avui dia tenim telescopis com el Gran Telescopi de Canàries (GTC) de més de 10 metres de diàmetre, i també el Very Large Telescope (VLT) conjunt de quatre telescopis de 8 metres cadascun, que juntament amb altres quatre telescopis mòbils menors (d'1,8 metres) poden fer interferometria amb la llum visible i infraroja i per tant veure l'univers amb una resolució altíssima.

Malgrat que la llum visible i part de la infraroja es pot observar des de la superfície de la terra, l'accés a l'espai ha estat clau també per al progrés a aquestes bandes. En primer lloc perquè la qualitat de la imatge que s'obté en absència d'atmosfera és superior; d'aquí que el Te-

«LES NECESSITATS CIENTÍFIQUES HAN ESTAT SOVINT LES QUE HAN PROMOGUT ELS REPTES TECNOLÒGICS. CIÈNCIA I TECNOLOGIA HAN ANAT DE LA MÀ EN AQUESTA FASCINANT EXCURSIÓ»



LA MIRADA DE GALILEU

MONOGRÀFIC



lescopi Espacial Hubble (HST) hagi portat una autèntica revolució a l'astronomia tradicional. Val a dir que avui dia, i gràcies a tècniques d'òptica adaptativa, els efectes nocius de les turbulències atmosfèriques sobre les imatges astronòmiques a la banda òptica es poden corregir parcialment; això, però, només és possible encara sobre petites zones del cel. Addicionalment, l'accés a les longituds d'ona infraroges més llargues es complica fins i tot des de llocs particularment alts i secs; d'aquí que missions com ISO (Infrared Space Observatory), Spitzer o el més recent Herschel són pràcticament les úniques opcions que tenim per a observar a l'infraroig llunyà, especialment important per a estudiar molècules i la formació d'estels.

L'accés científic a les radiacions de longitud d'ona més curta que la llum visible ha estat paral·lel al desenvolupament de la tecnologia espacial. L'atmosfera de la Terra absorbeix eficientment (per fortuna) la radiació ultraviolada, els raigs X i els raigs gamma. Tota aquesta branca de l'astronomia ha crescut durant els darrers cinquanta anys, quan hem estat capaços de posar en òrbita i operar sondes espacials. A la banda ultraviolada, l'observatori IUE (International Ultraviolet Explorer), en funcionament durant dinou anys, ens aportà la principal eina d'exploració en aquesta banda de l'espectre electromagnètic; només el telescopi espacial Hubble (HST) mantingué aquesta finestra a l'univers parcialment oberta durant uns anys.

La banda de raigs X només es va obrir a començament dels anys seixanta, i portà des del principi importants sorpreses: estels com el Sol emeten poca radiació X, però d'altres, com estels de neutrons, nans blancs o forats negres, són potentíssims emissors de raigs X. Després d'un seguit de missions en òrbita, la tecnologia ha permès que avui dia disposem de vertaders teles-

copis que focalitzen i detecten raigs X des de l'espai, amb unes prestacions molt avançades. En combinació, les tres missions actualment en funcionament, Chandra, XMM-Newton i Suzaku, poden fer imatges d'alta resolució i espectres de resolució mitjana i baixa.

Els raigs gamma són més escassos i encara més difícils de focalitzar que els raigs X. Malgrat tot, innovadores tècniques ens han permès obtenir imatges en baixa resolució de l'univers a aquestes longituds d'ona. INTEGRAL (International Gamma-Ray Astronomy Laboratory), fins ara l'observatori de raigs gamma de baixa energia més sensible, ens ha donat una visió panoràmica de la nostra galàxia. La missió Fermi ens donarà la primera visió comparable de l'univers, però a longituds d'ona de l'ordre d'un nucli atòmic, mil vegades més petites que INTEGRAL i per tant mil vegades més energètiques.

Les radiacions encara més energètiques, al rang del Tera-electron-volts (TeV) poden ser detectades de manera indirecta des de la superfície de la Terra. Això és degut al fet que en desintegrar-se a l'atmosfera emeten radiació Txerenkov que acaba produint flaixos de llum visible. Aquests flaixos es poden detectar amb telescopis especialment dissenyats com MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov) o HESS (High-Energy Stereoscopic System).

