

# HI HA PRESONS EN EL COSMOS?

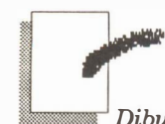
Pere Clarisvalls i Mata

L'univers ens ofereix realitats insospitades. Hi ha cossos que retenen tota radiació, que també absorbeixen la que s'hi acostava i d'aquesta manera es tornen gairebé imperceptibles: són els forats negres. La teoria els ha predit i els astrofísics miren de confirmar-ne indirectament l'existència.

En l'argot anglès, s'anomena *black hole*, és a dir, forat negre, la cel.la d'alta seguretat d'una presó. Sembla que, en altres temps, els forats negres eren realment unes cavitats d'on els presoners ja no sortien mai més. En 1968, John Archibald Wheeler, físic de Princeton, va recórrer a aquest mot per aplicar-lo a una mena d'espais on la matèria quedava realment empresonada. D'aquells llocs no se n'escapava res; potser alguns raigs gamma. De tota manera, l'astrònom William Hershell (1738-1822), descobridor d'Urà (1781), ja s'havia referit a certs "forats" que, segons creia, existien al firmament.

S'ha de dir que el gran astrònom i matemàtic francès Pierre-Simon Laplace (1749-1827), amb càlculs estrictament teòrics, havia predit l'existència de les condicions que

caracteritzen els forats negres basant-se en l'estudi de les condicions gravitacionals. Com tants cops s'esdevé, a la mateixa època, un astrònom anglès, anomenat John Michell, feia el mateix i arribava a unes conclusions similars. En tots dos casos, es considerava la possi-



Dibuix de Guilleminot representant Laplace (1743-1827), el pare de la mecànica celest.

bilitat d'un cos de radi relativament petit i d'una massa extraordinària i els efectes gravitacionals que podia provocar.

Se sap que la Terra també es pot considerar una mena de presó gravitacional que no deixa fugir els cossos. Si llanço una pedra, aquesta cau perquè queda ràpidament atrapada per la força gravitacional de la Terra. Només se'n poden escapar els objectes que tinguin una velocitat d'uns onze quilòmetres per segon. El preu de la "evasió" seria el del combustible necessari per obtenir aquesta velocitat. No és cap secret que la velocitat d'evasió és proporcional a l'arrel quadrada de la massa de la Terra i inversament proporcional a l'arrel quadrada del radi d'aquesta, d'acord amb la fórmula:

$$v = \sqrt{\frac{2 GM}{R}}$$

on  $M$  i  $R$  designen, respectivament, la massa i el radi del nostre planeta, i  $G$  és la constant de la gravitació universal, que té un valor numèric que depèn del sistema d'unitats utilitzat. Per tant, com més gran sigui la massa d'un cos de l'espai, més gran haurà de ser la velocitat per escapar-se'n.

