

Supernovas, hipernovas, explosiones de rayos gamma y la Tierra

Cuando decidí escribir este artículo, pensé que sería relativamente fácil. Había leído libros, artículos en revistas, Webs dedicadas al tema, foros de discusión, visto documentales. Así pues parecía que la información necesaria era abundante y fácil de localizar.

Sin embargo, al profundizar en el tema, me he encontrado con más dificultades de las esperadas. ¿Por qué? Son varias las causas. Aunque la información es abundante en la Web, es muy genérica y, con excesiva frecuencia, repetitiva. Por otra parte resulta difícil encontrar datos que profundicen en el tema hasta ofrecer información científica concreta. No digo que sea imposible, pero sí difícil, en especial si no dominas el inglés, por un lado, y tus fundamentos de física son más bien básicos. He encontrado documentos, de un nivel, al que mis conocimientos no me permiten un acceso con una comprensión que pueda resultarme útil para mi propósito.

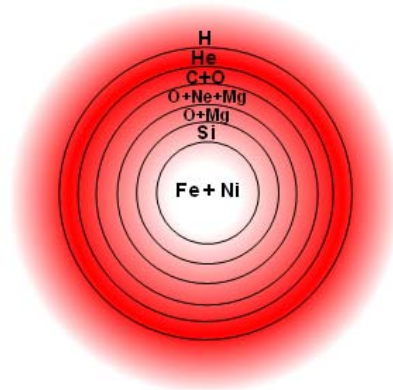
Por otra parte, los conocimientos actuales sobre estos fenómenos altamente energéticos son claramente limitados. Queda aun mucho camino por recorrer para que nuestra comprensión sobre los mismos sea lo suficientemente amplia para que nuestras deducciones y las afirmaciones sobre los mismos contengan un grado de seguridad alto. Esto último no debe ser considerado una crítica o una infravaloración del trabajo de investigación realizado hasta el momento. Simplemente, saber lo que hoy sabemos de estos monstruos galácticos es toda una hazaña. Pensemos que estamos hablando de astros que están a cientos, miles, millones de años luz, con masas mucho mayores que la del Sol, con reacciones a nivel subatómico en condiciones de temperatura y presión inimaginables, y en la que interviene la gravedad cuántica, los efectos relativistas y, hoy por hoy, aun no contamos con una teoría capaz de manejar estos conceptos con total seguridad de ajuste a la realidad. Es realmente asombroso que seamos capaces de tener modelos científicos sobre estos fenómenos, aunque sean parciales.

No obstante las dificultades planteadas, he querido seguir adelante con este artículo, a sabiendas y reconociendo que será incompleto, y que cabe la posibilidad de mal interpretaciones por mi parte. Por ello, vaya por delante esta propuesta a quienes lo lean: si alguien encuentra algún error, le estaré muy agradecido si me hace llegar sus observaciones sobre el mismo.

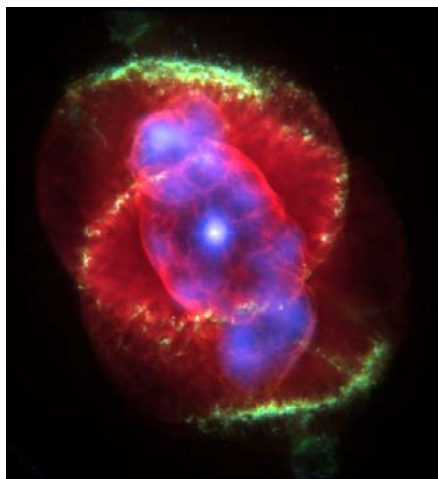
Todos los fenómenos a que hace referencia el título son el resultado de la "muerte" de estrellas masivas, por lo que creo conveniente realizar una pequeña introducción al tema.

¿Cómo llega al estadio final una estrella? Es el resultado inevitable del consumo de los dos componentes primordiales de la misma: el hidrógeno y el helio.

