

Il·lustracions d'Einstein: Adrià Pina. A dalt, *JOC, Einstein 1*. 2000. Acrílic, pigment, llapis litogràfic i 1 peça (llautó) s/tela, 68'5 x 72 x 6 cm.  
Adrià Pina. *JOC, Einstein 2*. 2000. Acrílic, pigment, llapis litogràfic i 1 peça (llautó) s/tela, 75 x 94 x 6 cm.



# L'ANY D'EINSTEIN

---

**U**N SEGLE DESPRÉS DE L'ANOMENAT *ANNUS MIRABILIS*, QUAN EL JOVE ALBERT EINSTEIN PUBLICÀ ELS SEUS FAMOSOS ARTICLES A LA REVISTA CIENTÍFICA ALEMANYA *ANNALEN DER PHYSIK*, CELEBREM L'ANY INTERNACIONAL DE LA FÍSICA. UNS TEXTOS NO MASSA EXTENSOS, PERÒ D'UNA REPERCUSSIÓ NOTABLE AL CONEIXEMENT. ERA 1905 I EL GENIAL CIENTÍFIC PARLAVA DE LA TEORÍA DE L'EFECTE FOTOELÈCTRIC (PER LA QUAL VA REBRE EL NOBEL DE FÍSICA DE L'ANY 1921), REALITZAVA UN ESTUDI SOBRE EL MOVIMENT BROWNIÀ, PRESENTAVA LA TEORIA DE LA RELATIVITAT ESPECIAL I INTRODUÏA PER PRIMERA VEGADA L'EQUIVALÈNCIA ENTRE MASA I ENERGIA. DES D'ALESHORES EINSTEIN CAMBIAVA LA CONCEPCIÓ DEL MÓN I ES CONVERTIA POC A POC EN UNA LLEGENDA.

PER CELEBRAR AQUEST ANIVERSARI, HEM VOLGUT CONÈIXER EINSTEIN MÉS A FONS, REFLEXIONAR NO SOLS SOBRE EL QUE COMPORTA EL SEU TREBALL FÍSIC, SINÓ TAMBÉ SOBRE LA SEUA MANERA DE FER I CONÈIXER LA CIÈNCIA. UN TREBALL DEDICAT AL CIENTÍFIC MÉS RELLEVANT DEL SEGLE XX QUE ES VEURÀ REFLEXAT AL LLARG D'AQUEST ANY 2005 A LA REVISTA MÈTODE. EN AQUEST PRIMER NÚMERO, EL PROFESSOR DE FÍSICA I HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA, GERALD HOLTON, RETRACTA UN INVESTIGADOR AFABLE QUE JUGA AMB LA IMAGINACIÓ VISUAL, FA ÚS DE LES METÀFORES I ABSORVEIX LA FILOSOFIA KANTIANA AL CREURE QUE EN LA CIÈNCIA TOT POT EXPLICAR-SE EN TERMES DE *GRUNDKRAFT*, UNA FORÇA FONAMENTAL. PRECISAMENT AQUESTA SENZILLESA. EN EL SEU PENSAMENT ÉS EL QUE RESALTA LA PROFESSORA BRITÀNICA PATRICIA FARA QUAN PARLA D'UN CIENTÍFIC QUE VOLGUÉ SER COMPRESIBLE I DEDICÀ MOLTS ESFORÇOS A EXPLICAR LES SEUES TEORIES AMB SIMPLICITAT. PERÒ MALGRAT EL TREBALL DE DIVULGACIÓ I IMATGE PÚBLICA QUE EINSTEIN ES CONREÀ, A VEGADES CERTAMENT EXCÈNTRICA, LA IDEA DE LA RELATIVITAT GENERAL ES MALINTERPRETAVA PER ESCRITORS, ARTISTES I MÚSICS. HUI, QUASI CENT ANYS DESPRÉS DE LA FORMULACIÓ DE LA TEORIA, ES SOBREVALORA. SENSE MENYSPREAR LA LABOR DE NEWTON, LA TEORIA DE LA GRAVITACIÓ D'EINSTEIN ÉS, PER ELS ASTRÒNOMS JOSE M<sup>a</sup> IBÀÑEZ I DIEGO SÁEZ, EINA FONAMENTAL PER ENTENDRE LA COSMOLOGIA MODERNA. SENS DUBTE, CRIDA L'ATENCIÓ COM UNA FORMULACIÓ TAN SENZILLA POT EXPLICAR L'EVOLUCIÓ DE L'UNIVERS, L'EFECTE LENT GRAVITATÒRIA I ELS FORATS NEGRES ENTRE MOLTS ALTRES FENÒMENS.

EINSTEIN ÉS HUI UN ICONE DE LA SINTESI I DE LA PROFUNDITAT, UN MITE DE LA UNIFICACIÓ I DE L'EXCÈNTRICISME, UN REFLEX DE LA PASSIÓ PER LA FÍSICA I LA SOLIDARITAT AMB ELS MOVIMENTS SOCIALS DE L'ÈPOCA. UN PERSONATGE ECLÈCTIC QUE AL LLARG D'AQUEST ANY VOLEM ANAR DESCOBRINT ALS NOSTRES LECTORS.



$$D = \frac{1}{c} \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} = \frac{1}{c} \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}$$

$$D^2 = \frac{1}{P^2} \frac{P_0 - P}{P} \sim \frac{1}{P^2} \quad (1a)$$

$$D^2 = \frac{K_0}{3} \frac{P_0 - P}{P_0} \sim K_0 \quad (2a)$$

$$D^2 \sim 10^{-53}$$

$$K_0 \sim 10^{-26}$$

$$P \sim 10^8 \text{ g. } \gamma$$

$$\tau \sim 10^{10} (10^{11}) \gamma$$

# ANUNCIANT ALBERT EINSTEIN

Patricia Fara

Albert Einstein (1879-1955) fou un expert autopublicista. Gaudí tant recorrent el món donant conferències, com encunyant memorables pulles per publicitar com la seua teoria de la relativitat havia revolucionat el temps. “Una hora al parc assegut en un banc amb una xica bonica passa com un minut –observà–, però un minut assegut en una estufa calenta passa com una hora.” Com que dedicà tanta energia a promocionar-se, Einstein hauria apreciat les celebracions que ara s’organitzen en el seu honor. L’any 2005 marca un doble aniversari: cinquanta anys de la mort d’Einstein i cent anys de l’anomenat *annus mirabilis*, el meravellós any 1905 en què publicà no un sinó tres articles que canviaren el món.

En un cèlebre assaig sobre Einstein, el crític francès Roland Barthes suggeria al seu llibre *Mythologies* que l’aparició de caricatures evidència quan un geni ha esdevingut llegenda (Barthes, 1993). Einstein és avui un testaferró icònic, amb cabellera fregall marca de la casa i bigoti musti reconeixedor a l’instant, i el seu rostre familiar caricaturitza amb freqüència l’estereotip del professor distret. Apareix també en anuncis, reclutat per promocionar des de cerveses fins a ordinadors. La figura 1 mostra la portada d’un catàleg nord-americà de roba interior femenina; al seu interior, el lema publicitari estableix un tènue nexa entre mitges i relativitat, incitant les dones a la moda a combinar les seues peces de roba per tal de crear un conjunt total.

Einstein se n’hauria horroritzat, no tant per la imatge (és notori el seu entusiasta apetit sexual), sinó per la manera en què el significat de la seua teoria és devaluat. En clar contrast amb el seu famós predecessor, Isaac Newton, Einstein volgué ser entenedor i popular, i dedicà molts esforços a explicar les seues teories amb simplicitat. Viatjà per tota Europa i els Estats Units, i els llocs on parlà i els objectes que tocà adquiriren una aura mística semblant a la dels sepulcres i relíquies sagrades dels sants medievals.

Els seguidors anglesos són orgullosos propietaris de dos d’aquests records –pissarres que Einstein emprà en les seues conferències–. Els científics de Cambridge es desferen de la seua en esvair-se l’escriptura, però la d’Oxford és avui la peça més popular del Museu d’Història de la Ciència de la universitat, encara que per a molts turistes sembla només albergar incomprendibles gargots (figura 2). Conservats en el seu guix original d’una conferència que tingue lloc al maig

«EN UN CÈLEBRE ASSAIG SOBRE EINSTEIN, EL CRÍTIC FRANCÈS ROLAND BARTHES, SUGGERIA [...] QUE L’APARICIÓ DE CARICATURES EVIDENCIA QUAN UN GENI HA ESDEVINGUT LLEGENDA»

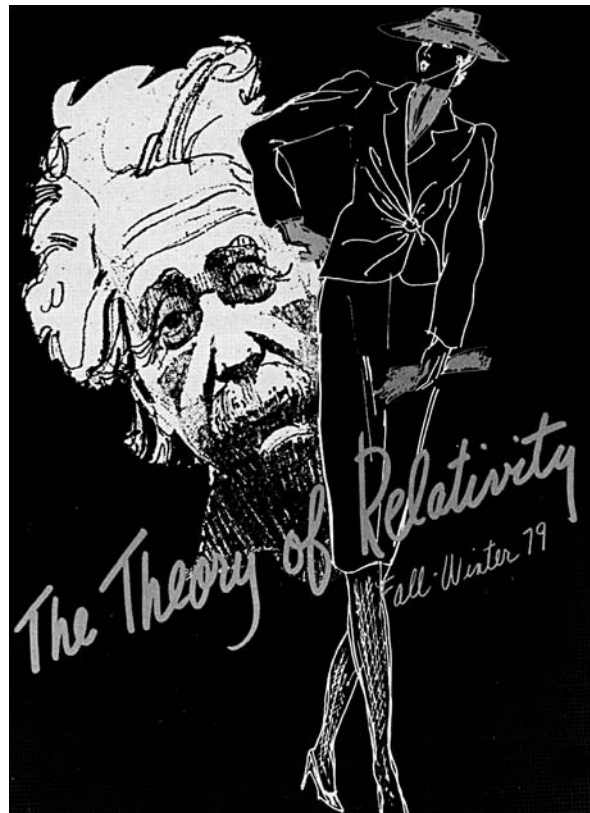


Figura 1 (a dalt). Portada de catàleg de mitges de Pennaco Hosiery de 1979.