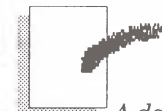
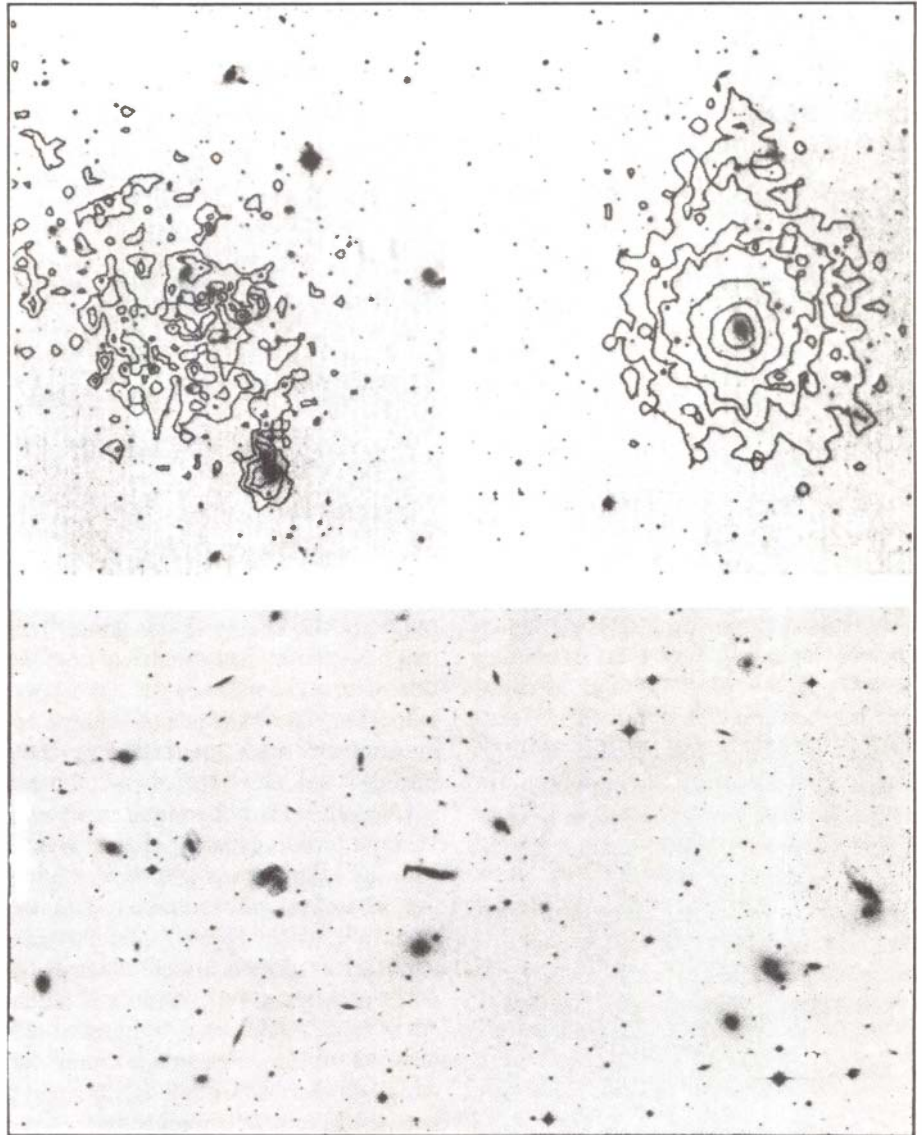
## LES GOLFES DE L'EDIFICI CIENTÍFIC

Els càlculs de Laplace i Michell, en l'època que es van efectuar, no passaven de ser una mena de jocs matemàtics sobre la gravitació. En aquell temps, ningú no podia imaginar l'existència d'astres amb una massa més gran que la del Sol i que, alhora, ocupessin un espai reduïdíssim. A més, predominava la teoria ondulatoria de la llum i, per totes aquestes raons, molt aviat aquelles "especulacions" matemàtico-astronòmiques van quedar arraconades. En l'edifici de les ciències també hi ha golfes on es van cobrint de pols certs estudis, teories, càlculs i projectes.

Quan Einstein, en 1905, va parlar dels fotons o partícules lluminoses i en 1916 va indicar que acusaven els efectes de la gravitació, es van presentar un conjunt de circumstàncies teòriques per treure la pols d'algunes idees de les golfes i els jocs matemàtics de Laplace-Michell van tornar a sortir a la llum.

## UN OFICIAL ALEMANY FA CÀLCULS EN LES TRINXERES

La Primera Guerra Mundial va commoure moltes nacions. Aquí ens hem de referir a un oficial alemany, anomenat Karl Schwarzschild, que en les estones d'inacció, que feien més llargs els dies en les trinxeres, s'ocupava a resoldre problemes complicats. El cognom d'aquest alemany és ben curiós: significa *escut negre*. Doncs bé, aquell home era un dels astrònoms més destacats de l'època i s'havia aplicat a resoldre les setze equacions que Einstein havia proposat -sense trobar-ne la solució- per representar el camp gravitatori de qualsevol cos de l'espai. Els estudis de Schwarzschild van ser publicats després de la seva mort en 1916. En els seus papers feia referència a unes condicions gravitacionals insòlites que anomenava *singularitats* i que més endavant es denominarien *forats negres*. Les equacions de Schwarzschild permeten entendre el comportament d'un



A dalt, contorns d'emissions idèntiques de raigs X de dues agrupacions de galàxies: l'Abell 1367 (esquerra) i l'Abell 85 (dreta). Se suposa que l'Abell 85 és més evolucionada que l'Abell 1367 perquè el gas que emet els raigs X ha desaparegut de les galàxies individuals i s'ha concentrat al voltant de la galàxia gegant central dominant. A sota, l'agrupació de galàxies Hèrcules. Observem-hi la increïble varietat de formes de les galàxies.

cos sotmès a un procés de reducció de volum i de densificació. S'hi preveïen uns efectes sorprenents. Per exemple, en el cas que el radi del Sol arribés a un determinat valor ( $R_g = 2,8 \text{ km}$ ) es produiria un fenomen insòlit: el Sol es tornaria invisible. La velocitat d'evasió prendria llavors un valor crític i els fotons no es podrien escapar de la massa solar. El Sol s'hauria transformat en un forat negre.