El principal motor de toda estrella es la reacción de fusión del hidrógeno, en primer lugar, y del helio, en segundo lugar. Estos procesos de fusión nuclear terminan con la constitución de un núcleo estelar de carbono y oxígeno. Si la masa de la estrella no es suficientemente grande, la presión ejercida por la gravedad no la calienta hasta el nivel de iniciar la fusión de estos elementos en otros más pesados. Si por el contrario existe masa suficiente el proceso de nucleosíntesis continuará hasta llegar al hierro, donde se detendrá pues la fusión de átomos de hierro ya no aporta energía, si no que la absorbe. Todos los elementos generados por la nucleosíntesis se van acumulando, formando capas como las de una cebolla. La "combustión" de los distintos elementos tiene también una duración distinta. Así mientras el Hidrógeno tarda 10 millones de años (en una estrella de 18 masa solares), el Helio dura 1 millón, el Carbono 12.000 años, el Neón 12 años, el Oxígeno 4 años y el Azufre/Silicio una semana.



Podemos determinar claramente un límite en la forma en que acaba la vida de las estrellas en función de la masa final de las mismas, y



"Ojo de gato"
Enana blanca y nebulosa planetaria

este se sitúa en 1,44 masas solares, también conocido como "Límite de Chandrasekhar". Si no llega a este límite, el resultado es una enana blanca y una nebulosa planetaria. Este es el fin de estrellas como el Sol, que después de pasar por la fase de gigante roja, se desprenderá de sus capas externas para convertirse en una enana blanca, siendo esas capas externas expulsadas los constituyentes de la nebulosa planetaria. Eso mismo les suele ocurrir a la mayoría de las estrellas situadas por debajo del límite de las 8 o 9 masas solares (en el

proceso del nacimiento de la enana blanca, el exceso de masa por encima del límite de Chandrasekhar es expulsado hacia el exterior y pasa a formar parte de la nebulosa planetaria).

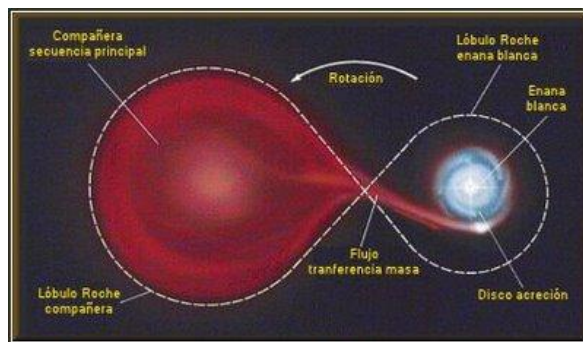
Pero no son estas las estrellas que nos interesan hoy. ¿Qué pasa con las estrellas de mayores masas y que por tanto retienen una masa superior al límite de 1,44 masas solares? Estas son las responsables de los eventos de altamente energéticos.

Bueno, en realidad eso no es del todo cierto. De hecho no hay un único tipo de supernova. Concretamente hay cinco tipos de supernova. Aunque a los humanos nos gusta la simplicidad, la naturaleza, con frecuencia, se ríe de nosotros.

Las supernovas están clasificadas en Tipo I y Tipo II, que a su vez se subclasifican como Tipo Ia, Ib y Ic, por una parte y Tipo II-P y II-L

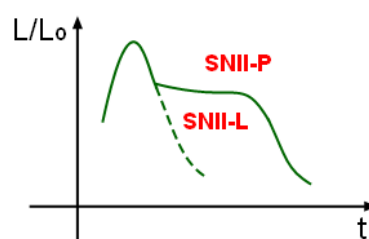
La diferencia principal entre las I y las II es que en las primeras no encontramos hidrógeno y en las segundas sí.

Veamos las Tipo I. En las del tipo Ia, no solo falta la línea del hidrógeno en su espectro, también carecen de la correspondiente al helio, presentando en cambio la del silicio. La teoría más aceptada es que estamos ante una enana blanca que tiene por compañera una gigante roja. En la danza orbital de una estrella con otra, parte de la masa más externa de la gigante roja es capturada por la enana blanca. Cuando dicha acumulación de masa es suficiente para sobrepasar el límite de Chandrasekhar, se produce la explosión de la supernova. Estaríamos pues ante una estrella que sufre una doble "muerte", como enana blanca y como supernova.



Sistema Binario origen de la Supernova Tipo Ia

Los casos de los tipos Ib y Ic tienen la calificación de I debido en parte a que esta clasificación es anterior a la comprensión que actualmente tenemos de los procesos por los que las estrellas llegan al estadio de supernova. Es verdad que en ambos casos comparten la falta de hidrógeno, pero la causa es distinta. Estamos ante estrellas en las que procesos violentos han lanzado el hidrógeno restante al espacio pero que son estrellas de por si suficientemente masivas para iniciar el estallido en forma de supernova, por tanto más parecidas, en realidad a las del tipo II. La Ic se diferencia de la Ib en que ha perdido también el helio, quedando expuesto el núcleo de carbono.



