

## **Som fills de les estrelles.**

### **Manel Perucho i Pla.**

Moltes vegades, les preguntes més senzilles ens poden portar als problemes més grossos de resoldre. Per exemple, mirar al nostre voltant i demanar-nos d'on han eixit tots els materials que ens envolten i que, fins i tot ens formen, podria semblar fàcil de respondre. Els metges ens diuen que hem de prendre calci per reforçar els ossos, o que prenguem hidrats de carboni per menjar, ens reforcen amb ferro si estem fluixos... A més, tots sabem que ens mantenim vius mentre som capaços de respirar oxigen i de beure aigua. Sense ells, moriríem. Ara bé, aquests elements i altres que ens formen, d'on venen? Aparentment, tot prové de la Terra, més en particular de la biosfera i l'escorça terrestre. Però la Terra no ha existit sempre i tenim evidències que no va ser creada abans del setè dia. Llavors, han estat a l'Univers des del seu naixement? La Cosmologia ens respon que en crear-se l'Univers només hi havia hidrogen i una mica d'heli, els dos elements més lleugers. On s'han format els altres? La resposta està a l'interior de les estrelles.

Efectivament, el mecanisme pel qual es genera energia a les estrelles és la fusió nuclear. Aquesta consisteix a unir dos nuclis atòmics i, com resultat, s'obté alliberament d'energia i un nou nucli, és a dir, un nou element químic. El que caracteritza cada element és el número de protons que té al seu nucli. Si un nucli té un protó, és hidrogen, si en té dos, és heli, i així successivament. A més, els nuclis poden tindre neutrons, però el que conta per nosaltres és el número de protons. Durant la major part de la vida de qualsevol estrella, els nuclis d'hidrogen s'uneixen per formar heli, ja que les condicions físiques al sí de l'estrella així ho permeten.

La fusió nuclear és una forma de produir energia eficient i prou neta, perquè genera heli, que és un element molt estable, tant física com químicament. Pel contrari, la fisió que fem servir a les nostres centrals nuclears consisteix en un trencament de nuclis pesants (per exemple urani), en què s'allibera energia però es produeix radioactivitat en forma de nuclis inestables. Si algú està preguntant-se que per què no fem fusió a les centrals, en lloc de fisió, la resposta és ben senzilla: no podem reproduir les condicions d'alta pressió i temperatura (al voltant d'una desena de milions de graus) de l'interior d'una estrella. S'estudien maneres alternatives de produir fusió, però en totes elles costa més energia encetar-la, que el que se'n trau després.

Tornant a les estrelles, quan les primeres es van formar, només hi havia hidrogen i heli. Ara ja sabem com es forma més heli a partir de l'hidrogen, però, i la resta? Per entendre-ho hem de tindre en compte que una estrella no és una esfera sòlida, sinó de gas, i que per tant, està subjecta a deformacions. En realitat les capes exteriors de l'estrella caurien sobre les interiors per causa de la gravetat, si no fós perquè l'energia generada al centre de l'estrella per la fusió és suficient per suportar-les. Açò és com quan unflem una roda de bicicleta i l'aire que hi fiquem es calfa per compressió i quan toquem la roda, està calenta. Aquest gas escalfat tendeix a expandir-se. En una estrella, el gas del centre està tan calent que la seua tendència a l'expansió contrarresta la tendència a caure del gas que té damunt. Per tant, mentre l'estrella genera prou energia, tot va bé. Ara, en el moment en què comença a esgotar-se

l'hidrogen, l'estrella deixa de generar energia a un ritme suficient com per seguir mantenint el seu propi pes.

El que passa després depèn de la massa inicial de l'estrella. Hi ha dos camins bàsics: Si l'estrella és petita, com el nostre Sol, el pes de les capes exteriors no és molt gran i per tant no hi ha canvis espectaculars en un centre que va apagant-se i morint a poc a poc mentre els últims nuclis d'hidrogen van desapareixent. És com si a l'estrella li faltara l'alé, una mort lenta i cruel com la que li espera al nostre Sol i per tant a la nostra Terra. Però tranquils, encara queda massa temps com per patir per això. Ara, si l'estrella és molt gran, el pes de les capes superiors que cauen fan que augmente la temperatura i densitat del centre. En aquest cas les condicions hi canvien de manera espectacular. La diferència vindria a ser entre que ens trepitge el peu una moto, o que ho faci un camió. Segurament, el peu estaria més calent en el segon cas, no?