Imaginem que la Terra experimentés una compressió tal que el seu radi -que en l'equador fa 6.378.160 km- es reduís fins a 0,8 cm, com una mena de balí. En aquest cas, s'hauria convertit en un forat negre: la velocitat per fugir-ne seria més gran que la de la llum, això faria que empresonés els fotons i es tornaria, per tant, invi-

sible. Allò que els físics anomenen *horitzó de Schwarzschild* correspon a les parets d'aquella mena de presó de fotons que és un forat negre: una superfície esfèrica amb un radi inferior al de Schwarzschild ( $R_g$ ), que expressa el límit on la velocitat d'evasió en la superfície d'un astre és superior a la velocitat de la llum.

## HISTÒRIA D'UN FORAT NEGRE

Posem que hi ha un estel format per un gran nombre de partícules. Les partícules, per l'acció de la gravitació, s'atreuen entre elles i això dona lloc a una pressió enorme dirigida cap al centre de l'astre. De tota manera, les partícules, col·lidint a mesura que es "concentren", produeixen una temperatura molt elevada. L'augment de temperatura fa aparèixer una força tèrmica, dirigida enfora, que compensa la força anterior, orientada cap al centre. Innumerables reaccions nuclears tenen lloc en el nucli de l'estrella, però en termes generals es podria afirmar que es manté un cert equilibri entre les dues forces. De tota manera, ja se sap que l'equilibri no és estable, que és una situació transitòria. Pot donar-se el cas que predomini la força gravitacional de l'astre si aquest té una determinada massa, i llavors comença un procés accelerat de concentració. El radi d'aquest cos espacial anirà disminuint i, quan arribi a un cert valor ( $R_g$ ), tota la matèria s'esfondrarà cap al centre i es formarà, a l'entorn de l'astre, aquella paret que anomenen forat negre. S'inicia un procés de disgregació: els àtoms esclaten i els nuclis es desfan... La força gravitacional tot s'ho empassa en un procés cada cop més vertiginós. Aquesta és una història que no té un final ben conegut, perquè no se sap ben bé què hi passa i què en queda. Quan s'arriba a un límit on falla l'estructuració de l'espai i del temps, es parla de *singularitat*.

L'esfondrament estel·lar es produeix en dues etapes. En primer lloc, el cos es comprimeix fins que té una superfície una mica més gran

que la superfície de Schwarzschild, és a dir, la d'una esfera de radi  $R_g$ .

En aquest cas no s'hauria arribat encara al límit en què es produeix una distorsió notable de l'espai-temps. Quan el cos espacial tingui, finalment, la superfície de Schwarzschild, es produiria el cataclisme i s'esfondraria; la gravitació arribaria a un nivell tal que les condicions espàcio-temporals s'alterarien. En una fracció de segon, s'arribaria a la singularitat.

S'ha de tenir en compte que les mesures temporals han quedat relativitzades: el temps del cos col·lapsat no es correspon amb el de la Terra. Hi ha dos temps, dos espais diferents. De fet, es podria parlar de dues formes de realitat diferents. Un segon de l'astre podria representar milers de milions d'anys a la Terra. La superfície de Schwarzschild expressa el trencament relativista del marc de referència espàcio-temporal. Un forat negre comporta també una geometria especial. En el procés de col·lapse estel·lar, els raigs lluminosos es corben i fan voltes entorn dels astres, com satèl·lits, abans d'escapar-se'n.

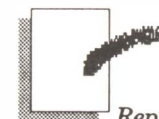
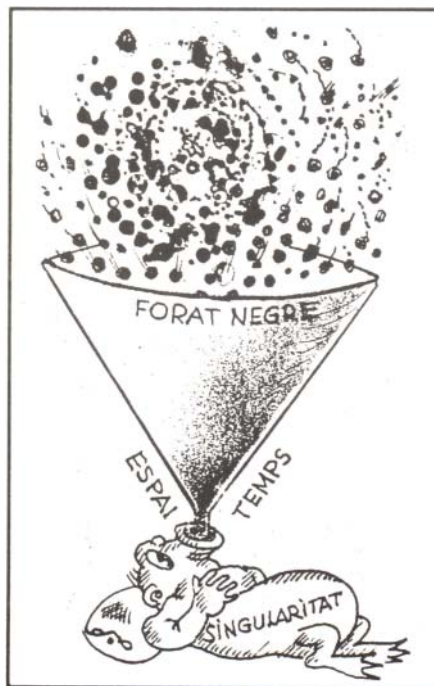
Quan l'astre ja té la superfície de Schwarzschild, el forat negre ha adquirit les seves característiques peculiars i s'empassa tots els raigs