Curvas de luz de Supernovas Tipo II-P y Tipo II-L

Las de tipo II son aquellas que tienen masa suficiente como para llegar al proceso explosivo de la supernova conservando las capas externas de hidrógeno. ¿Cuál es la diferencia entre los dos subtipos indicados? Que el subtipo P, una vez se ha producido la explosión, mantiene la intensidad de luz emitida durante un tiempo, y la L va disminuyendo dicha intensidad de forma lineal. Se cree que el que se



Supernova de 1006

produzca de una forma o de otra es debido a la cantidad de hidrógeno residual en las capas externas. Las P dispondrían de mucho más hidrógeno que las L.

Por último, en esta introducción, dos casos que no he citado, porque en realidad no se si calificarlos como tipos diferentes o facetas de los tipos ya expuestos: las hipernovas y los grandes estallidos de rayos gamma (siglas en inglés GRB).

Las hipernovas son en realidad supernovas acaecidas en estrellas de alrededor de 100 masas solares. Simplemente estamos hablando de supernovas en grado superlativo y el límite que define la diferencia de una supernova y una hipernova es difuso (Una estrella en su estallido final que cuenta con 80 o 90 masas solares ¿Qué es? ¿Una supernova o una hipernova?)

En cuanto a los GRB, estos pueden darse en supernovas y en hipernovas, pero no necesariamente. No existe una causa segura que lo genere pero parece que tendría que ver con el hecho de que se genere un agujero negro de alta rotación y un disco de restos de gas de la estrella que cae hacia ella en espiral. También se ha barajado como causa la fusión de dos objetos muy masivos, como agujeros negros o estrellas de neutrones. En realidad se cree que la primera causa correspondería a los GRB de larga duración (más de 2 segundos, que pueden llegar a ser 20 y hasta 40 segundos) y los de corta duración (menos de 2 segundos) corresponderías a la segunda causa.

Pero ¿Qué son los GRB? Es difícil entenderlos si no conocemos su causa (o probable causa). Cuando se crea un agujero negro se conserva su momento angular, en definición muy básica su giro (mejor dicho el giro sobre si misma de la estrella que da lugar al agujero negro). Seguro que todos habéis visto algún patinador o patinadora, y recordaréis que, al girar sobre si mismo, como una peonza, si recoge los brazos aumenta la velocidad de giro. Esto es la

conservación del momento angular. A la estrella le pasa lo mismo. De ser un monstruo enorme, pasa a convertirse en un relativamente pequeño agujero negro, lo que provoca un inconcebible aumento en la velocidad de giro. Como el agujero negro tiene carga eléctrica, y por tanto campo magnético, este toma valores altísimos, lo que provoca que la emisión de la materia y la radiación derivada se realice en la dirección del eje de rotación, formándose dos jets en direcciones opuestas siguiendo el mencionado eje de rotación. Dado que el ángulo de estos jets es, como máximo, de 20° , toda la energía emitida por el proceso explosivo de la supernova se concentra en un área muy pequeña. La cantidad de energía y la distancia a la que es capaz de llegar es inimaginable.

El proceso de estallido en forma de supernova se entiende a medias y las simulaciones mediante ordenador presentan el grave problema que deben ser muy simplificadas, ya que un modelo detallado requeriría tiempos de ejecución del orden de 60 años, utilizando los últimos superordenadores, lo que hace inviable el estudio.

Ello introduce un margen de indeterminación, en los resultados y valores esperados, muy amplios, por lo que cualquier previsión está sometida aun alto grado de incerteza.

¿Cuál es el rango de energía de estas explosiones? Entre 10^{44} Julios y 10^{52} Julios. Por comparación, el Sol libera por segundo $3,827 \times 10^{26}$ Julios, es decir estamos hablando de la energía solar multiplicada por 10^{18} como mínimo.