Així doncs, l'astronomia del segle XXI gaudeix d'una capacitat d'exploració de l'univers sense precedents, on tota la radiació electromagnètica es pot usar per a estudiar el processos físics que passen a planetes, estels i galàxies de tota mena. Altres fronteres, com les ones gravitatòries o els neutrins, també formaran part d'aquestes eines en un futur i sens dubte obriran noves finestres d'observació a l'univers.

XAVIER BARCONS
Instituto de Física de Cantabria (CSIC-UC)

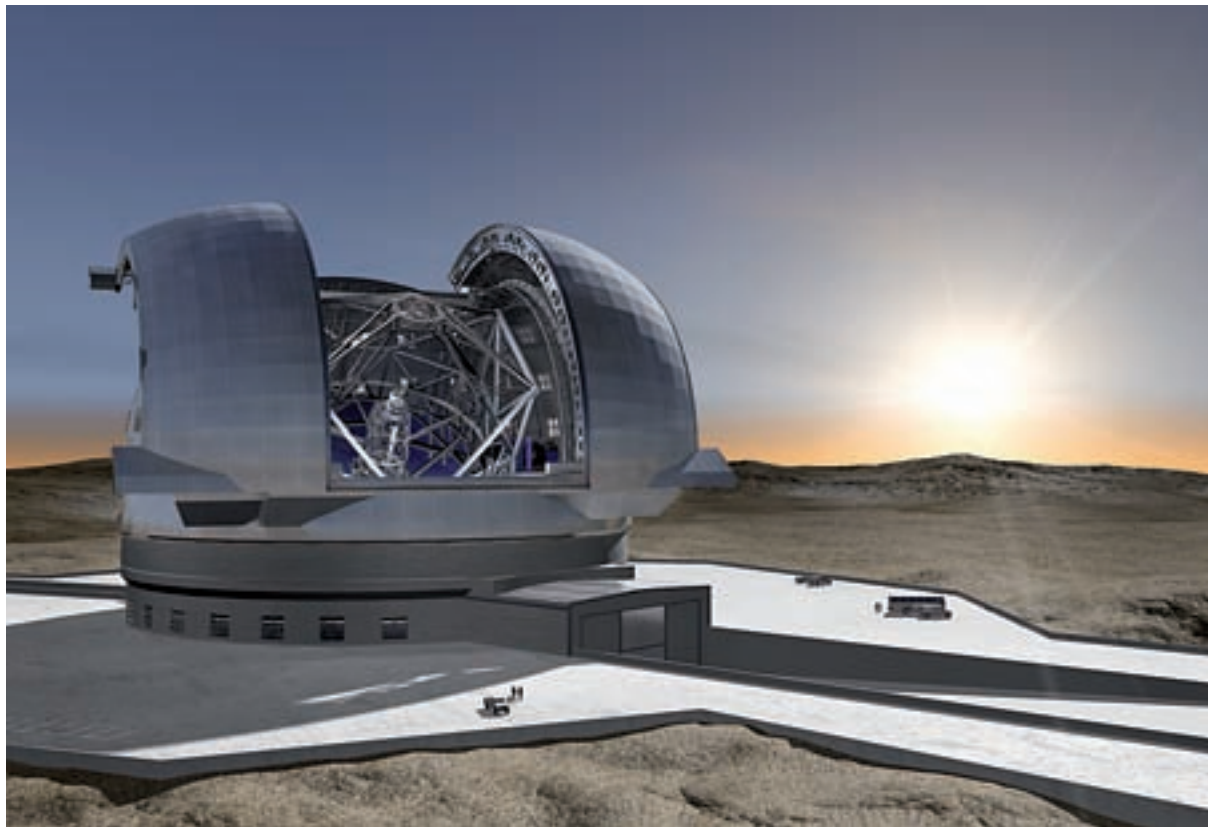
En el darrer segle, l'astronomia ha vist com una sèrie de nous instruments li permetien noves vies d'exploració i recerca. En la imatge, el Gran Telescopi de Canàries, ubicat a uns 2.400 metres d'altitud a l'observatori del Roque de los Muchachos a l'illa de La Palma, que forma part del grup de grans telescopis amb més de 10 metres de diàmetre.