lluminosos que, en unes altres condicions, emetria. S'ha convertit en un gegant diminut i, a més a més, invisible.

Certament aquests processos no s'han pogut observar; han estat calculats a partir de determinats fenòmens associats. Sembla que vora de l'estrella binària A0620-00 hi pot haver un forat negre. De tota manera, s'assegura que en el si de la nostra galàxia hi ha milions de forats negres. ¿Aquesta mena de realitats ens ha d'imposar una nova concepció de l'espai que ens envolta?

Stephen Hawking, el popular físic de Cambridge, va aplicar els càlculs de la física quàntica a l'estudi dels forats negres. Hawking es va llançar a l'aventura intel·lectual d'amplificar el camp d'aplicació de la física quàntica. Allò va ser una "generalització" de la física quàntica per a l'estudi de fenòmens d'un nivell de representació que ultrapassava de molt l'escala de les partícules. Es podia aplicar a objectes d'estudi macromassius. Aquest recurs el va dur a establir una correlació entre la massa i la temperatura dels forats negres.

L'estudi dels forats negres constitueix, sens dubte, un dels capítols més apassionants de la investigació astrofísica actual, perquè no sola-



Representació humorística de l'estructura d'un forat negre. La singularitat, com a negació de les condicions espàcio-temporals, sembla constituir el terme de l'absorció gravitacional que caracteritza un forat negre hipotètic.

ment mostra aspectes sorprenents del nostre cosmos, sinó que comporta una important adaptació epistemològica a noves exigències de representació.

### EL LLARG CAMÍ...

Res no és estable, però tot tendeix a l'estabilitat. La segona llei de la termodinàmica és una mena de fletxa que assenyala el terme de l'univers, que es pot denominar equilibri termodinàmic. ¿Què passarà una vegada l'univers hagi arribat al caos com a mort tèrmica de tot el que havia contingut?

Els astres, com els éssers vivents, neixen, es desenvolupen i finalment moren. El Sol, pare del nostre sistema, font d'energia que ens ve del cel, durarà només uns cinc mil milions d'anys. Quan hagi consumit tot el seu "combustible", entrarà en joc la força gravitatòria. L'astre es contraurà i la seva densitat interna arribarà a un milió de grams per centímetre cúbic. Tindrà les dimensions de la Terra i es desplaçarà per l'espai com una nana negra, una d'aquelles estrelles que no es poden observar.

Alguns estels finiran fent una gran explosió. És el que els astrònoms anomenen *supernovae*. En aquest cas, els nuclis s'esbotzen de forma catastròfica, s'alliberen grans quantitats d'energia i una gran part de la massa és expulsada

a l'espai. La part que n'hi queda és matèria supraprensada. En aquesta situació, per exemple, tota la massa solar quedaria comprimita en un volum esfèric d'uns quants quilòmetres. La gravitació seria tan gran que una cullereta de cafè pesaria tant com tots els continents de la Terra. En resulta una pressió tan forta que els àtoms no poden suportar-la i queden reduïts a neutrons. Els astrònoms descriuen aquestes "estrelles de neutrons" com les ruïnes d'antigues *supernovae*.

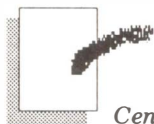
Les estrelles mortes més massives no s'estabilitzen de cap manera. Són engolides per la mateixa gravetat a velocitats inimaginables, i es converteixen, finalment, en forats negres.

Alguns astrònoms creuen que en el centre de la nostra galàxia hi ha un gran forat negre que s'anirà fent cada cop més gran. Les òrbites estel·lars seran modificades per les alteracions gravitatòries de l'espai, que formarà les parets d'una mena de gran embut cap al forat negre, perquè tot hi vagi caient a dins.

