

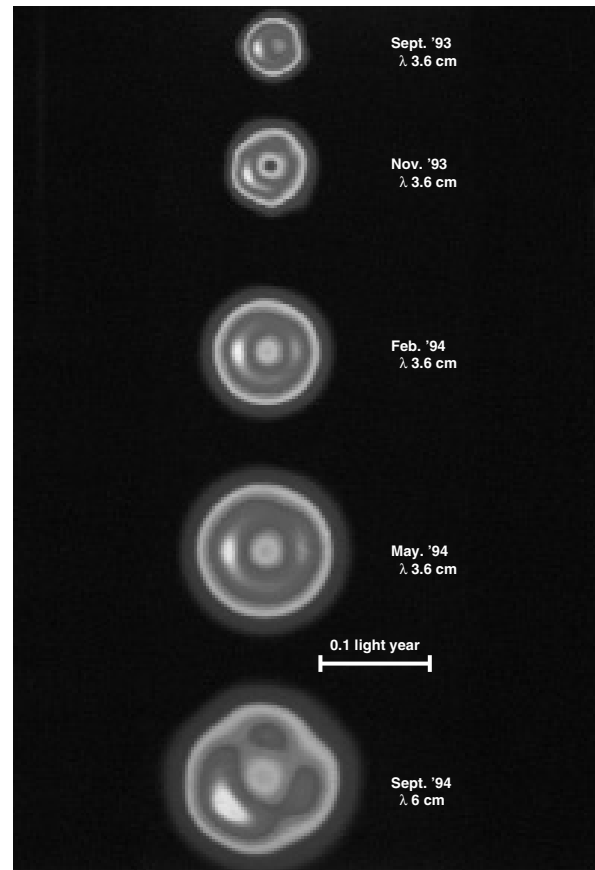
# UNA EXPLOSIÓ ESTEL·LAR EN MOVIMENT

Roger A. Chevalier\*

Sobre l'article de J.M. Marcaide, catedràtic d'Astronomia de la Universitat de València, *et al.*, publicat a *Science*.

Les estrelles d'altres galàxies són normalment massa petites perquè es puguin resoldre des de la Terra, però com afirmen Marcaide *et al.* en la pàgina 1.475 d'aquest número, un dispositiu sensible de radiotelescopis en una xarxa mundial ha aconseguit ara una seqüència temporal d'imatges d'una estrella en explosió (1). La supernova, anomenada SN1 993J fou descoberta el març de 1993 en la galàxia M81 per un astrònom espanyol afeccionat (2). A una distància de la Terra estimada en 12 milions d'anys-llum, es troba relativament a prop, tractant-se d'una supernova. Les observacions de l'objecte progenitor fan pensar que es tracta d'una estrella extensa amb un radi aproximadament igual a la distància existent entre la Terra i el Sol. L'explosió accelerà les capes estel·lars exteriors a una velocitat superior a  $10.000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , de manera que l'estrella s'havia expandit per un factor superior a 1000 en el moment de la presa d'imatges de radi. A pesar de la ràpida expansió aquesta presa d'imatges només pogué iniciar-se sis mesos després de l'explosió inicial a causa de l'enorme distància. Els resultats mostren directament l'expansió d'una closca circular amb certa persistència en la seua estructura.

No totes les supernoves són fortes emissores de radi. El fet que l'estrella progenitora fos molt extensa comporta un aspecte crucial en l'emissió de radi. Les estrelles amb grans masses extenses en les darreres fases de la seua evolució tenen vents estel·lars densos i lents; és la col·lisió de la supernova amb aquest vent dens el que afavoreix les condicions adequades per a l'emissió de radi. La supernova arrossega una closca de gas amb un front de "xoc" en la vora principal. La closca tendeix a aturar-se amb el temps, de manera que el gas fred de la supernova en expansió arriba a la closca i genera un nou front de "xoc", el revers. Els fronts de xoc són espais d'acceleració relativa d'electrons i en presència del camp magnètic de la closca arrossegada els electrons d'alta energia emeten radiació radiosincrotró. Aquesta és la base per al model d'interacció del vent de les radiosupernoves (3). La Supernova SN 1987A fou la primera detectada a simple vista des des feia gairebé 400 anys i es trobava, per un factor de 70, més a prop que la SN 1993J, però era una dèbil emissora de radi. La raó és que la seua



Imatges de xoc. Una seqüència d'imatges de radi de la SN 1993J obtinguda per Marcaide *et al.* revela un any en la vida de la supernova i un desenvolupament de xoc simètric.

estrella progenitora era compacta, menor que la SN 1993J per un factor de 10, i tenia un vent estel·lar lent i de baixa densitat. En aquell cas, els fenòmens radiatius observats eren nodrits per la radioactivitat i hi havia poca evidència de la interacció del vent.