© GTC/Pablo Bonet

LA MIRADA DE GALILEU

MONOGRÀFIC





© ESO/H. Zodet

Figuració de l'E-ELT (European-Extremely Large Telescope), un projecte de l'Organització Europea per a la Investigació Astronòmica a l'hemisferi Austral. Es preveu que l'E-ELT, que tindrà 42 metres de diàmetre, comence la seua activitat l'any 2018.

ge o espectroscòpia. Això representa al voltant de cent instruments astronòmics distribuïts i operatius arreu del món que són a hores d'ara el principal cavall de batalla dels astrònoms que treballen en el visible i en l'infraroig. Hi ha una enorme experiència acumulada en els centres d'investigació astronòmica i també en empreses privades en el desenvolupament de components avançats que optimitzen la transmissió, reflexió i dispersió de llum visible o infraroja per a aquests instruments. Ben sovint, aquests components (lents, prismes, xarxes de dispersió) i en general la major part dels detectors que finalment registren l'arribada dels fotons han d'operar dins de criòstats amb alt buit i refredats amb nitrogen líquid. Especialment els detectors precisen treballar a baixes temperatures per mantenir el soroll de lectura i el corrent de foscor dins de valors acceptables. Criogènica i astronomia estan, per tant, cada vegada més unides.

■ DETECTORS

Cal remarcar aquí l'enorme progrés que s'ha realitzat en la tecnologia de CCD (detector de dispositiu d'aco-

blament de càrrega), que en els anys vuitanta va començar a incorporar-se en la instrumentació astronòmica amb formats relativament petits. Avui dia aquests són els detectors (E2V, Marconi, Texas Instruments) més sovint utilitzats en astronomia i presenten eficiències quàntiques² molt elevades (> 90%) en tot el domini visible oferint formats de grandària considerable que superen els 4.000 x 4.000 píxels. És comú trobar instruments dotats d'un sistema de detecció compost d'un mosaic construït amb diversos detectors CCD. Un nou tipus de detector òptic anomenat Low Light Level CCD (o L3CCD) presenta sorolls de lectura molt baixos (<1 e⁻) alhora que una ràpida velocitat que permet transferir la informació d'un detector de 512 x 512 píxels en menys de 30 mil·lisegons. Aquest tipus de detectors són utilitzats en els sistemes d'òptica adaptativa perquè ofereixen una resposta ràpida i per tant tenen capacitat de mesura ràpida de les propietats del front d'ona. Però també es comencen a utilitzar en càmeres d'imatge ultraràpides que permeten mesurar l'impacte

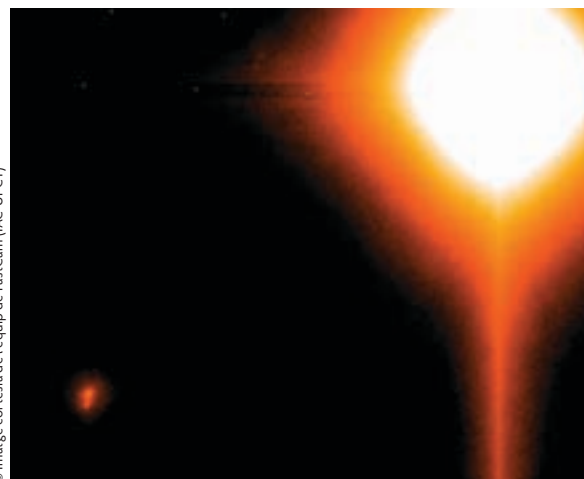
² L'eficiència quàntica mesura la sensibilitat d'un dispositiu fotosensible com una pel·lícula fotogràfica o un CCD.

de les distorsions atmosfèriques en cada imatge individual i realitzar la selecció d'imatges que no han estat distorsionades de manera significativa (*lucky imaging*), és a dir, aquelles que verifiquen una qualitat excel·lent. Amb exposicions de 30 mil·lisegons hem comprovat que s'aconsegueixen imatges en el rang visible amb una resolució pròxima al límit de difracció de telescopis de classe 2-4 m. Actualment, el nostre grup en l'IAC (Institut de Astrofísica de Canarias) investiga el potencial d'aquests detectors per obtenir imatges de molt alta resolució en combinació amb sistemes d'òptica adaptativa en telescopis de 4 m. Els primers resultats mostren imatges de resolució millor que 90 mil·lisegons d'arc a 850 nm.

