

Viajando hacia las estrellas: naves estelares en la ciencia ficción

Cristobal Perez-Castejon

Conferencia Hispacon 2000

Introducción

El protagonista de la primera parte de “2001”, considerada una de las obras fundamentales de la ciencia ficción, es un australopiteco llamado “Moon Watcher”: el que contempla la luna. Y éste es en verdad un nombre adecuado, pues una de las cosas que nos definen como humanos es ese impulso irresistible por ir siempre más allá, por desear aquello que no podemos poseer. Ese ansia de conocer, de abarcar nuestro mundo fue lo que determinó que nuestros antepasados saliesen de su cuna africana y se extendieran por toda la superficie del orbe. Y ahora, cuando hemos dejado nuestra impronta en todo lo que nos rodea, nuestros ojos se vuelven cada vez con mayor insistencia a los espacios que nos aguardan fuera de nuestro planeta. Sin embargo, el camino a las estrellas no es una senda de rosas. Aún cuando en una noche de verano, las estrellas parezcan encontrarse casi al alcance de la mano, en realidad es necesario recorrer un largo y amargo camino para alcanzarlas. A continuación daremos un breve repaso a las diferentes soluciones que, dentro del género de la ciencia ficción, se ha dado a ese problema Viajando a lomos de una bala de cañón: precedentes históricos Cuando uno contempla la literatura de ciencia ficción desde una perspectiva histórica, rápidamente se detecta una clara tendencia a utilizar la tecnología disponible en la época considerada para llegar a aquellos lugares que se desean alcanzar. Por ejemplo, según cuenta la leyenda, Dédalo construyó un laberinto para Minos, rey de Creta, con la misión de encerrar al Minotauro. El laberinto estaba tan ingeniosamente construido que nadie podía escapar del mismo... o de su monstruoso inquilino. Sin embargo, Dédalo reveló el secreto del laberinto a Ariadna, que utilizó este conocimiento para ayudar a su amante, Teseo, a matar al monstruo y escapar. Encolerizado por la fuga, Minos encerró dentro del laberinto al constructor y a su hijo Ícaro . Para evadirse de su propia trampa, Dédalo creó unas alas de cera para que ambos pudieran salir volando del laberinto. Sin embargo, impulsado por ese afán de alcanzar lo desconocido al que hicimos referencia al principio, Ícaro voló

demasiado cerca del sol, sus alas se derritieron y cayó al mar. La leyenda de Ícaro ha pervivido a través de los tiempos y ha dejado su impronta en la carrera espacial: un famoso estudio para enviar una sonda interestelar no tripulada a la estrella de Barnard, la segunda más cercana a nosotros, recibió el sugerente nombre de Proyecto Ícaro. Más tarde, el advenimiento de la pólvora creó nuevas expectativas: por ejemplo, en “Las aventuras del barón de Münchhausen”(1785), escrita por el autor alemán Rudolf Erich Raspe, el protagonista, un personaje real que ha pasado a la historia como un fanfarrón impenitente, utiliza una bala de cañón a modo de una primitiva nave espacial. Esta misma idea fue recogida más tarde por Julio Verne en “De la Tierra a la Luna” (1865), donde se utilizaba un gigantesco cañón para lanzar a tres intrépidos exploradores a orbitar nuestro satélite. Aunque errada en la mayor parte de sus supuestos científicos, en esta obra ya se intentaba, al menos, ofrecer soluciones a los problemas del viaje espacial tal y como se concebía en la época en la que fue escrita: la falta de oxígeno fuera de la atmósfera terrestre, la compensación de la inmensa aceleración del despegue, etc. En 1898, Wells, en su archifamosa “La guerra de los mundos”, utiliza un mecanismo semejante como medio de desplazamiento de la ofensiva marciana dispuesta a invadir la Tierra. Wells en su obra tiene en cuenta los efectos del tránsito de las naves marcianas a través de la atmósfera, y hace coincidir las fechas de la invasión de modo que ambos planetas se encuentren en el punto más cercano de su órbita para minimizar la duración del viaje. Aunque hoy en día este mecanismo pueda parecernos descabellado, en la práctica la idea del cañón continua plenamente vigente como mecanismo de lanzamiento de naves espaciales. Por ejemplo, en “La luna es una cruel amante” Heinlein utiliza una catapulta electromagnética para acelerar carga desde una base lunar a la Tierra. El mismo mecanismo es magníficamente usado por Clarke en “Maelstorm II”. E incluso la NASA está evaluando en este momento la posibilidad de construir un cañón electromagnético en la falda de una montaña para auxiliar en el despegue a las lanzaderas espaciales ahorrando combustible y disminuyendo los riesgos de accidentes como el del infortunado Challenger.