El model d'interacció del vent predeia que l'emissió de radi de la SN 1993J seria en una closca ràpida i la presa d'imatges de radi ha confirmat que efectivament és així. Això no seria així per a una font central d'energia com un pulsar. Més detalladament, el model d'interacció predeia que el límit interior de la closca de radi hauria de ser el front de xoc revers. Aquest front pot inicialment escalfar el gas fins a una temperatura

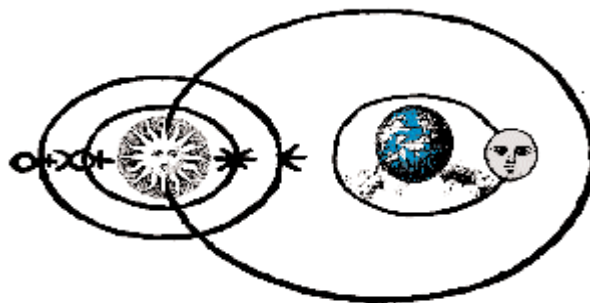
de 10 milions kelvin, més calent que la corona solar, i el gas radia raigs X. Si la densitat és suficientment alta, la radiació refreda el gas fins al punt en què s'emeta radiació en la línia òptica. Els espectres de la SN 1993J en longituds d'ona òptica i ultraviolada mostren l'àmplia línia d'emissió que s'esperava de l'ona de xoc refredada, i l'amplitud de les línies dóna la velocitat del gas en el front de xoc revers. La combinació de la velocitat amb l'edat dóna el resultat del radi del front de xoc revers. La dimensió angular mesurada en la imatge de radi, combinada amb la distància fins a M81 dóna també com a resultat una dimensió física, que concorda, dins els errors, amb el primer amidament.

Per a supernoves més distants i amb distàncies poc determinades, aquesta tècnica promet la possibilitat de determinar les distàncies fins a les galàxies i d'obtenir un valor de la constant de Hubble, com ja s'ha intentat per a la SN 1979C (4). El problema és que la presa d'imatges és difícil per a les supernoves distants i les observacions de radi només poden oferir una dimensió imprecisa. L'estructura de la closca emissora és, doncs, important. Les observacions de Marcaide *et al.* (1) mostren una ràtio de 0'7 del radi de la closca interior a l'exterior i una evolució autosimilar (*self-similar*); és a dir, l'estructura relativa al radi exterior roman sense variar en el temps, fins i tot quan el radi exterior està expandint-se. La teoria de la interacció prediu una evolució autosimilar però amb una regió emissora més estreta. La ràtio del radi de xoc interior a l'exterior és aproximadament de 0'8 i les inestabilitats que poden construir el camp magnètic tenen lloc només en la meitat interior de la closca. La regió emissora més ampla pot estar associada a l'agrupament del

vent. Són necessaris càlculs detallats per a investigar aquesta associació. Desgraciadament, diferents supernoves poden tenir estructures distintes de closca, la qual cosa introduirà incertesa en les estimacions de la constant de Hubble.

Les imatges de radi mostren que la closca és sorprenentment circular, especialment a la vista de la polarització detectable en longituds d'ona òptiques (5). El vent i la matèria externa de la supernova semblen simètrics i qualsevol asimetria es localitza més centralment. A pesar de la forma simètrica, hi ha variacions de brillantor al voltant de la closca que persisteixen amb el temps (1). Una possible raó d'aquest comportament és que l'eficàcia de l'acceleració de partícules en el front de xoc exterior depèn de l'orientació del camp magnètic. El camp magnètic en un vent estel·lar hauria de tenir una estructura espiral alineada amb l'eix de rotació estel·lar. El camp magnètic és massa feble per a afectar la dinàmica de les ones de xoc, però podria deixar la seua marca en l'estructura de l'emissió radiosincrotró.

Les observacions confirmen així el model bàsic d'interacció del vent però generen qüestions que requeriran un modelatge més detallat i més simulacions per ordinador. La combinació d'altres densitats i altres velocitats genera condicions extremes que són comparables a les dels quàsars, però ací tenim una imatge clara de la situació física. Quan les observacions de radi es combinen amb observacions amb longituds d'ona de raigs X, òptica i ultraviolada, tenim una oportunitat per a seguir i comprendre les fases inicials d'expansió dels fenòmens explosius més extrems en les galàxies properes: les supernoves.



Copyright 1995. American Association for the Advancement of Science. Aquest article ha estat prèviament publicat a la revista *Science*, vol. 270, 1-12-95. La traducció per a *Mètode* és de Carme Campello.

\* Departament d'Astronomia de la Universitat de Virginia. i Vicepresident de la Societat Americana d'Astronomia.

#### NOTES

- 1) J. M. Marcaide et alii, *Science*, 270, 1475 (1995)
- 2) J. Ripero, IAU Circ, 57321 (1993)
- 3) R. A. Chevalier, *Astrophys. J.*, 259 (1982)
- 4) N. Bartel et alii, *Nature*, 318, 25 (1985)
- 5) *Astrophys J.*, 414 (1993)