Figura 2 (a la pàgina anterior). Pissarra utilitzada per Einstein en la conferència que va pronunciar al maig de 1931. Museum of the History of Science, University of Oxford.



Figura 3. Caricatura de 1929 feta per Rea Irvin, apareguda a *The New Yorker* per il·lustrar l'afirmació d'Einstein: "La gent anà acostumant-se a poc a poc a la idea que els estats físics de l'espai mateix eren la pròpia realitat física."

de 1931, aquests símbols matemàtics descriuen el model cosmològic desenvolupat per Einstein per donar compte del desplaçament cap al vermell que havia estat detectat per Edwin Hubble en la dècada dels anys vint. Observant els espectres de la llum emesa per galàxies llunyanes, Hubble demostrà que l'univers devia estar en expansió. En la seua conferència a Oxford, Einstein emprà la lletra  $D$  per representar l'expansió de Hubble, i les tres primeres ratlles de la pissarra mostren els seus càlculs teòrics. A sota, substitueix dades numèriques per concloure que l'edat de l'univers,  $t$ , era menor que el valor prèviament esperat –*grosso modo* entre deu i cent bilions d'anys.

Tot i que Einstein era un enèrgic autopublicista, no fou fàcil persuadir-lo per tal que visités Oxford. Després de quatre anys de negociacions, finalment fou convençut, incloent-hi

promeses d'excursions en barca, privacitat i habitacions en un dels col·legis més esplèndids de la Universitat, Christ Church. Els seus amfitrions estigueren encantats, no així les seues audiències: durant la primera de les tres conferències d'Einstein –sobre la relativitat– la sala es buidà gradualment. "No els culpe –comentà el fisiòleg John Scott Haldane–. Si llurs matemàtiques són suficients per seguir la conferència, llur alemany certament no ho és pas" (Clark, 1973). El manuscrit de la segona conferència d'Einstein encara es conserva. La presentació fascinà els especialistes perquè hi presentà el seu treball en curs. Fins i tot els mestres admeten ocasionalment la seua fal·libilitat, i Einstein confessà que dos problemes essencials amenaçaven seriosament l'estructura de les seues últimes idees: existia una ferma evidència que la terra era més vella que l'estimació presentada a la seua pissarra; i poderosos telescopis ja havien penetrat quasi fins als límits de l'univers tal com era concebut per ell, una altra indicació que era més extens i vell que no es pensava.

Einstein conreà amb cura la seua imatge pública, i –tal com Newton amb el seu pòmer– ell mateix originà algunes de les històries mitològiques que envoltaren la seua vida i espentaren la seua fama. Mantingué que era només un xiquet quan féu un dels seus primers importants descobriments: que els dits del peu feien forats en els mitjons. Després de concloure que el temps esmerçat a sargir era temps perdut, decidí portar sempre les sabates sense mitjons, un hàbit continuat durant la seua vida que contribuï a la seua reputació d'excèntric. Einstein conreà la imatge de geni afable encara més amb el seu vestir deixat, proclamant les seues passions per les barques de vela i els violins, i produint amb regularitat aguts aforismes: la seua aparentment distreta observació que "Déu és subtil però no maliciós" està avui gravada sobre una llar a la Universitat de Princeton.

"Per què deu ser –preguntà Einstein a un periodista del *New York Times* el 1944–, que ningú m'entén però agrada a tothom?" Òbviament no esperava resposta, puix que aquesta enginyosa fanfarronada no feia més que estimular la reputació que havia contribuït a forjar. Abans de fer els quaranta, ningú fora d'un reduït cercle de físics matemàtics havia sentit parlar d'Einstein. El seu nom impactà per primera vegada en els

**«EINSTEIN VIATJÀ PER TOT EUROPA  
I ELS ESTATS UNITS, I ELS LLOCS ON  
PARLÀ I ELS OBJECTES QUE TOCÀ  
ADQUIRIREN UNA AURA MÍSTICA  
SEMBLANT A LA DELS SEPULCRES I  
RELÍQUIES SAGRADES DELS SANTS  
MEDIEVALS»**



Figura 4 (a dalt). Caricatura feta per Josef Plank (Seppla).  
Figura 5 (a la dreta). La torre Einstein en la portada del *Berliner Illustrierte Zeitung*, 4 de setembre de 1921.

titulars internacionals el 1919, quan una expedició britànica enviada per investigar un eclipsi de sol confirmà la seua teoria de la relativitat general. El *New York Times* estigué òbviament desencertat a l'hora de reconèixer la importància de l'esdeveniment: enviaren el seu corresponçal de golf per cobrir la notícia.

Deu anys més tard, el geni havia guanyat –d'acord amb el criteri de Barthes– el seu estatut legendari: el magazine *The New Yorker* publicà una caricatura burlesca de la seua insistència a dir que la relativitat era fàcil d'entendre (figura 3). Segons Einstein, “La gent anà acostumant-se a poc a poc a la idea que els estats físics de l'espai mateix eren la pròpia realitat física.” Però de fet, la majoria de la gent trobà les noves idees científiques completament incomprensibles. Malgrat les innumerable explicacions en premsa, i els llibres introductoris escrits per Einstein mateix o per filòsofs com Bertrand Russell i físics com Arthur Eddington, la vàcua frase “tot és relatiu” esdevingué un lema de moda. Einstein es veié forçat a admetre que la popularitat passa factura. Menyspreà la manera en què la relativitat era utilitzada repetitívament com a paraula de moda, i acusà escriptors, artistes i músics d'extrau-



re només conceptes aïllats i malinterpretar-los. Tanmateix, la insistència d'Einstein a advertir que la relativitat era més complicada que aquestes superficials interpretacions no féu més que accelerar la seua promoció com a geni supernatural, creador d'una teoria incomprensible per als mortals ordinaris.

Una caricatura ben diferent és la que aparegué en l'Alemanya nazi (figura 4). S'hi mostra un atordit Einstein escombrat del cim d'una torre, que avui és una icona arquitectònica. Dissenyada per Eric Mendelsohn, arquitecte alemany d'origen polonès, la torre Einstein fou completada el 1921 i es troba encara al centre astrofísic de Potsdam (figura 5). Dissenyada per comprovar les prediccions de la relativitat general segons la qual l'espectre del sol seria desplaçat cap al roig a causa de la gravitació, la torre és en si un telescopi: la llum entra per l'extrem superior de la cúpula i és dirigida per una sèrie d'espills i diafragmes a un laboratori aïllat situat al soterrani. Einstein es veié forçat a reconèixer que la confirmació



Figura 6. Einstein, en una recepció oferta pel canceller alemany, Dr. Heinrich Brüning, a Berlín, l'agost de 1931. D'esquerra a dreta, al voltant de la taula: Max Planck, Ramsay MacDonald, Albert Einstein, Geheimrat Schmitz de IG Farben i Dr Dietrich (ministre alemany de Finances).

experimental de la seua teoria seria molt més complicada del que havia esperat. El procés de mesura estigué ple de dificultats i la situació es complicà encara més quan Hubble observà addicionalment un desplaçament cap al vermell originat per altres causes.

Tot i no aconseguir reivindicar les teories d'Einstein, l'edifici tingué un gran èxit com a experiment de l'expressionisme. Ubicat als afores de Berlín, la segona capital artística europea (després de París), la torre Einstein donà publicitat al físic més famós de la ciutat i encetà la carrera internacional del jove arquitecte que la construí. Inusualment, tot i rebre estrictes especificacions quant a l'estructura funcional interna, Mendelsohn tingué mà lliure pel que fa a l'exterior de l'edifici. Amb la fluïdesa de les seues formes redones, el seu edifici fàl·lic burlà provocativament els estils clàssic i medieval afavorits pels nacionalistes alemanys. Envoltada per boscs, la llisa façana de ciment emblanquinat de la torre s'alçà en fort contrast al maó marró dels antics observatoris situats al seu voltant. Mendelsohn s'inspirà en la seua pròpia interpretació de la teoria de la relativitat. "L'energia i la matèria

—escriví— són només dues manifestacions diferents del mateix material bàsic... res en l'univers està deslligat del cosmos o sense relació amb el tot." Einstein només féu un comentari quan fou conduït a la torre acabada de Mendelsohn: "orgànica" (Hentschel, 1997).