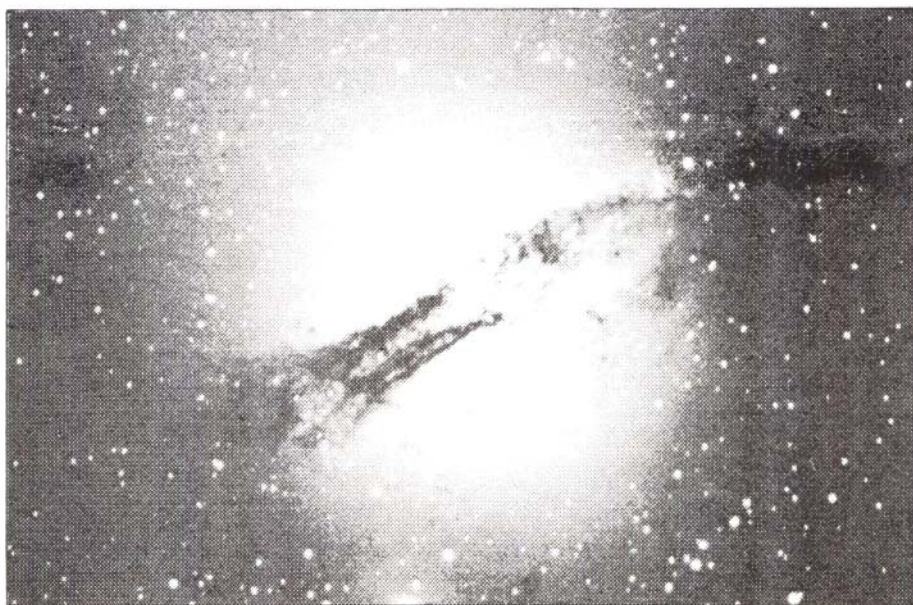
### L'HORIZÓ D'ESDEVENIMENTS

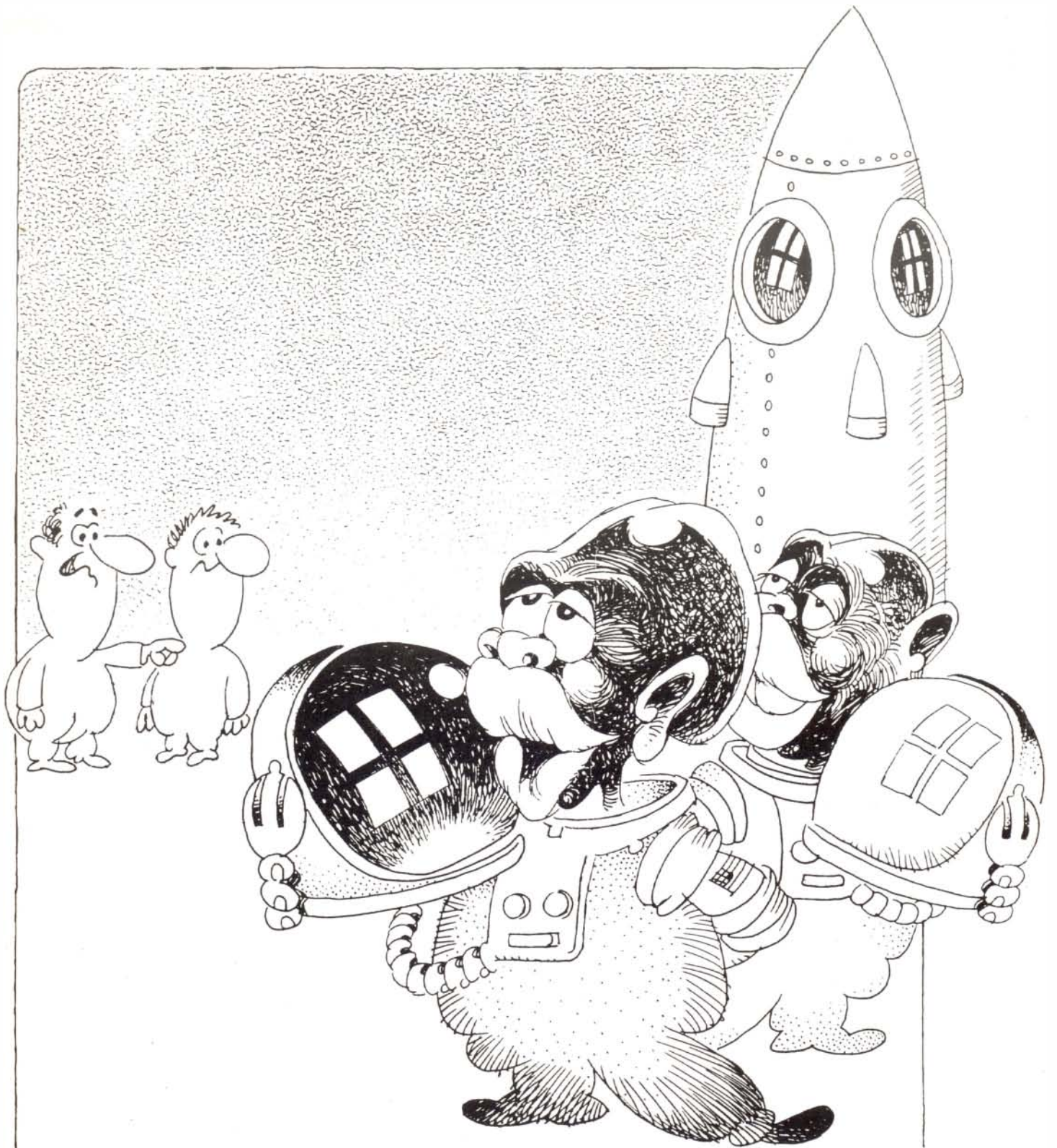
En general, es defineix l'horitzó com una línia que limita la part de la superfície terrestre des d'un punt determinat. L'horitzó astronòmic és el cercle màxim de l'esfera celest vist des de la perpendicular d'un lloc de