La edad de oro y el motor atómico

Desde esta perspectiva histórica, resulta evidente porqué en los albores de la ciencia ficción, esa etapa mítica llamada “la edad dorada” situada a partir de 1930, la mayor parte de las naves espaciales que transportaban a los intrépidos protagonistas para correr peligrosas y excitantes aventuras en mil mundos diferentes fuesen naves de propulsión atómica. El átomo estaba de moda, y el inmenso poder contenido en el mismo parecía ser capaz de impulsar a la humanidad a una edad de oro en la que nuestros límites solo se verían contenidos por nuestra imaginación. El tiempo sin embargo vino a dar la razón a esos visionarios, al menos en el tema de las naves espaciales: lo que en la década de los 30 era un cliché de ciencia ficción, en 1945 se estaba evaluando en el laboratorio nuclear de los Álamos como un impulsor real. Esa preeminencia del motor de fisión se mantuvo de hecho hasta prácticamente la década de los cincuenta y sesenta tanto en la ficción como en el mundo real: algunas de las más grandes obras de esta época utilizan naves basadas de un modo u otro en este sistema de propulsión. Por ejemplo, en “El fin de la infancia”, una de las obras más conocidas de Arthur C. Clarke, y de las que más influencia ha tenido posteriormente en el género, las dos superpotencias están embarcadas en una carrera espacial para conquistar la Luna que se ve súbitamente truncada por la llegada de los superseñores y sus inmensas naves espaciales de una tecnología incomprensible. Lo curioso es que esa carrera espacial, precedente de la que pocos años más tarde tendría lugar en el mundo real, se lleva a cabo mediante naves de propulsión atómica. Heinlein, otro de los grandes clásicos, también utiliza profusamente el motor atómico en su obra: recordar especialmente los relatos contenidos en su “Historia del futuro”, y en especial “Las verdes colinas de la Tierra”, donde de un modo indirecto se tienen en cuenta los problemas de este sistema de propulsión.

Ahora bien, cuando yo leía “La legión del espacio” o alguna de las otras obras donde aparece este sistema de propulsión, siempre acababa preguntándome lo mismo: ¿cómo funciona un motor atómico?. El motor de fisión nuclear se apoya en un principio bien sencillo: se utiliza el calor desprendido por una reacción nuclear controlada para evaporar un fluido que es expulsado por las toberas de la nave y genera impulso. Las naves de la edad de oro son, literalmente, naves de vapor, que sin embargo duplican el rendimiento

de un cohete químico. El propelente, cualquier líquido susceptible de hervir, como el agua, metano o simplemente hidrógeno puede encontrarse en abundancia en nuestro sistema solar y puesto que el combustible nuclear teóricamente debe durar mucho tiempo, una nave propulsada por un motor de este tipo podría llevar a cabo sin demasiados problemas un viaje de diez o doce años sin más que repostar periódicamente masa de reacción.

Aunque sencillo y atractivo, este sistema no está exento de inconvenientes. En primer lugar, la velocidad de salida de los gases todavía es muy baja. La razón es que el combustible no se puede calentar por encima del punto de fusión de los componentes del reactor, unos 3000 K. Esto, unido al gran peso del mismo determina que la aceleración de una nave de este tipo sea muy pequeña. En segundo lugar, el lanzamiento de la nave es demasiado inseguro: un accidente como el del Challenger es potencialmente más peligroso en una nave de propulsión nuclear que en una de propulsión química. Además, el funcionamiento del reactor arrastra sus propios problemas: fugas, reacciones incontroladas, etc. “Las verdes colinas de la Tierra”, el relato de Heinlein al que hacíamos referencia más arriba, cuenta la historia de un vagabundo al que un accidente con un reactor nuclear dejó ciego y convirtió en poeta. Este vagabundo acabó perdiendo su vida debido a la radiactividad asociada a otro accidente de ese tipo, escribiendo en el proceso un hermoso poema que le convirtió en una figura inmortal. Stanislaw Lem, otro autor que utiliza habitualmente este sistema, tiene dos relatos en donde se ponen magníficamente de manifiesto estos problemas: el de “La Albatross”, en donde se nos relata el descorazonador intento de rescate de una nave que ha sufrido un accidente en su reactor y se encuentra al borde de una reacción descontrolada, y “Terminus”, uno de los grandes cuentos del género, donde se nos cuenta la estremecedora historia del robot encargado de reparar el reactor nuclear de una vetusta nave espacial (las grietas y fugas del mismo se reparaban a base de cemento) en cuyo interior residen las almas de los tripulantes muertos en la nave en un accidente anterior cuyo único superviviente fue el robot.