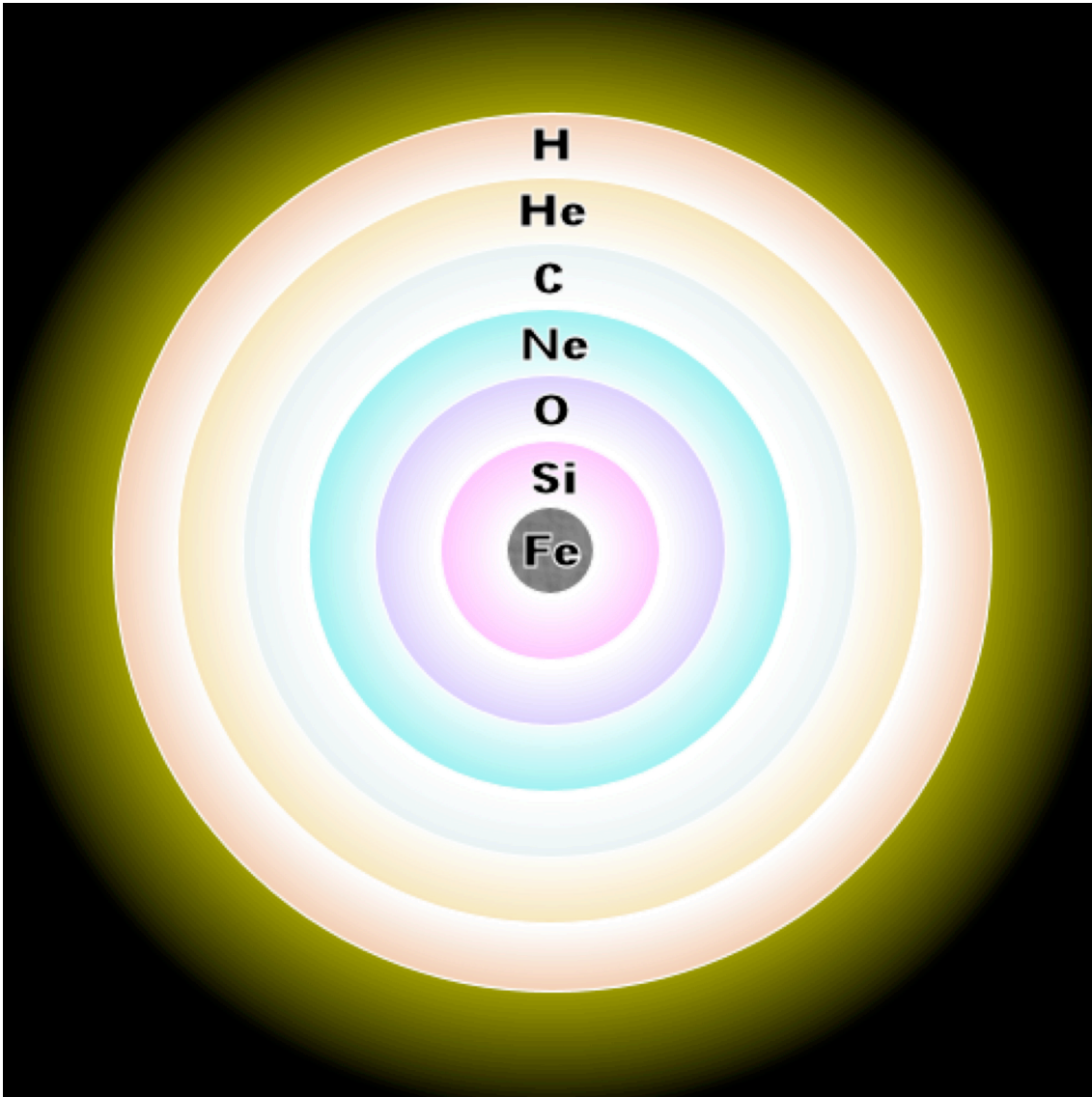
En aquestes noves condicions, encara més extremes que les anteriors, es fa possible una reacció mitjançant la qual tres nuclis d'heli en formen un de carboni. Si un altre nucli d'heli es fusiona amb un de carboni, es forma oxigen i, finalment, un altre nucli d'heli amb un d'oxigen formen nitrogen. Ja tenim els primers ingredients de la vida. En particular tenim oxigen i hidrogen, els components de l'aigua, i carboni, essencial per la vida tal i com la coneixem. Algú pot pensar que per això caldrà molt d'heli. És que al sí de l'estrella se n'ha estat generant durant molt de temps! Mentre es produeixen aquestes reaccions nuclears, les capes externes es mantenen en equilibri. Aquest tipus d'estrelles encara emeten llum, com el Sol, però solen ser d'un altre color, més ataronjades, com Artur, a la constel·lació del Bover, una estrella molt brillant que podeu veure cap a ponent a les poquetes nits d'agost.