Para quienes no están acostumbrados al manejo de la notación científica (valor x multiplicado por 10 elevado a una potencia) el significado puede ser engañoso y no percibir el significado real de dicha notación. Hagamos una pequeña comparativa para tener una perspectiva más clara. Imaginemos cantidades de calor expresadas mediante la temperatura (no importa que sustancia sea el sostén de la misma). Empecemos por 10° centígrados. Es una temperatura baja para nosotros, si tuviéramos que permanecer a la intemperie y poco abrigados a esa temperatura, pronto sentiríamos frío. Expresado en notación científica es 1×10^1 . Ahora multipliquemos por 10 con lo que obtendremos 1×10^2 , y en grados centígrados 100° , esta vez tampoco nos vamos a sentir "cómodos", de hecho no la resistiríamos y mucho antes de llegar a ella estaríamos muertos. Pero sigamos y multipliquemos por 10 (1×10^3), y llegamos a los 1000° centígrados, por debajo de cuyo límite se sitúa el punto de fusión de metales como el selenio, bismuto, estaño, plomo, litio, zinc, antimonio, magnesio, aluminio o plata. Un paso más y multiplicamos nuevamente por 10 (1×10^4), 10.000° centígrados, en el rango de la temperatura superficial de estrellas tipo A (más calientes que el Sol). Volvemos a multiplicar por 10 (1×10^5), 100.000° centígrados, que se corresponde con la

temperatura superficial de algunas enanas blancas. Y un último paso multiplicando por 10 (1×10^6), 1.000.000° centígrados, temperaturas propias del núcleo de una enana blanca. Como podemos ver, aumentando el exponente del 10 solo en 6 unidades, hemos pasado de una temperatura que consideramos baja a un nivel que somos incapaces de imaginar.

¿Representan un peligro potencial para la Tierra? La respuesta es sí. Pero este "sí" debe ser matizado. Es verdad que existe la teoría según la cual la extinción acaecida hace 450 millones de años y que afectó al 70% de las especies fue ocasionada por un GRB procedente de una supernova demasiado cercana. Pero de momento es solo una teoría y dista mucho de contar con pruebas sólidas.

Por otra parte ¿Qué significa demasiado cercana? Resulta difícil concretar. Para una supernova, se barajan cifras que van desde 25 años luz (o incluso menos) a 100 años luz. ¿Por qué tanta discrepancia? En primer lugar, ya he referido las limitaciones con las que nos encontramos en cuanto a nuestros conocimientos sobre estos procesos altamente energéticos. En segundo lugar existen múltiples variables que limitan nuestra capacidad de predicción. Una de ellas es la masa de la estrella, otra la existencia o no de polvo o gases a lo largo de la línea visual entre dicha estrella y nosotros, que pueden afectar a la llegada de la radiación, otra más es la metalicidad de la misma. Esta última variable requiere explicación: se llama metalicidad de una estrella (o de la galaxia en la que se encuentra la estrella) a la participación en la composición de la misma de elementos distintos del hidrógeno y el helio. Las llamadas estrellas de primera generación, es decir las primeras estrellas que nacieron después del Big Bang, estaban constituidas exclusivamente por hidrogeno y helio, elementos sintetizados en el propio Big Bang. Las posteriores generaciones de estrellas acumulan otros elementos de la tabla periódica, que fueron sintetizados en el interior de las estrellas masivas, y expulsados al espacio precisamente vía explosión de supernovas. Las investigaciones sobre el tema han determinado que las explosiones de supernovas son más potentes si la metalicidad es baja, y en nuestra galaxia se da la circunstancia contraria (condición necesaria para nuestra presencia).

Cuando se produce el estallido de la supernova, en los procesos más o menos esféricos (en un tanto por ciento bastante elevado, el proceso no es simétrico y la estrella de neutrones o agujero negro sale impulsado en una dirección y la "carcasa" de restos en la contraria), las capas exteriores, impulsadas por la energía del proceso explosivo, generan una onda de choque que llega a viajar a más de 30.000 Km. por segundo y la temperatura inicial de la materia que compone estas capas externas llega al medio millón de grados. En realidad la temperatura no es importante por la cantidad

de calor transportado, puesto que la densidad es extremadamente baja y disminuye aun más en la medida en que la onda de choque avanza. Pero si es importante por cuanto provoca la emisión de radiación altamente energética por parte de la materia recalentada. A título de ejemplo, la "cáscara" generada por la supernova de 1006 ha alcanzado en unos mil años un diámetro de 70 años luz (ver foto).