terminat. L'horitzó d'esdeveniments separa allò que té lloc dins d'un espai-temps, teòricament accessible a un observador, d'allò que no es pot observar, com són els fenòmens que es poden produir en aquest procés de col·lapse que denominem forat negre. Hi ha esdeveniments que no podem observar perquè es troben afectats per la superfície de Schwarzschild. Tot el que s'esdevé en un forat negre solament pot ser "entès" des d'un horitzó d'esdeveniments situat enfora. En unes altres paraules: el que es pot dir d'un forat negre sempre està en relació amb el que és extern a ell mateix. Ara bé, sabem que la matèria còsmica es dirigeix cap al seu interior per desaparèixer-hi. Podem afirmar que l'horitzó d'esdeveniments és una barrera epistemològica. Se sap, això sí, que els forats negres van creixent a mesura que s'alimenten de tot allò que engoleixen. Jugant amb analogies, es podria dir que un forat negre és com una porta per fugir de l'univers. I ens trobem que la presó que no deixa escapar les partícules, la gran concentradora gravitacional, seria, alhora, un punt de fugida. ¿Què s'esdevé quan tota la superfície d'una estrella ha desaparegut per l'efecte del col·lapse gravitacional? La resposta té un caràcter ben "singular": tota la massa de l'estel es concentra en un punt de densitat infinita. La curvatura de l'espai-temps creix



Centaure A (NGC5128). És una galàxia el·líptica que emet ones de ràdio, raigs X i  $\gamma$ . L'existència d'un forat negre al seu centre empassant-se cúmuls d'estels podria explicar les fluctuacions ràpides amb què emet la radiació X.





DOMÈNEC

-Són astronautes de color?

-No, és que s'han acostat massa a un forat negre.

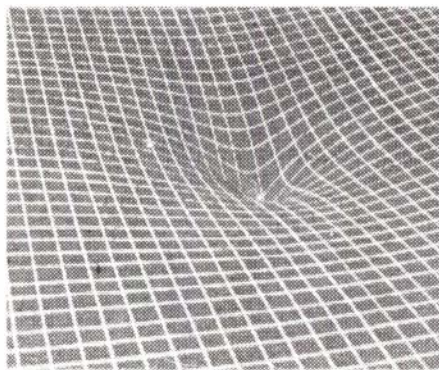
il.limitadament fins que aquest "es trenca" No es pot dir res del que hi ha més enllà de la singularitat. Si l'horitzó d'esdeveniments és una barrera en l'ordre de les observacions, la singularitat ho és en l'ordre de les representacions.