Malgrat les reserves d'Einstein, la seua torre passà a simbolitzar la ciència moderna. Sota el règim nazi, la relativitat fou denunciada com a producte d'extraviats físics jueus, i tant Einstein com Mendelsohn emigraren als Estats Units. Per tal d'eliminar la influència d'Einstein, la torre fou rebatejada com Institut de Física Solar i emprada per a experiments òptics sobre la difracció en l'atmosfera. La figura 4 fou dibuixada per un important caricaturista nazi com a propaganda antisemítica, i més tard confiscada pels aliats. Tanmateix, la torre també proporcionà un focus de resistència: alguns dels físics que hi treballaven mostraren pel que sembla la seua oposició a la proscripció d'Einstein reemplaçant el seu bust en l'entrada de l'edifici per una pedra (en alemany "una pedra" és *ein Stein*). La torre Einstein patí destrosses l'abril de

1945, però fou restaurada durant el règim comunista i avui és utilitzada per a fer mesures del magnetisme solar, al mateix temps que constitueix un centre de pelegrinatge per a historiadors de la ciència i de l'arquitectura.

Les fotografies proporcionen una evidència inestimable i mai ambigua del passat. En un estudi clàssic, *Camera Lucida* de Barthes, aquest comenta: “La fotografia no mostra necessàriament *el que ja no existeix*, sinó només i amb certesa *allò que fou*. Aquesta distinció és decisiva. Davant d'una fotografia, la nostra consciència no pren pas necessàriament el camí de la memòria... [sinó] el camí de la certesa: la essència de la fotografia és ratificar allò que representa” (Barthes, 1981, 85). Aquestes paraules donen ressonància a una altra fotografia berlinesa, la figura 6. Fou presa en una recepció oferta pel canceller alemany, Dr. Heinrich Brüning l'agost de 1931, només un parell de mesos després de la visita d'Einstein a Oxford. En la seua carta d'agraïment als seus amfitrions anglesos, Einstein descriví amb pessimisme l'empitjorament de la situació política a Alemanya, però ací sembla estar immers alegrement en conversació no només amb el físic Max Planck (en l'extrem dret de la fotografia), sinó també amb el primer ministre britànic Ramsay MacDonald (a la dreta d'Einstein), el ministre alemany de Finances i un destacat industrial alemany.

La fotografia il·lustra la important posició que tingué Einstein per influir en els afers internacionals. Com a mitològic testaferró, s'enrolà en la promoció de les causes d'altres activistes. Conegut com a vigorós propagandista del sionisme, el 1952 li van oferir la presidència del llavors recentment fundat estat d'Israel. Einstein es comprometé també amb el pacifisme; creia optimísticament que la ciència portaria llibertat i igualtat a un món arruïnat per la guerra. El 1939, un reduït grup de físics el persuadiren perquè enviara una carta al president nord-americà Roosevelt per advertir-lo de

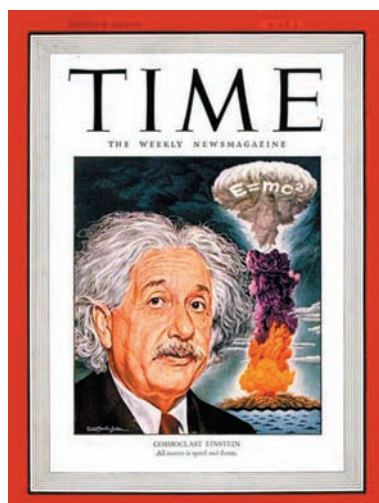


Figura 7. Portada de la revista *Time* de l'1 de juliol de 1946 on es presenta el “cosmoclasta Einstein” cansat i desil·lusionat.

«ALGUNS DELS FÍSICS  
QUE HI TREBALLAVEN  
MOSTRAREN LA SEUA  
OPOSICIÓ A  
LA PROSCRIPCIÓ  
D'EINSTEIN REMPLAÇANT  
EL SEU BUST EN  
L'ENTRADA DE L'EDIFICI  
PER UNA PEDRA  
(EN ALEMANY 'UNA PEDRA'  
ÉS 'EINSTEIN')»

les intencions alemanyes de construir una bomba nuclear, i recomanar als Estats Units que en desenvoluparen una pel seu compte. Com un dels iniciadors del pla explicà, “Només necessitàvem Einstein per tal de proporcionar a Szilard [un físic hongarès] una aureola”, ja que Szilard era pràcticament desconegut als Estats Units (Friedman & Donley, 1985, 172).

Pacifista compromès, Einstein comentà més tard que signar aquesta carta fou el pitjor error de la seua vida. La figura 7 mostra la portada de la revista *Time* de l'1 de juliol de 1946, quasi un any després que dues bombes nuclears foren llançades sobre el Japó. Einstein havia conreat amb cura la seua imatge pública, però ara havia passat a simbolitzar tant els fracassos com els triomfs de la ciència moderna. “Cosmoclasta Einstein”, el cosmòleg iconoclasta, sembla ara cansat i desil·lusionat. Darrere seu, una flota de petits vaixells de guerra es veu insignificant enfront d'un fosc núvol en forma de bolet marcat amb la seua famosa equació  $E=mc^2$ . Einstein, l'home que féu campanya per la pau, apareix aquí com el pare de la bomba, un Frankenstein alquímic que ha desencadenat les forces ocultes de la natura. ☺

#### BIBLIOGRAFIA

- BARTHES, R. (1981): *Camera Lucida: Reflections on Photography*, Nova York, Hill and Wang. (Edició en castellà: Ediciones Paidós Ibérica, 1995.)  
 BARTHES, R. (1993): “The brain of Einstein”, *Mythologies* (transl. A. Lavers), Londres, Vintage, pp. 68-70. (Edició en castellà: Siglo XXI Editores, 2000.)  
 CLARK, R. (1973): *Einstein: The Life and Times*, Londres, Hodder and Stoughton.  
 FRIEDMAN, A. J.; C. C. DONLEY (1985): *Einstein as Myth and Muse*, Cambridge, Cambridge University Press.  
 HENTSCHEL, K. (1997): *The Einstein Tower: An Intertexture of Dynamic Construction, Relativity Theory, and Astronomy*, Stanford, Stanford University Press.

**Patricia Fara.** Membre docent de Clare College, Cambridge. Entre els seus llibres recents s'inclou *Newton: The Making of Genius* (Macmillan, 2002).

Traduït per Josep Simón Castel.





© Fotos entrevista: Tine Poschmann

# GERALD HOLTON

per Carme Pastor Gradolí

**E**N LA SEGÜENT ENTREVISTA GERALD HOLTON ENS EXPLICA ELS TRETS QUE SINGULARITZEN LA MANERA DE PENSAR DELS GENIS. DES DE GALILEU FINS A EINSTEIN, PASSANT PER POINCARÉ, HEISENBERG, OPPENHEIMER, MADAME CURIE, ETC., ELS “VISIONARIS”, COM HOLTON ELS ANOMENA, FAN GALA D’UN ESPERIT AUDAÇ I UNA DETERMINACIÓ QUE SOLS L’ÈXIT ULTERIOR DE LES SEUES TEORIES FA QUE NO TITLLEM DE TOSSUDERIA.

POTSER EINSTEIN ÉS EL CIENTÍFIC QUE GERALD HOLTON MÉS ADMIRA. HOLTON S’HA CONVERTIT EN UN DELS MILLORS CONEIXEDORS DE LA VIDA I L’OBRA D’ALBERT EINSTEIN I NO ÉS ESTRANY QUE, FRUIT D’AQUESTA CONEIXENÇA, HAJA SORGIT UN SENTIMENT DE DEVOCIÓ, QUE M’ATREVIRIA A DIR L’ALIMENTA EL FET QUE TOTS DOS TENEN MÉS D’UNA COSA EN COMÚ: L’ALEMANY COM A LLENGUA MATERNA, L’EMIGRACIÓ ALS ESTATS UNITS FUGINT DE L’HORROR NAZI I L’AMOR PER LA FÍSICA SENSE TENIR PROU AMB LA FÍSICA.

**«EINSTEIN TREBALLAVA DE MANERA COMPLETAMENT DIFERENT A COM UN LLIBRE DE TEXT DIU QUE TREBALLA UN CIENTÍFIC»**



El proper llibre de Gerald Holton, *Victory and Vexation*, està a punt de sortir al mercat. És sobre Albert Einstein, com bona part dels articles, llibres i conferències de Holton. El 1955 la trajectòria d'aquest professor de física de Harvard interessat en la matèria en condicions d'alta pressió va fer una cabriola: arran de la mort d'Einstein, Philip Frank, el seu biògraf i successor a la universitat de Praga, va demanar a Holton que preparara un discurs sobre el significat de l'obra d'Einstein per a una cerimònia de commemoració. L'encàrrec de Frank es va traduir en una sèrie de seixanta visites a l'arxiu personal d'Einstein a Princeton, on Holton va tenir el privilegi de ser la primera persona fora del cercle familiar d'Einstein que va assabentar-se de com pensava aquest mentre treballava.

Que el va interessar més d'aquelles visites a l'arxiu d'Einstein?