¿Cuales son los efectos perniciosos para nosotros? Fundamentalmente los rayos gamma y los cósmicos. Los primeros por cuanto pueden afectar a la capa de ozono y dejarnos desprotegidos frente a la radiación solar y porque pueden provocar la reacción del nitrógeno con el oxígeno, que a su vez conlleva lluvia ácida y esmog, que puede ser causante del bloqueo de la radiación solar térmica y, por consiguiente, la caída de las temperaturas. Por lo que a los rayos cósmicos se refiere, estamos hablando de radiación pura y dura. Si la llegada de los mismos fuera muy intensa, todo el planeta podría convertirse en radioactivo y, por tanto, inhabitable.

¿Cuales son los límites para un GRB? Si en las supernovas clásicas la respuesta es imprecisa, en los GRB aun lo es más.

Algunos astrónomos hablan de 6000 años luz, otros de 8000 años luz. Pero se han detectado GRB en otras galaxias en las que



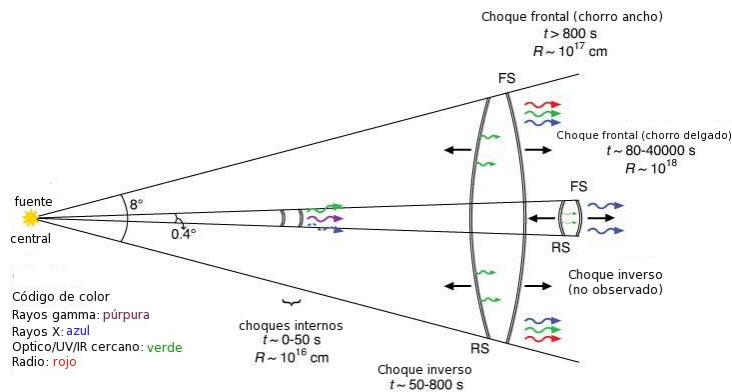
Interpretación artística de una supernova generando un GRB

cualquier planeta dentro de la galaxia que pudiera encontrarse en línea con el GRB habría tenido serios problemas.

Una vez más, las variables cuya determinación nos es de muy difícil concreción, si no imposible con los medios actuales, dejan en el aire la posibilidad de concretar de forma precisa dicha distancia de seguridad.

A los factores antes apuntados, hay que añadir otro hecho que resulta determinante para saber la distancia de seguridad y este es el ángulo de dispersión del chorro generado. Consideremos que a menor ángulo el alcance del chorro es mayor y sus efectos a distancia más importantes. Por el contrario, la posibilidad de estar en la "línea de fuego" disminuye. Así si el ángulo del GRB es de 20° la distancia a la que los efectos del flash de rayos gamma tendrán efectos notables será menor que si la apertura de dicho ángulo solo es de 2° . En cambio el área afectada será mayor en el primer caso que en el segundo.

Se han apuntado ángulos de hasta 20° , pero también hay constancia de otros muy inferiores. Así el 19 de marzo de 2008 se produjo una GRB que, en el rango del espectro visible, fue detectable a simple



vista pese a que la explosión se produjo a la increíble distancia de 7.500 millones de años luz. ¿Cómo, a tan enorme distancia, pudo detectarse de forma tan intensa? Parece que el choro de radiación estaba formado por dos

conos, uno, de radiación muy intensa, de apenas $0,4^\circ$ de amplitud, y otro, de menor potencia, con una amplitud de 8° . Si a ello unimos que dicho chorro apuntaba directamente hacia la Tierra, se explica la intensidad detectada. Afortunadamente para nosotros, la distancia era tan grande que el hecho solo representó un afortunado espectáculo para los astrónomos.

Por lo que sabemos, si el ángulo es lo suficientemente pequeño, un GRB podría destruir la vida en cualquier planeta de la galaxia que tuviera la desgracia de estar en la línea del eje de rotación de la estrella. Eso sí, las probabilidades de estar en tal situación son muy escasas. Para hacernos una idea, si consideramos un ángulo de 20° , la probabilidad se sitúa en un 1,52%, para 10° un 0,38%, para 8° un 0,24% y para 2° un 0,015% (en todos los casos se contemplan las dos direcciones del eje). Como se puede observar estamos hablando de probabilidades muy, muy bajas (¡Afortunadamente!).