Ara bé, a partir d'ací tenim un nou problema. Bo, en tenim dos. El primer és que ja no es passa del nitrogen en aquesta fase, i el segon és que estan alguns dels elements de la vida, però tots dins d'una estrella a unes temperatures terribles de centenars de milions de graus. Això ha d'eixir de l'estrella d'alguna manera. Les solucions als dos problemes venen juntes. En començar a esgotar-se l'heli i ser insuficient l'energia generada al sí de l'estrella com per suportar el pes de les capes superiors, aquestes cauen molt ràpid i, com que es tractava d'estrelles molt grans (recordeu l'exemple del camió), es genera una regió tan compacta al centre, que es produeix un rebot de les capes externes, mentre aquestes encara cauen a gran velocitat. Pel camí, en aquesta regió tan dura, les condicions han estat tals que s'han produït reaccions nuclears en cadena que, fusionant, fusionant, han arribat a generar nuclis de ferro, amb 56 protons, o fins i tot més pesants! Aquest procés acaba en una explosió coneguda com Supernova.

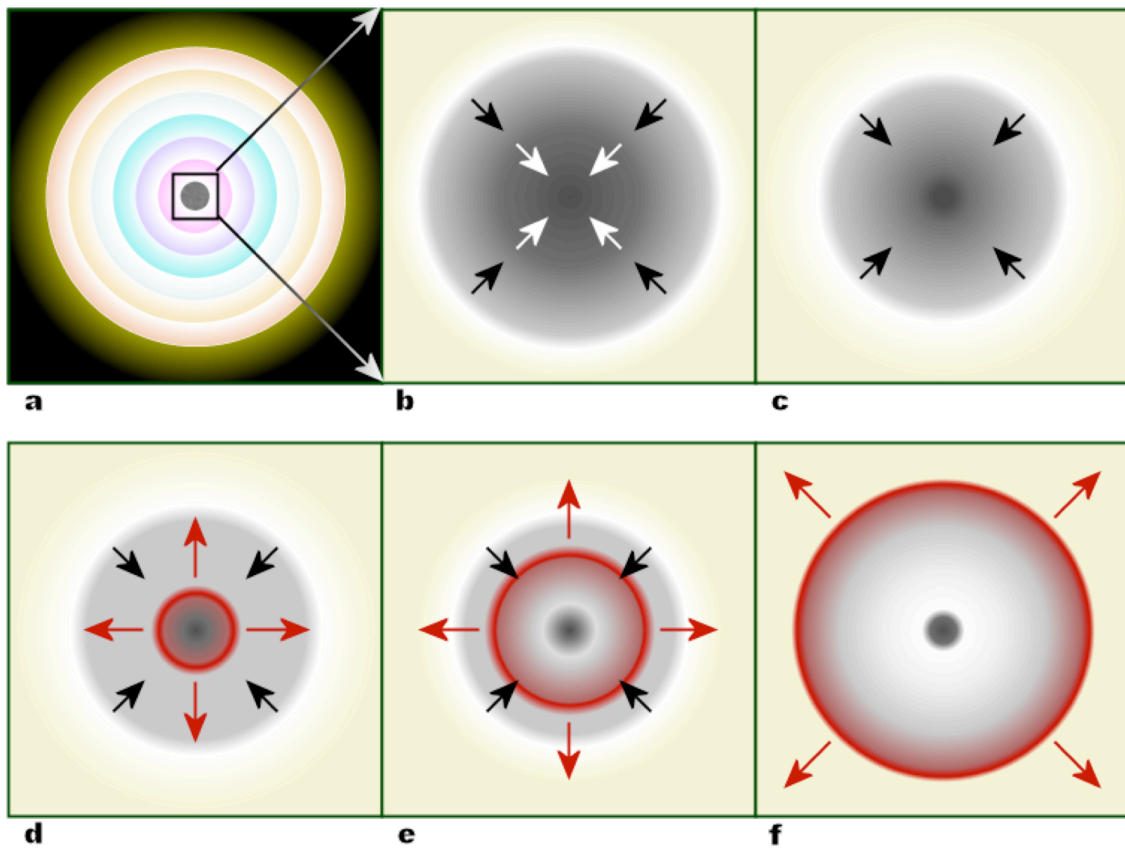
La Supernova és, per tant, un procés en què es generen nuclis pesants i, a més, s'expulsa una part important del gas de l'estrella cap a l'espai. Després del masclet còsmic, tenim una quantitat enorme de gas escampada pels voltants del que havia estat una estrella. I d'aquesta, el que resta pot ser una estrella de neutrons, anomenada així per ser un objecte molt dens format només per neutrons. I quan diem molt dens és perquè una culleradeta del material que la forma pesa com 900 vegades la piràmide de Gizeh, a Egipte. Ara bé, si l'estrella era molt gran, el centre no pot suportar el pes del que li cau damunt i es forma un forat negre, de manera que excepte