Que Einstein treballava de manera completament diferent a com un llibre de text diu que treballa un científic. Açò va iniciar en mi la idea que hi ha altres coses que les habituals: ser expert en matemàtiques, la inducció, la deducció, les bones capacitats experimentals, la racionalitat, l'escepticisme, totes les coses que un bon científic necessita. Però, a més, hi ha altres coses, que solament l'esfera privada revela, i que jo vaig detectar en la correspondència i les històries que altra gent contava sobre Einstein. Per exemple, la imaginació visual. No apareix en l'índex dels llibres de text, però és fonamental! Einstein era un gran visualitzador. Una de les seues incursions en la relativitat general va ser visualitzant el que passaria si una persona caiguera de la teulada de sa casa i alhora deixara anar un clauer que porta en la mà. Einstein veia com tots dos queien paral·lelament, que és el principi d'equivalència de la relativitat general. Després, l'ús de les metàfores. Per exemple, Enrico Fermi va emprar la mateixa idea per descriure la manera com una partícula abandona el nucli i la manera com un fotó se separa d'un àtom. Per a ell eren maneres anàlogues. Fermi pensava que la natura tenia no més enllà d'una dotzena de formes diferents de comportament. Així que va emprar les mateixes il·lustracions, els mateixos diagrames, en camps completament diferents. Una altra són les pressuposicions temàtiques. Quan un científic diu: "Em jugue la meua reputació per tal de proposar una cosa que és diferent a tot el

que s'ha dit fins ara. No hi ha cap raó que indique que és certa, però ho sent en els ossos que és certa." Totes aquestes coses no les trobes en els llibres de text.

Vol dir que els grans científics pensen d'una manera especial, diferent a la resta de científics?

Els visionaris sí. El 1952 el gran amic i traductor al francès dels llibres d'Einstein, Maurice Solovine, va preguntar a Einstein que com pensava. Einstein va respondre-li amb l'ajuda d'un dibuix [regira un moment entre els seus papers i me'l mostra]. Aquest és el plànol de les experiències [assenyala la línia horitzontal del dibuix], tot allò que ocorre al món. Johnston Mill diria que cal construir una escala de raonament inductiu. Però no Einstein. Einstein diu, el que has de fer és, no a partir de cap experiència en particular, sinó a partir d'una sensació sobre el conjunt en general, proposar un sistema d'axiomes.

Einstein proposa fer un salt platònic, que és una cosa perillosa. Al principi es tracta d'una qüestió de predilecció completament, que finalment pot funcionar, però que sovint no funciona al primer intent. No estem parlant de construir suaument i lentament una idea després d'una altra, sinó de fer una extravagància.

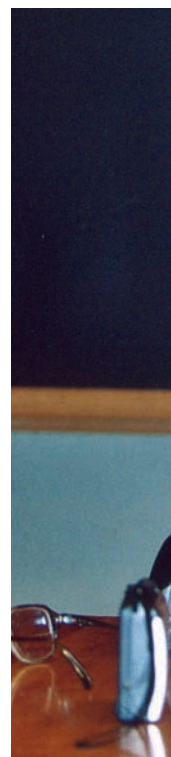
Per exemple, proposar una llei de la natura, com les de la relativitat el 1905, quan Einstein apunta que la velocitat de la llum és sempre constant en el buit i que el principi de Galileu se aplica no sols a la mecànica, sinó a tot en general de la manera adequada. Després un intenta veure si les experiències es poden entendre o s'adiuen amb

el sistema d'axiomes, torna al plànol de les experiències per veure si el sistema és correcte. I açò és el que molt poca gent s'atreveix a fer.

El que jo deduesc d'aquesta història és que els individus de l'envergadura d'Einstein estan dotats d'una intuïció magnífica.

Deixa'm mencionar-te una paraula que Einstein empra: *Fingerspitzengefühl*, una paraula alemanya molt llarga que significa "sentir a les puntes dels dits". I millor encara és l'expressió de Hans Christian Oersted, el descobridor de l'electromagnetisme el 1820, quan va dir: "Alguns de nosaltres tenim consonància anticipatòria amb la natura." En altres paraules, alguns individus poden, sense moure's, veure què hi ha en girar el cantó.

**«ALGUNS INDIVIDUS  
PODEN, SENSE MOURE'S,  
VEURE QUÈ HI HA  
EN GIRAR EN CANTÓ»**





**«EN CAP INSTITUCIÓ ACADÈMICA  
DEL MÓN OBTINDRÀS CAP  
RECONeixEMENT PER INTENTAR  
FER ALGUNA COSA MÉS QUE BONA  
FEINA EN EL CAMP QUE SE T'HA  
ASSIGNAT»**

I d'on pensa vostè que ve aquesta intuïció?

No ho sé. No tinc cap teoria sobre d'on ve aquesta intuïció. El que li puc dir és que molts dels avenços científics van arribar en forma d'idees sobtades, com un flaix.

Per exemple, el cas de Poincaré. Sembla que havia estat pensant sobre un problema matemàtic i que, contràriament al seu costum, va prendre cafè a la nit i no podia agafar el son. Mentre dormia va treballar de valent en el problema de trobar el que més tard s'anomenaria grups fuchsians. I a l'endemà se'n va d'excursió, pren l'autobús a Coutance i conta que en el moment que va posar el peu en l'escaló de l'autobús, li va venir com un flaix la manera de resoldre el problema. Per tant, hi ha un període d'incubació,

sota la superfície, inconscient, després ve la sorpresa de la il·luminació, el salt, i finalment la convicció que la idea és important encara que no funcione del tot, perquè un pot treballar-la, en silenci. Aquesta seqüència ha estat explicada per Schopenhauer, Madame Curie i molts més.

O Heisenberg, que té una mena de malaltia que fa que li rode el cap. És una al·lèrgia a les plantes, al voltant del 1926. Així que se'n va a una illa on no hi ha més que roques, Helgoland, i allí, assegut sobre un tossal, de sobte se li acut el que més tard esdevindrà el principi de la incertesa. De nou: incubació, solitud i deixar-se sorprendre.

També Galileu, quan a través del telescopi veu com és la Lluna i de sobte s'adona –el seu instint copernicà!– que té quelcom sòlid que mostrar als altres. I per descomptat, els altres, amb les seues preconcepcions, mirant a través del mateix telescopi la mateixa cosa no ho poden veure.

Aquestes preconcepcions o pressuposicions poden ser perilloses. Pense en el mateix Galileu i la seua fe en la geometria del cercle.

Per descomptat! Galileu creia tant en el cercle que va rebutjar posar la més mínima atenció a la teoria de Kepler, perquè Kepler feia el·lipses quan dibuixava les òrbites dels planetes. Per a Galileu, que era un home d'educació clàssica, les el·lipses eren manieristes i no li agradaven gens. Panofsky, l'historiador de l'art, ha escrit coses molt interessants sobre el tema.

Aquestes obsessions poden conduir-te tant a l'èxit com a una conclusió equivocada. Les pressuposicions i el salt són possibles per a alguns, però poden desviar altres. Però, bé, això només vol dir que som humans, i que hem de conformar-nos a tenir èxit de tant en tant.

En qualsevol cas el procés d'incubació pot arribar a ser molt llarg...

Sí, i dolorós. Oppenheimer, que va ser un gran home i un gran físic, va escriure una carta al seu germà Frank on li deia: "...quan treballo en un problema, és com viatjar dins d'una muntanya a través d'un túnel fosc, i mai no sé si en sortiré". Però ell tenia la idea general que se'n sortiria, i per descomptat que ho va fer. Tenia una gran confiança en ell mateix, malgrat tots els problemes que va haver d'afrontar en el camí. Com tota la resta de grans científics. Stephen Jay Gould, un col·lega meu que va morir fa poc, gran biòleg i paleontòleg, va dir en una ocasió: "Noranta-nou per cent dels meus dies perduts, i açò és cert per a tots els científics que conec, i al final



del dia encara has de netejar la gàbia del ratolí”. Però aquest u per cent que sí que aconseguies alguna cosa pot conduir-te a un punt des d’on poder saltar, i així és com aquesta gent treballa.

Vostè ha criticat sovint la creixent desconexió entre les disciplines en un món en què els professionals esdevenen més i més especialitzats. Em pregunte quins inconvenients creu vostè que provoca aquest silenci entre les disciplines.

Bé, primer de tot, anem a la raó per la qual aquesta desconexió existeix, perquè abans no existia! Els filòsofs de la natura, en el temps de Goethe, no creien en absolut en el silenci entre les disciplines. Per a ells el món era molt més homogeni, i fins i tot, al segle XIX, trobes que el que avui anomenem científics escriuen sobre tota classe d’assumptes. Ells es consideren transmissors de la cultura, no científics. Ningú s’anomena a si mateix científic en aquesta època. Amb l’entrada del segle XX és quan la divisió entre la física, la química, la biologia, etc. esdevé imposada per la manera com les institucions acadèmiques funcionen. L’existència dels departaments ha obligat la gent a reduir més i més el seu camp d’estudi, i l’acceleració de la història, en particular de les ciències, ha forçat la gent a invertir més i més temps de les seues vides, dia rere dia, de vegades les nits, en problemes concrets, perquè competeixen entre ells i perquè la seua pròpia passió els impulsa a fer-ho. Per tant, alguna cosa cal deixar de banda. En cap institució acadèmica del món obtindràs cap reconeixement per intentar fer alguna cosa més que bona feina en el camp que se t’ha assignat. De vegades la gent pot diversificar-se. Jo sóc molt afortunat pel fet que em van permetre estar en física i en història de la ciència, però és estrany, molt rar, hauria d’haver-hi més casos com el meu.

I en què ens perjudica aquesta desconexió entre les disciplines? Què ens hi estem perdent?