## LA RADIACIÓ TÈRMICA DE HAWKING

En 1974, Stephen Hawking, aplicant la teoria quàntica als forats negres, va sostenir, contra el que molts pensaven, que aquells podien "evaporar-se" molt lentament emetent alguna forma d'energia. Això sembla anar contra el que s'ha dit de l'horitzó d'esdeveniments i de la constant absorció de matèria per part dels forats negres. Per desfer aquesta aparent contradicció es va recórrer a la noció hipotètica d'una energia negativa, és a dir, d'una antienergia, com si quedés un buit, que produís algun efecte sobre el seu entorn, allà on el forat negre ha engolit la matèria que hi havia. L'energia negativa seria un efecte gravitacional i, segons afirmen alguns astrofísics, es troba fins i tot a l'entorn de la Terra i dels estels, encara que en quantitats molt petites. Gairebé resulta indetectable. Normalment no produeix cap efecte detectable, perquè es tracta d'una energia estàtica; però en el cas que es produís una hipotètica implosió, és a dir, l'astre s'esbotzés i la matèria que conté es precipités cap al centre del mateix astre, el pas de l'energia negativa darrere de l'horitzó d'esdeveniments provocaria l'aparició d'energia positiva en forma de radiació tèrmica de Hawking.

### LA "DIVISIÓ" DE PENROSE

Roger Penrose també va descriure un procés que explicaria com un forat negre pot deixar que una part de la seva energia s'escapi per l'efecte de la rotació. Aquest matemàtic britànic concebia la possible divisió de les partícules atrapades a la vora d'un forat negre en dues porcions: l'una cauria en l'in-

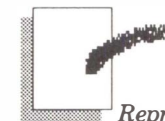


terior del forat negre, mentre que l'altra en fugiria a gran velocitat utilitzant una part de l'energia que li hauria transferit l'altra meitat i aprofitant, a més a més, una part de l'energia de rotació del forat negre. Això determinaria, de mica en mica, una pèrdua de la massa del forat negre. S'ha dit que el volum d'un forat negre depèn, per una banda, de la velocitat de rotació d'aquest i, per l'altra, de la massa-energia que conté. Com més ràpidament giri el forat negre, més petit serà el seu horitzó d'esdeveniments. És per això que a mesura que es redueixi la velocitat de rotació d'un forat negre, d'acord amb la hipòtesi de Penrose, l'àrea del forat creixerà, encara que en disminueixi la massa-energia total. També es pot imaginar un altre procés: un increment de massa-energia i de velocitat al mateix temps que es redueix l'horitzó d'esdeveniments.

S'anomena *ergosfera* la zona que envolta l'horitzó d'esdeveniments d'un forat negre, on té lloc la "divisió" de Penrose.

### COMES POT DETECTAR UN FORAT NEGRE?

Un forat negre, per principi, no és directament observable. Solament es pot detectar, doncs, a partir dels efectes que provoca tot al voltant. S'admet que el punt de referència més segur per arribar a detectar un forat negre és un sistema estel·lar doble. La presència del forat negre es pot constatar a partir de la perturbació gravitatòria que opera sobre els cossos visibles que l'envolten. Aquest és el mateix procediment



Representació de la distorsió d'un espai pla per un cos de gran massa. Ajuda a entendre un forat negre.

que Bessel va fer servir per descobrir la nana blanca Sírius B, que es troba al costat de Sírius, l'estel  $\alpha$  de la constel·lació *Canis Majoris*, un dels més brillants del firmament. També sembla que es pot detectar l'acció gravitatòria del forat negre perquè, absorbint matèria dels estels veïns, provocaria l'emissió de raigs X. Tenint en compte que aquesta radiació no travessa l'atmosfera, s'hauria de captar des d'un satèl·lit artificial. Els raigs gamma poden servir igualment per rastrejar l'existència d'un forat negre de dimensions molt reduïdes, gairebé microscòpiques. En aquest cas, es tractaria d'una mena d'últim alè energètic d'un forat negre. Aquesta detecció també s'ha d'efectuar des d'un satèl·lit artificial.

Els forats negres, com tot el que forma part de l'univers, s'encaminen cap a l'anihilació final. Se'ns apareixen com la mort d'un estel massiu, que també va morint... És una mort d'una mort. ■

Pere Clarisvalls i Mata

és redactor de matèries científiques

### BIBLIOGRAFIA

- Boslough, J.: *El universo de Stephen Hawking*. Salvat, Barcelona, 1988.  
 Caratini, R.: *L'année de la science*. Seghers-Laffont, 1989.  
 Davies, P.: *El universo desbocado*. Salvat, Barcelona, 1988.  
 Davies, P.: *Otros mundos*. Salvat, Barcelona, 1986.  
 Hawking, W. S.: *Història del temps*. Crítica, Barcelona, 1988.