Pel que fa als detectors d'infrarojos, el progrés ha estat també extraordinari, i en l'última dècada cada vegada més instruments han incorporat detectors de format 2000 x 2000 píxels d'alta eficiència quàntica entre 1 i 2 microns que han significat una autèntica revolució pel seu potencial científic. En aquest tipus de detectors hi ha encara marge per a millores significatives, especialment en els sorolls de lectura. L'exploració 2MASS d'ambdós hemisferis en les bandes infraroges J, H i Ks va representar un avenç extraordinari per a la comprensió del cel infraroig, estès de manera sensorial pel satèl·lit Spitzer, i esperem que en un futur pròxim també pel telescopi de 4 m VISTA que ESO dedicarà exclusivament a diverses exploracions del cel de l'hemisferi sud. Igualment, els espectrògrafs d'infrarojos són avui instruments quotidians en els telescopis més avançats. A Espanya s'ha construït íntegrament un d'aquests instruments infrarojos criogènics, LIRIS, que porta en funcionament més de cinc anys en el telescopi William Herschel de 4,2 m, a La Palma, amb notable èxit.

El futur segurament ens proporcionarà millors detectors d'infrarojos i algunes millores en els detectors òptics, però cada vegada hi ha menys marge perquè ens acostem a les màximes eficiències quàntiques possibles. No és previsible que les millores en sensibilitat proporcionades en les darreres dècades pels avenços en tecnologia de detecció es repetesquen novament. Hi ha, però, espai per a millorar en la qualitat dels components òptics, per exemple en les eficiències de transmissió de les xarxes utilitzades per dispersar la llum i en alguns components més, però sembla clar que

**«ELS TELESCOPIS
DE MÉS DE 30 METRES
SUPOSEN PER A CADA
UN INVERSIONS PRÒXIMES
ALS MIL MILIONS D'EUROS,
QUE NO ESTAN LLUNY
DELS COSTOS DE
LES MISSIONS CENTRALS
DE CIÈNCIA DE L'ESA»**



Imatge del sistema múltiple Gliese 569 obtinguda en juny de 2009 amb FastCam en combinació amb el sistema d'òptica adaptativa NAOMI del telescopi de 4,2 metres William Herschel a l'Observatori del Roque de los Muchachos. La imatge resulta de la combinació de milers d'exposicions preses amb temps d'exposició de 30 mil·lisegons emprant un filtre de banda ampla centrat a 850 nm. El sistema doble débil està lligat gravitatòriament a l'estel brillant. Està format per dos nans marrons (objectes de la mida de Júpiter però més densos) i es troba a uns 5 segons d'arc de l'estel brillant, el que suposa una distància física un poc major de l'existent entre el Sol i Plutó. En aquesta imatge es resolten els dos nan marrons amb una separació angular de 90 mil·lisegons d'arc que correspon a una separació física entre elles similar a la que hi ha entre el Sol i la Terra.

el camí per aconseguir incrementar la sensibilitat de les nostres observacions en el visible i infraroig pròxim passa principalment per la construcció de telescopis de major superfície col·lectora. La nova generació de telescopis de 30-40 metres presenta un repete tecnològic de primera magnitud, però, per difícil que resulte, és imprescindible abordar-lo si volem donar resposta a molts dels problemes astronòmics que continuen oberts. ☺

BIBLIOGRAFIA

- IAC. FastCam. Cámara de alta resolución. IAC / UPCT. Adreça URL: <<http://www.iac.es/proyecto/fastcam/>>
OPTICON. Optical Infrared Coordination Network for Astronomy [en línia]. Adreça URL: <<http://www.astro-opticon.org>>
SÁNCHEZ MARTÍNEZ, F.; RODRÍGUEZ ESPINOSA, J. M. i R. REBOLO LÓPEZ (ed.), 2010. *Science with the 8-10 m telescopes in the era of the ELTs and the JWST*. Instituto de Astrofísica de Canarias. Fundación Ramón Areces. Madrid.

Rafael Rebolo. Investigador de l'Institut de Astrofísica de Canarias (IAC).