Estem perdent, entre altres coses, una font d’imaginació, perquè els grans protagonistes de les ciències sovint treballaven amb metàfores. En el cas de Niels Bohr, per exemple, d’on va traure la idea de la complementarietat? La idea de la complementarietat, que és una idea molt poderosa, li va arribar completament

de fora de la física. Va ser una idea molt útil per a la física, va ajudar tothom a entendre la naturalesa particular de la matèria i de la llum mateix. Bohr estava molt interessat en les arts, i en les arts hi ha un tipus d’imatge anomenada “metamòrfica”, on pots veure una copa de vi en blanc o el perfil de dues persones mirant-se una a l’altra en negre. Aquest salt d’una imatge a l’altra és una idea molt interessant de la psicologia de la Gestalt. Bohr sabia de tot açò i tenia unes quantes imatges d’aquestes a casa. En segon lloc, Bohr havia llegit William James, el psicòleg, li agradava molt pel seu pragmatisme, i havia trobat un passatge en què James deia que pots pensar sobre una cosa o bé pots pensar sobre el problema mateix de pensar, però que el que no pots fer és pensar en el teu projecte alhora que hi treballes. No pots tenir un tercer ull, venia a dir James, a sobre teu. En aquells dies, a més, hi havia una senyora molt famosa que tenia

personalitat múltiple. Podies comunicar-te amb una de les seues personalitats parlant amb ella, i amb l’altra escrivint-li. Hi havia dues maneres diferents de connectar amb el seu ego. Una desgràcia, per descomptat, per a la dona! La cosa és que Bohr arribà a la idea que en la vida real, en molts casos, calia pensar, i certament en l’àmbit de la física, en una mena d’existència simultània de contraris, de tal manera que en un experiment veus la naturalesa ondulatoria de

la llum i en un altre la seua naturalesa particular, però són senzillament maneres diferents de veure la mateixa cosa.

I permet-me un altre exemple tornant a Einstein. Una de les seues obsessions temàtiques era la unitat, la generalització, de tal manera que gràcies a un esforç de generalització Einstein va passar de la relativitat especial a la relativitat generalitzada, i d’aquí a la teoria del camp unificat, la teoria del tot, que encara no ha tingut massa èxit. D’on ve tot açò? Açò ve de les passions romàntiques dels filòsofs i poetes del segle XIX. Gent com Oersted, que era químic i filòsof, volien unificació, pensaven, tal com Kant els havia ensenyat, que en la ciència tot podia explicar-se en termes d’una *Grundkraft*, una força fonamental. L’electricitat, el magnetisme, la gravitació... eren diferents aspectes d’una sola entitat fonamental. Mira’t Goethe, per exemple, el primer paràgraf de *Faust*, quan conta que ha estudiat teologia, ciència, medici-

**«ESTEM PERDENT, ENTRE ALTRES COSES, UNA FONT D’IMAGINACIÓ, PERQUÈ ELS GRANS PROTAGONISTES DE LES CIÈNCIES SOVINT TREBALLAVEN AMB METÀFORES»**





na, i que res d'açò no és prou, que el que vol conèixer és la força que dona consistència al món. Aquesta és la idea romàntica d'unificació, d'aquí la pren Einstein. D'aquí la pren Schröndiger. Van créixer amb açò. Einstein va fer un curs sobre Goethe quan es treia el diploma de professor de física de secundària, i un altre sobre Emmanuel Kant, i va llegir Kant quan tenia tretze anys, i altra vegada quan tenia setze i unes quantes vegades més després. Va llegir Spinoza també, on va trobar una altra vegada la idea de la unificació, que Déu no degué fer les diferents parts del món de manera diferent, sinó tot a partir d'una sola idea. Aquesta és la ressonància entre la ciència i la resta de la cultura, i va debilitant-se a causa de la separació de les disciplines. I açò significa, no solament que se'ns poden escapar idees grandioses, sinó que potser ens perdem una experiència humana més rica com a científics.

«DURANT LES CLASSES UN POT  
ELIMINAR PART DEL SILENCI  
QUE HI HA ENTRE LES DISCIPLINES  
DECLARANT-LO ARTIFICIAL,  
IMPOSAT INSTITUCIONALMENT,  
PERÒ INNECESSARI  
I DE PROCEDÈNCIA NO DIVINA»



I què podem fer per compensar aquesta pèrdua de ressonància entre la ciència i la resta de la cultura?

Podem introduir el context de la ciència quan ensenyem ciència. En les meues classes jo sempre vaig a la història de la ciència per aquesta raó, per mostrar als alumnes d'on han tret les idees les grans figures de la ciència, els errors que van cometre fins que encertaren del tot, quines eren les seues fonts d'inspiració. En el cas de Newton, per exemple, els *Principia* és un gran treball, sembla ser tot física, però si te'l llegeixes amb cura, i el mateix ocorre amb *Optics*, hi ha molt del fet que la raó per la qual Newton feia ciència era per millorar moralment. Newton pensava que com més sabia un sobre la natura, més a prop es trobava del pensament de Déu. Açò era part d'un programa personal de progrés i per això va escriure molt més sobre religió que sobre física. Quan a classe parle de Newton, parle també de la influència de Newton

sobre la filosofia i la poesia del segle XVIII, però també de les idees matemàtiques i la filosofia que influïren en Newton. Així que me'n surt de la ciència, no molt lluny, just perquè la gent s'adone que és permès de fer-ho, i que si els interessa poden cercar més enllà.

Però llavors el mestre ha de ser un pou de saviesa...

Bé, de primer pots pensar que el professor ha de ser una mena d'Erasmus... Però la resposta és no, no cal ser Erasmus. El primer any comences amb un o dos casos, l'any següent n'afegeixes més i el tercer any encarregues a un estudiant que està interessat en, per exemple, la música, quines són les influències de la música sobre la ciència, o la influència dels avanços en l'acústica en els instruments musicals. Els estudiants ho fan com a part dels seus exercicis. Així és com ho fem ací amb els nostres estudiants de tercer cicle. Ells fan el nostre treball, saps? Per això els volem tant! [Esclata a riure durant uns segons.] Durant les classes un pot eliminar part del silenci que hi ha entre les disciplines declarant-lo artificial, impositat institucionalment, però innecessari i de procedència no divina.

Creu que els científics tenen l'obligació de comunicar els resultats de la seua recerca en termes planers?

Tinc una opinió molt definida sobre aquest tema. És necessari que un científic es mantinga en contacte amb la societat a través de la propagació del que fa i del que els col·legues fan per dues raons. Una d'elles és que el progrés de la ciència depèn del sentiment que la societat en general té envers la ciència. Thomas Jefferson va dir que un públic educat és un requisit perquè la democràcia funcione i dins la cultura ha d'haver-hi un lloc per a la ciència. Aconseguir açò és cosa dels científics. Els científics han de deixar clar què fa la ciència en favor dels ciutadans, i llavors el públic entendreà i respectarà la ciència que es fa, i podrà intervenir quan la ciència vaja per mal camí, que pot ocórrer. Pense en Lysenko i aquest tipus de biologia boja que va ser tan destructiva. Pense en Alemanya... Aquesta és una de les raons per la qual és bo que la ciència i la cultura interactuen.

Però hi ha una altra raó, que per a mi és igual d'important, i que també apareix reflectida en Jefferson. Quan Napoleó necessitava urgentment diners, el 1803, Jefferson li va comprar a preu molt barat una bona part

**«ELS CIENTÍFICS HAN DE DEIXAR CLAR QUÈ FA LA CIÈNCIA EN FAVOR DELS CIUTADANS, I LLAVORS EL PÚBLIC ENTENDRÀ I RESPECTARÀ LA CIÈNCIA QUE ES FA»**

del sud dels EUA –la compra de Louisiana–, i llavors va enviar dues persones a explorar el continent, no sols el territori adquirit, sinó també la part desconeguda de més enllà. Es va anomenar l'expedició de Lewis i Clark, i fou extraordinàriament reeixida. Jefferson els va encarregar que tornaren amb mapes, exemples de vida sal-

vatge, descripcions de les llengües i costums del indis, etc. Volia saber, com a científic, què passava per aquelles terres. Es preguntava si encara hi havia mastodonts a les Muntanyes Rocalloses. A Jefferson li encantaven els animals grans, perquè els francesos deien que a Amèrica tan sols hi havia animals petits, tot es deteriorava a Amèrica, i Jefferson volia demostrar que això no era cert. Açò era un dels seus objectius, fer ciència. L'altre era que Jefferson sabia que en un moment determinat la gent de la costa est s'expandiria i que si coneixien les característiques del territori, seria més fàcil per als nous pobladors instal·lar-se i fer vida en les noves àrees. L'expedició de Lewis i Clark va ser bona per a la ciència i bona per a les persones. Si els científics no mostren els resultats beneficiosos de la ciència, la ciència es marcirà, perquè a més de tenir la ciència com a part de la cultura i per enfortir la democràcia i per als futurs científics, un vol la ciència per aconseguir coses pràctiques per a la vida, i els científics són els que millor poden presentar aquest aspecte humà del progrés científic.

I quins són els seus escriptors de ciència favorits?

Els que jo més respecte són gent que ja ha deixat d'escriure, que ja no estan amb nosaltres, gent com Jacob Bronowsky. La sèrie de tretze pel·lícules que va fer per a la televisió, *L'Ascent of Man*, era molt bona. Aquest és el tipus de model que jo segueisc.