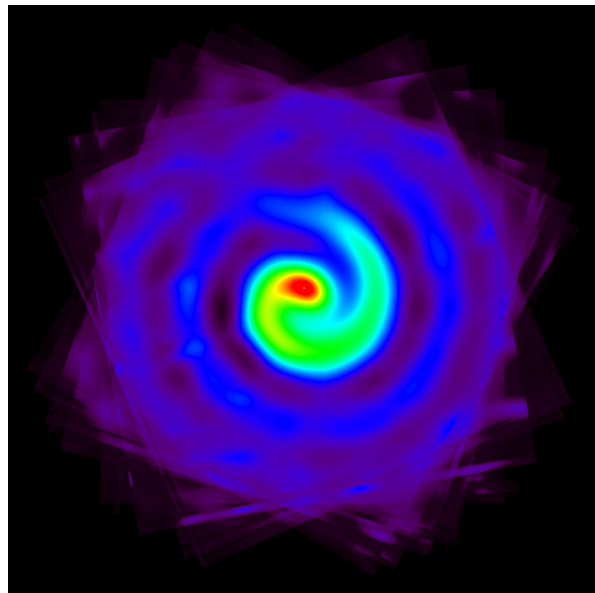
¿Tenemos cerca algunas estrellas susceptibles de convertirse en supernovas? Solo una, con 10 masa solares y se encuentra a algo más de 77 años luz. Ya sobre los 100 años luz encontramos algunas más, en concreto cuatro también de diez masas solares. Al estar al límite de la masa necesaria para desencadenar una supernova, es difícil decir si realmente sucederá o no.

Las candidatas más probables a corto plazo son Betelgeuse, situada a unos 600 años luz y con una masa de 20 masas solares y que presenta síntomas de inestabilidad. Afortunadamente y en el peor de los casos, que su explosión desencadenara un GRB, la Tierra no corre peligro, ya que su eje de rotación no apunta hacia nosotros. Será un bonito espectáculo. Precisar que cuando en astronomía se afirma que a esta estrella le queda poco tiempo para su final, estamos hablando de un rango de algunos miles de años. Es tan factible que ya haya ocurrido y el fogonazo de luz este viajando hacia nosotros, como que

no suceda hasta dentro de varios miles de años. No obstante se ha observado que en los últimos 15 años el radio de la estrella se ha estado reduciendo, en concreto un 15%, con una velocidad media en esta reducción de 210-219 m/s (756-788 Km/h), lo que algunos astrónomos interpretan como el inicio del colapso.

Otra candidata a posible explosión en breve plazo es Eta Carinae (solo visible desde el hemisferio sur). Recientes observaciones hacen pensar que nos encontramos ante una sistema doble, cuya suma de masas podría estar entre 100 y 150 masas solares, lo que hace posible un final como hipernova. Existe un alto grado de indeterminación en cuanto a su edad y otros elementos necesarios para poder tener una previsión fiable, pero las inestabilidades que han acompañado dicha estrella desde 1730, y la comparación con otra supernova lejana de similares características, hacen pensar en la posibilidad de que nos encontremos cerca de su final. Nuevamente somos afortunados, ya que su eje de rotación no apunta hacia nosotros y la distancia que nos separa es de 7000-8000 años luz.

El sistema binario WR 104 es el que más quebraderos de cabeza nos ha dado. Fotografiado el pasado marzo, parecía presentarnos el plano de rotación del sistema directamente hacia nosotros, es decir que estaríamos en la línea de su eje de rotación. El sistema está formado por dos estrellas masivas, una de tipo O que cede masa a su compañera, y otra de tipo



Sistema WR 104

Wolf-Rayet, que se caracterizan por ser extremadamente calientes y evolucionadas. Con una masa equivalente a 25 soles, habiéndose ya desprendido de sus capas externas y sumando la masa arrebatada a su compañera, el final de la misma está cerca. Y lo que es peor, es una candidata perfecta a generar un GRB. Su distancia estimada, 8000 años luz, no serían impedimento para que saliéramos bastante "chamuscados". Afortunadamente, mediciones posteriores indican que el plano de rotación del sistema está inclinado, respecto a nosotros, del orden de 30°-40° (posiblemente 45°) más que suficiente para que escapemos de la quema.

Es evidente que no tenemos detectados todos los candidatos posibles a complicarnos la existencia, pero también es verdad que las probabilidades parecen bastante escasas.

Existen otros peligros, magnetars, colisión o cercanía de agujeros negros o estrellas de neutrones, pero esas son posibilidades que trataremos en un futuro artículo.