allò que és expulsat en l'explosió, la resta del material és engolit i passa a formar part d'aquest.

Aquest gas farcit de diferents elements va d'ací cap allà durant molts i molts anys, forma núvols, es mescla amb gas provinent d'explosions d'estrelles properes, i acaba formant noves estrelles. D'aquesta manera, les restes d'una o varies estrelles, no ho sabem, es van agrupar en un núvol a partir del qual es va formar el Sol i els seus planetes, molt de temps després. I és gràcies a això que al nostre planeta hi ha tots els elements necessaris per la vida. Som fills d'estrelles enormes que vivien en l'entorn de l'espai que ocupa el Sistema Solar. Les condicions ideals de la nostra estrella i la distància adequada al planeta que habitem van fer la resta. La Terra és un lloc meravellós i miraculós, però també és molt petit. És una pedreta a la deriva enmig d'un Univers fosc i infinit, violent i moralment neutre. Si no entenem que aquesta pedreta és la nostra casa, més enllà de les nostres parets, i que l'hem de cuidar, des del primer fins a l'últim, si no ens comprometem en tasques tan senzilles com el reciclatge o l'exigència als nostres governants d'una major cura del nostre entorn, aquest paradís es pot convertir en un infern com Venus, o en un lloc gèlid i sec, com Mart. Està a la nostra mà propagar el nostre coneixement, la nostra raó, per l'espai i el temps, o morir com un virus qualsevol, irracional, després de matar estúpidament el cos que ha ocupat i del què s'ha alimentat.



**Peu de figura 1:** Estructura en “capes de ceba” d'una estrella massiva a punt d'explotar com Supernova. S'indica l'element dominant en cadascuna de les capes. De dins cap a fora: ferro, silici, oxigen, neó, carboni, heli i hidrogen. Com que l'hidrogen i l'heli s'han fusionat a les capes interiors, només en tenim a les exteriors.



**Peu de figura 2:** Col·lapse estelar. El quadre "a" reproduïx la figura 1. Fent una ampliació de la zona central, els quadres "b" i "c" mostren fletxes que indiquen el moviment del gas cap a dins quan la pressió del gas al centre no és suficient per mantindre'l. Als quadres "d" i "e" es mostren unes fletxes roges que indiquen el rebot del gas, després que la part més interior haja generat un nucli dur i compacte. Al final, quadre "f", el nucli compacte roman en forma d'estrella de neutrons o forat negre, mentre que la resta del gas és expulsat, com indiquen les fletxes roges.