Hi ha molta gent que parla molt bé de Hawkins, per descomptat, però a mi no m'acaba de convèncer, perquè Hawkins fa salts en paràgrafs fonamentals i llavors és difícil seguir-lo, i no estic segur si la gent l'entén realment.

Un dels que més m'agrada i a qui respecte enormement és Steven Weinberg. Ha escrit llibres meravellosos. N'hi ha un de recent que es diu *Facing up* que és molt bo. I abans d'aquest, *The first three minutes*, sobre cosmologia, és molt potent. ☺

**Carme Pastor Gradolí.** Departament de les Ciències de la Terra, Atmosfèriques i Planetàries, Institut Tecnològic de Massachussets, MIT (Boston).

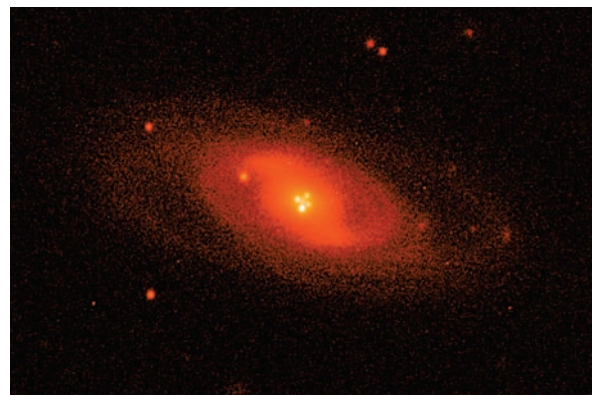
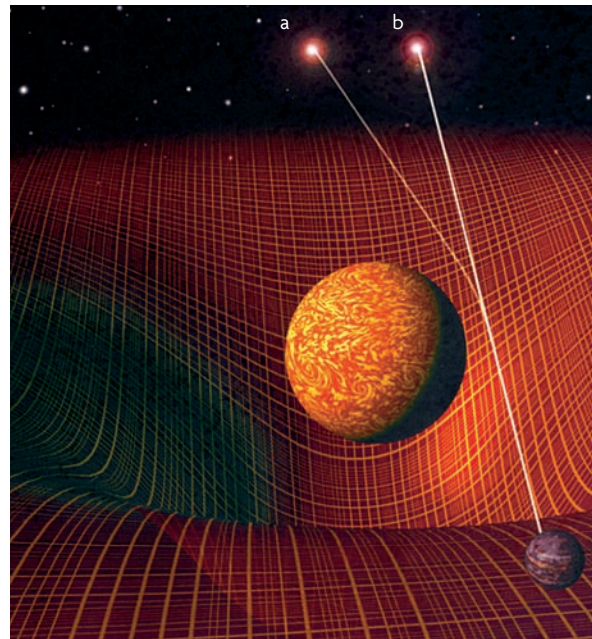
# EINSTEIN, L'ASTROFÍSICA I LA COSMOLOGIA MODERNES

José M<sup>a</sup>. Ibáñez i Diego Sáez

LA TEORIA DE LA RELATIVITAT GENERAL D'EINSTEIN, BASADA EN UNA NOVA CONCEPCIÓ DE L'ESPAI-TEMPS, GENERALITZA LA TEORIA DE NEWTON, PREDIU NOUS FENÒMENS COM LES ONES GRAVITATÒRIES, ELS FORATS NEGRES I L'EFECTE LENT GRAVITATÒRIA, ENTRE ALTRES, I CONDUUEIX A MODELS D'UNIVERS COMPATIBLES AMB LES OBSERVACIONS.

La teoria de gravitació de Newton, vigent durant més de tres segles, ha permès entendre no sols l'harmoniosa dinàmica del Sistema Solar, les galàxies i els cúmuls de galàxies, sinó també el desenvolupament de la moderna teoria de l'evolució estel·lar. No obstant això, no pot explicar l'evolució de l'univers, l'efecte lent gravitatori ni els forats negres, entre molts fenòmens més. Per a fer-ho fa falta la teoria de gravitació d'Einstein, o relativitat general, el preludi de la qual va ser la teoria de la relativitat especial.

El 1905, Einstein va formular una teoria capaç de resoldre una autèntica crisi relacionada amb les equacions de Maxwell, que descriuen els camps electromagnètics. Per a fer-ho, va haver de renunciar als conceptes intuïtius d'espai euclidià i temps absolut i admetre conseqüències aparentment exòtiques. En la teoria de la relativitat especial, la velocitat de la llum en el buit ( $c$ ) és insuperable i independent de l'observador, la massa és una forma d'energia (tal és el significat de la famosa equació  $E=mc^2$ ), i les distàncies espacials i temporals depenen de l'observador que les mesura. Tot açò és verificat quotidianament en els acceleradors de partícules, on aquestes assoleixen velocitats comparables amb la de la llum. Per a poder descriure la gravitació, Einstein va formular, el 1915, la seua teoria de la relativitat general, amb un espai-temps encara més complex que el de la relativitat especial, perquè és modelat per l'energia que hi evoluciona. Les distàncies, la curvatura, el paral·lelisme, i altres conceptes definits en l'espai es veuen afectats pel seu contingut energètic. En aquesta teoria, el Sol, una galàxia o qualsevol altra estructura determinen la curvatura de l'espai-temps dins i al seu voltant, i aquesta curvatura condiciona el moviment i les propietats de la matèria. Les equacions d'Einstein governen simultàniament l'evolució de la geometria de l'espai-temps i la de l'energia que el modela.



A dalt, la gravetat influeix en la trajectòria dels raigs lluminosos (S. Hawking, *El Universo en una càscara de nuez*, Crítica/Planeta, 2002.) A sota, la lent gravitatoria Q2237+030, denominada "la creu d'Einstein" (J. A. Muñoz, NOT, La Palma, 2004). El camp gravitatori d'una galàxia espiral a  $z=0.039$  produeix quatre imatges d'un únic quàsar a  $z=1.69$ .

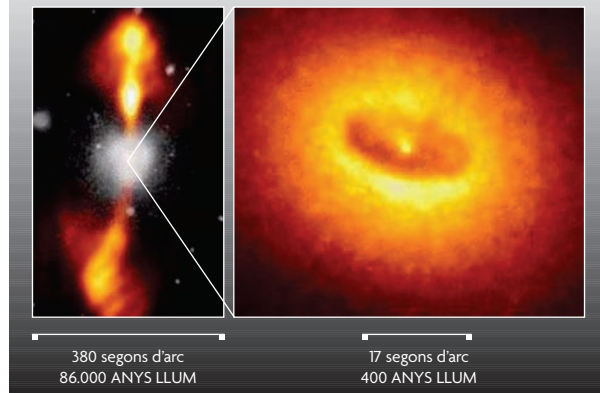




## Galàxia NGC 4261

(Telescopi espacial Hubble)

Nucli de la galàxia NGC 4261



La galàxia NGC4261 alberga, a la regió central, un forat negre supermassiu (uns quants centenars de milions de masses solars).

Esquerra: composició d'imatges en radi (estructures allargassades, en groc) i òptic (blanc) de NGC4261.

Dreta, detall de la regió central de NGC4261, en què s'ha observat un tor de matèria d'uns quants centenars d'anys llum de diàmetre, girant a velocitats pròximes a les de la llum.

A causa de l'equivalència massa-energia, la llum resulta afectada per l'atracció gravitatòria. Els raigs lluminosos procedents d'una font allunyada són desviats per acumulacions de massa situades entre la font i l'observador, fenomen que pot produir amplifícacions de la imatge i imatges múltiples. Aquest fenomen, anàleg al dels miratges, es denomina lent gravitatòria. La primera observació d'aquest efecte es va realitzar el 1919, durant un eclipsi solar: en analitzar el camp d'estels durant l'eclipsi i comparar amb els registres fotogràfics del mateix camp obtinguts abans de l'eclipsi es va observar una distorsió perfectament compatible amb la que predeia la relativitat general. Des de llavors, s'han observat centenars de lents gravitatòries.

Els forats negres són regions de l'espai-temps de les quals res, ni tan sols la llum, pot escapar. Encara que no es poden veure directament, deixen empremtes de la seua presència, un exemple són els dolls extragalàctics: ejeccions de material a velocitats enormes que comprenen distàncies de centenars de milers d'anys-llum. En l'actualitat hi ha catalogats més d'un centenar d'aquests dolls. El telescopi espacial Hubble ha aportat dades que permeten afirmar que les regions centrals de les galàxies amb nuclis actius alberguen forats negres supermassius. La nostra galàxia acull un forat negre amb una massa d'uns pocs milions de masses solars.

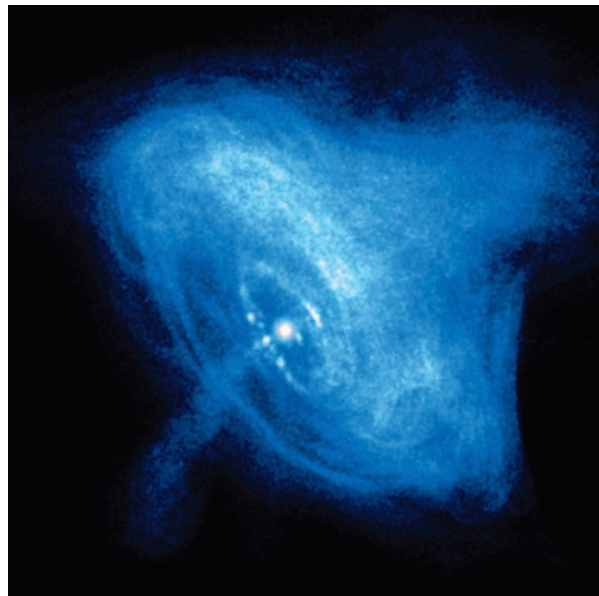
La formació de forats negres d'unes poques masses solars s'explica a partir de la teoria d'evolució estel·lar. A l'interior dels estels es produeixen reaccions nuclears que fabriquen heli a partir d'hidrogen, i successivament carboni, oxigen... fins arribar als isòtops de ferro i níquel en el cas d'estels massius. Després, els estels s'enfonsen en un gegantí cataclisme, on impera la gravetat i no hi ha cap font efectiva de pressió que pugui impedir el col·lapse gravitatori. En un parell de segons, la densitat central creix fins superar el valor de la densitat en els nuclis atòmics (més de cent bilions de vegades la de l'aigua), i la temperatura central s'aproxima al bilió de graus. En una regió d'unes dotzenes de quilòmetres de ràdio, amb una massa equivalent a la del Sol, germina la llavor d'un futur estel de neutrons. Part del material estel·lar, que en aquest procés d'enfonsament troba el centre superdens, rebota contra ell i genera una ona de xoc que acaba expulsant l'embolcall. El material estel·lar dispers en el medi interestel·lar com a resultat de l'explosió serà la llavor de la qual naixeran altres estels, altres sistemes solars i fins i tot la vida. Som pols d'estels: el ferro de l'hemoglobina, el calci dels ossos, etc., van ser sintetitzats a l'interior d'estels massius i llançats al medi interestel·lar en les explosions de supernoves.

El protoestel de neutrons, lliure de les capes externes del seu progenitor, es refreda ràpidament, es contrau i, finalment, es converteix en un estel de neutrons, o en un forat negre si l'estel progenitor és prou massiu. Els estels de neutrons són objectes celestis extraordinàriament compactes: el seu radi és d'uns pocs quilòmetres i la seua massa és una vegada i mitja la solar. En la nebulosa del Cranc hi ha un púlsar, un estel de neutrons en rotació, tan ràpid que, en un segon, ha girat més de trenta vegades al voltant del seu eix.

Els estels binaris són dos estels lligats gravitacionalment, que es mouen al voltant del seu centre de masses. En alguns

casos pot formar-se una binària d'estels de neutrons. L'any 1974 els radioastrònoms Hulse i Taylor van descobrir el púlsar binari PSR1913+16, el seguiment del qual ha permès determinar amb gran precisió les masses dels dos estels i la variació del període orbital. La dita variació només és explicada per la teoria de la relativitat general com a conseqüència de l'emissió de radiació gravitatòria. Les ones gravitatòries són petites ondulacions de l'espai-temps que es propaguen a la velocitat de la llum, transportant ínfimes quantitats d'energia (el gravitó seria la partícula associada a aquestes ones,

«EINSTEIN, SEGUINT  
EL PENSAMENT DE L'ÈPOCA,  
VA INTENTAR CONSTRUIR  
UN MODEL D'UNIVERS ESTÀTIC  
I ETERN»



Nebulosa del Cranc: restes de la supernova de 1054 observada i registrada en diferents civilitzacions de l'hemisferi nord. A l'esquerra: Imatge en l'òptic.

A la nebulosa del Cranc hi ha un estel de neutrons en rotació (més de trenta voltes per segon) que, com s'observa a la imatge —en fals color— en raigs X obtinguda pel satèl·lit Chandra (a dalt), és responsable d'una extraordinària i complexa dinàmica en el seu entorn.

igual com el fotó està associat a les electromagnètiques). PSR1913+16 constitueix la prova observacional més severa que ha superat la teoria de gravitació einsteiniana i la primera observació indirecta de l'emissió d'ones gravitatòries. La variació negativa del període orbital de PSR1913+16 permet predir que ambdós estels acabaran col·lidint.

Les col·lisions de binàries compactes són exemples de fonts astrofísiques de radiació gravitatòria. Amb això entrem en el cor de la relativitat general; és el camp d'allò que es comença a denominar relativitat astrofísica. Es requereixen càlculs numèrics complexos per a descriure aquestes col·lisions en un espai-temps dinàmic i estimar l'energia radiada en forma d'ones gravitatòries. A pesar dels esforços realitzats des de finals dels anys 1960, encara no s'ha aconseguit una detecció directa d'ones gravitatòries. L'observació directa és molt difícil perquè, a causa de la poca quantitat d'energia que transporten, produeixen efectes molt petits sobre els detectors. Aquests estan constituïts per masses les distàncies de les quals pateixen variacions relatives inferiors a  $10^{-21}$  amb freqüències inferiors a 100 Hz. El repte tecnològic consisteix en la capacitat de mesurar aquesta mena de variacions. S'han construït diversos observatoris d'ones gravitatòries. L'ESA (Agència Europea de l'Espai), junt amb la NASA, ha previst per a la pròxima dècada la missió LISA, un conjunt de tres satèl·lits que se situaran als vèrtexs que defineixen un triangle equilàter de cinc mi-

lions de quilòmetres de costat i el baricentre del qual coincideix amb l'eclíptica. Aquesta configuració seguiria la Terra en el seu moviment al voltant del Sol, i s'espera que observe la radiació gravitatòria emesa per diverses fonts astrofísiques. L'astronomia de les ones gravitatòries es convertirà a partir dels pròxims anys en una nova finestra per a l'observació de l'univers.

A l'univers podria existir un fons cosmològic d'ones gravitatòries generat en els primers instants de la seua evolució; aquest fons es degué produir, probablement, al mateix temps que les llavors de les actuals galàxies i agrupacions de galàxies que poblen el nostre univers. Ones i protoestructures es podrien haver format durant un procés d'expansió molt violenta, anomenat inflació, produït per alguna força repulsiva en els primers instants de l'evolució de l'univers. Aquest fons d'ones gravitatòries és molt difícil d'observar directament a causa de la seua baixa intensitat en tot el rang de freqüències que pot detectar la missió LISA. Potser serà més fàcil una detecció indirecta basada en l'observació dels efectes que aquestes ones produeixen sobre l'anomenat fons cosmològic de microones.

El fons de microones és una distribució de fotons que omple el nostre univers i que ha evolucionat, dins seu, des de temps molt remots; per tant, ha estat testimoni de processos tan importants com la formació de les galàxies, cúmuls de galàxies i supercúmuls. Les protogalàxies i protoestructures en general, a través dels seus camps gravitatoris en evolució, van deixar una emprem-



ta en els fons de microones. L'estudi d'aquesta empremta permetria conèixer com va evolucionar l'univers fins arribar al seu estat actual. Per això s'han desenvolupat projectes d'observació des de la Terra i des de l'espai. El que s'observa és la temperatura de fons de microones en moltes direccions. Les propietats estadístiques de la distribució de temperatures resultant constitueixen l'empremta esmentada. La interacció del fons de microones amb el possible fons de gravitons d'origen primordial també afectaria el fons de microones, és a dir, deixaria el seu segell en les propietats estadístiques de la seua distribució de temperatures. Per això, descobrir l'existència d'aquest segell en les temperatures observades seria una detecció indirecta de gravitons cosmològics. L'any 2003, la NASA va publicar l'anàlisi de les dades obtingudes durant el primer any de funcionament del satèl·lit WMAP i, encara que apareixia l'empremta de processos que van ocórrer en el passat, no es va trobar el segell característic del fons de radiació gravitatòria. Això no vol dir que no existesca, sinó que la seua intensitat està per sota de la mínima intensitat que podria haver detectat aquest satèl·lit.

L'any 2007 l'ESA llançarà un nou satèl·lit per observar el fons de microones, i potser els seus detectors, més sensibles que els de WMAP, podran posar de manifest el fons de gravitons.

De les observacions del fons de microones realitzades fins avui es desprèn la següent composició per al nostre univers. Només el 4% de la seua energia està continguda a les galàxies com a matèria ordinària, és a dir, com a matèria essencialment constituïda per protons, neutrons i electrons formant nuclis i àtoms. El 23% seria el que s'anomena matèria fosca. L'observació directa d'aquest component és molt difícil perquè pràcticament no radia fotons i interacciona molt feblement amb la matèria ordinària. Les partícules constituents de la matèria fosca produirien un important camp gravitatori que permetria detectar-les indirectament. El 73% restant correspondria a l'anomenada energia fosca, que seria l'energia de l'estat de buit ( quàntic) d'algun camp desconegut fins avui.

En qualsevol instant, l'espai tridimensional dels observadors cosmològics podria ser obert (volum infinit i curvatura negativa), tancat (volum finit i curvatura positiva) o pla (volum infinit i curvatura nul·la). Les observacions de fons de microones indiquen que la densitat d'energia total de l'univers és molt pròxima a l'anomenada densitat crítica, unes  $10^{-29}$  vegades la de l'aigua, que correspon al cas pla; podem afirmar que l'observa-

ció del fons de microones ens ha conduït a una conclusió de tipus geomètric que ens permet triar entre els tres tipus de geometria que pot tenir el nostre univers.

L'univers és el sistema més extens i de més llarga durada que existeix; a més, des que Hubble va observar, en la dècada de 1920, que totes les galàxies llunyanes se separen de la nostra, sabem que està en expansió, per la qual cosa en el futur serà menys dens i en el passat ho va ser més. Com que en temps remots era molt dens, el camp gravitatori era molt intens. D'altra banda, l'expansió va ser molt ràpida en el passat, ja que l'atracció de la gravetat l'ha estat frenant durant molt de temps abans d'arribar a la situació actual. Com que l'expansió era tan ràpida a l'univers primitiu, es parla d'una Gran Explosió (Big-bang) d'origen desconegut com la seua hipotètica causa. Finalment, si retrocedim en el temps, l'univers es va fent cada vegada més dens, de manera que en algun moment va haver de superar l'anomenada densitat de Planck (unes  $10^{93}$  vegades la de l'aigua), per la qual cosa la teoria de la relativitat general deixaria de ser vàlida. Si aplicàrem la teoria d'Einstein indefinida-

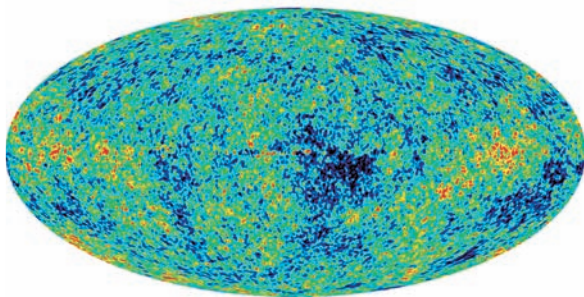
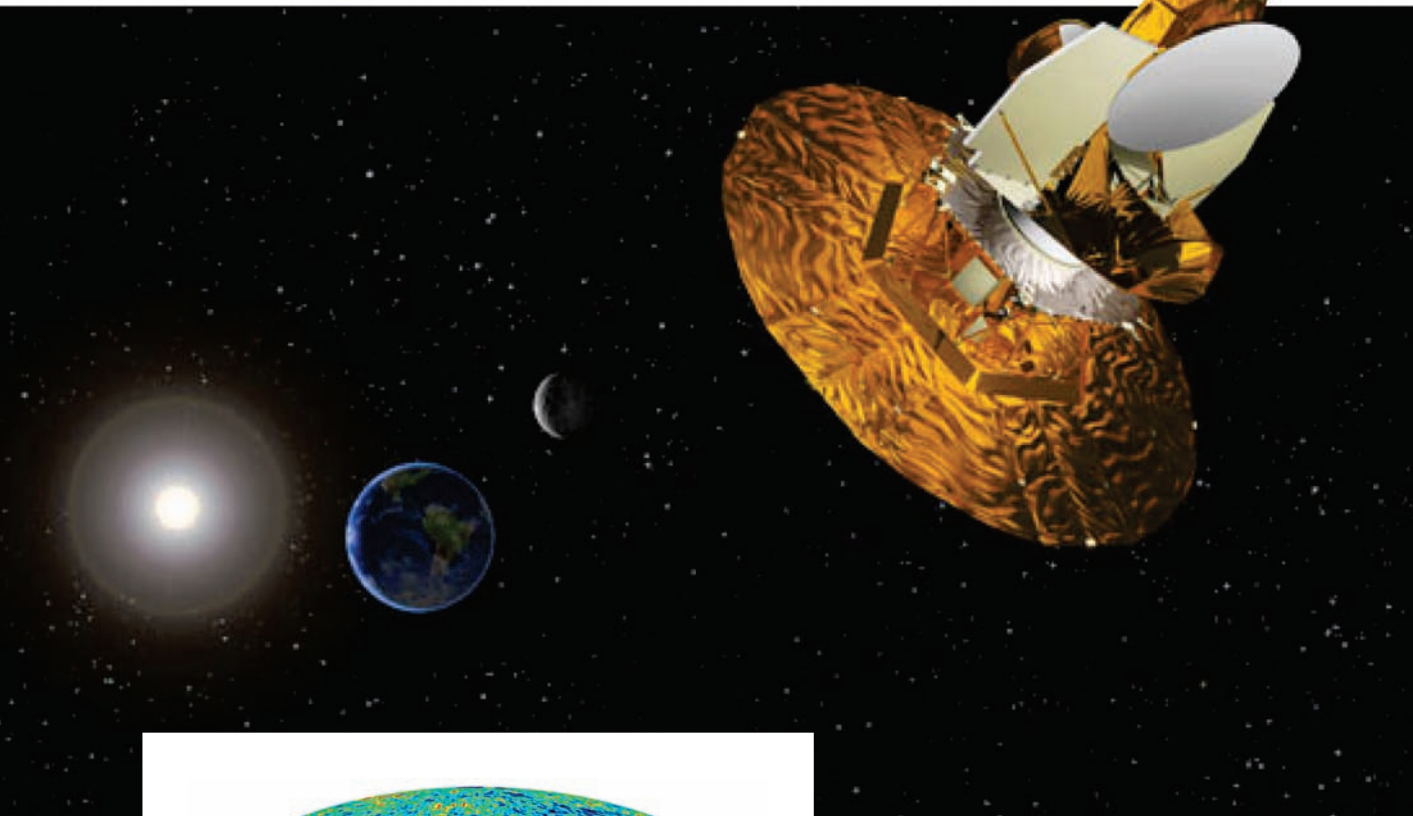
ment cap al passat, resultaria que, en un temps finit, la densitat es faria infinita, la temperatura també, i arribaríem a un estat físicament inacceptable que es denomina la singularitat inicial. Segurament no s'arribaria a aquest absurd si s'aplicara la relativitat general fins a aconseguir la densitat

de Planck i després, en temps més remots, s'aplicara una adequada teoria quàntica de gravitació, encara inexistente.

Einstein va intentar estudiar l'univers amb la seua teoria de la relativitat general, abans que les observacions de Hubble demostraren que s'expandeix; per això, i seguint el pensament de l'època, va intentar construir un model d'univers estàtic i etern. En aquest model, hi hauria un fons estàtic en què les masses es mourien per causes locals, de manera que dues regions prou grans i llunyanes estarien en repòs relatiu, encara que hi haja moviments locals dins seu. Al contrari, en un univers en expansió s'estarien separant, mentre que en un en contracció acabarien xocant. Prompte es va adonar Einstein que en el marc de la seua teoria de gravitació no hi ha universos estàtics, perquè la força de gravetat és sempre atractiva i produiria la contracció d'un univers inicialment en repòs. Com que la contracció condueix a un col·lapse i l'expansió era impensable en aquell moment, Einstein va forçar un model cosmològic estàtic modificant les seues equacions. Per a fer-ho va introduir un

**«EL GENI D'EINSTEIN HA  
PROPORCIONAT A LA HUMANITAT  
NOVES FINESTRES PER  
A L'OBSERVACIÓ DE L'UNIVERS»**





A dalt, satèl·lit WMAP en vol.  
A sota, mapa de temperatura del fons de microones obtingut per WMAP.

nou terme, de manera que apareguera una força repulsiva que, a grans distàncies cosmològiques contrarestarà la de gravetat. El nou terme contenia una constant, anomenada constant cosmològica, el valor de la qual calia ajustar per a aconseguir les forces repulsives necessàries. Després de les observacions de Hubble sobre l'expansió, i ja que la relativitat general permet models en expansió sense necessitar cap constant cosmològica, Einstein va renegar de la seua pròpia creació, i va afirmar que la introducció de la citada constant havia estat el pitjor error de la seua vida. No obstant això, observacions recents suggereixen l'existència d'aquesta constant. Potser Einstein es va equivocar quan va pensar que s'havia equivocat.

D'acord amb la teoria quàntica de camps, el terme que cal introduir en les equacions d'Einstein, per incloure la presència d'un camp en el seu estat de mínima energia, és exactament igual que el que va introduir

Einstein per aconseguir un univers estàtic, i inclou una constant que és proporcional al valor d'aquesta energia mínima; per tant, si tal camp existira en la naturalesa, la constant cosmològica hauria de ser introduïda per necessitat. Desgraciadament, l'energia del buit dels camps coneguts fins a la data és massa gran i produiria forces repulsives excessives incompatibles amb l'univers observable; hi ha per tant un problema amb la constant cosmològica que encara no ha estat resolt. A pesar de tot, recents observacions de supernoves llunyanes, que són menys brillants del que serien en absència d'aquesta constant, i de les propietats estadístiques del fons de microones suggereixen la seua existència. La mateixa constant és també compatible amb les propietats de la distribució espacial de galàxies dels catàlegs més recents. Totes aquestes observacions serien molt difícils d'explicar sense constant cosmològica en el marc de la teoria de la Gran Explosió.

El geni d'Einstein ha proporcionat a la humanitat noves finestres per a l'observació de l'univers, ha estès els límits de la teoria de gravitació newtoniana tant a les escales espacials immensament grans de la cosmologia moderna, com a les extraordinàriament petites que fixen el domini de la gravetat quàntica; i a més ha conduït a l'estranya conclusió, basada en els models cosmològics, que només un 4% del nostre univers és matèria directament observable. ☺

José M<sup>a</sup>. Ibáñez i Diego Sáez. Departament d'Astronomia i Astrofísica, Universitat de València.