Cabalgando una explosión nuclear: el proyecto Orión

Aún cuando en la actualidad continúan desarrollándose estudios en torno al motor de fisión y los estudios sobre el NERVA no se abandonaron hasta 1972, ya desde los años

40 estaba claro que este propulsor no nos llevaría a las estrellas. Simplemente, la velocidad final de 20 km./seg. que puede conseguirse con un motor de este tipo implicaría un viaje con una duración de milenios a la estrella más próxima. Por tanto, siguió buscándose un modo para utilizar de un modo más eficiente la energía contenida en el átomo. Fruto de los mismos surgió el proyecto Orión, uno de los mejores ejemplos de cómo en ocasiones la frontera entre la ciencia y la ficción resulta casi indistinguible. Orión se basa en una idea tan absolutamente revolucionaria que resulta incluso difícil de aceptar: utilizar una explosión atómica para generar impulso. En efecto, durante una prueba nuclear se descubrió que una esfera de grafito situada a muy corta distancia de una explosión nuclear aparecía intacta después de la misma habiendo perdido tan solo una leve capa superficial de material. Apoyándose en este fenómeno, se desarrolló un sistema de propulsión basado en introducir una mini bomba nuclear dentro de una cámara de combustión llena de agua y se hacía detonar. Aquí ya no existía limitación de temperatura de escape: los diez millones de grados del estallido convertían el agua en plasma supercaliente y generaban impulso. . Posteriormente, se eliminó la cámara de combustión: la bomba simplemente se dejaba caer detrás de la nave seguida de un disco de plástico. Tras la explosión, el plástico se convertía en un plasma de átomos de carbono e hidrógeno que, a gran velocidad chocaba contra un plato proporcionando impulso. Al eliminar la cámara de combustión, el dispositivo ya no estaba limitado en temperatura por lo que podían utilizarse bombas más grandes. En el modelo más elaborado, el plástico, buen absorbente de neutrones (al parecer en la bomba de hidrógeno se utiliza una variante del corcho blanco que usamos para los embalajes para canalizar el flujo de neutrones que dispara la fusión del hidrógeno) iba incorporado en la bomba, que estaba especialmente diseñada para explotar de un modo direccional. La duración del estallido era tan breve que el plato de impulso, de acero o aluminio, apenas sufría un ligero desgaste con cada estallido: literalmente no tenía tiempo de calentarse. La fuerza que incidía sobre el plato era tan inmensa que había que utilizar un sistema de amortiguamiento para proteger a la tripulación de la aceleración resultante. El resultado fue un motor con una relación de impulso miles de veces mayor que el de un motor químico y que por primera vez, podría llevar a la humanidad hasta las estrellas. Una nave basada en un motor Orión no tiene las limitaciones de peso de un cohete químico: los

navíos serían más semejantes a los que todos nos hemos encontrado tantas veces en las novelas que a las ratoneras claustrofóbicas que son en la realidad. Sin embargo, los inconvenientes eran también muy importantes. En primer lugar, los derivados del poco ortodoxo sistema de propulsión: a nadie puede hacerle demasiada gracia cabalgar hacia las estrellas a lomos de una explosión nuclear. Un pequeño fallo en el dispositivo de lanzamiento, y adiós nave. Lo mismo podría decirse respecto de la fase de lanzamiento: la sola idea de ver elevarse una nave cargada con cientos de bombas atómicas, susceptibles de volver a caer sobre la superficie del planeta en caso de accidente resulta simplemente espeluznante. Si a esto sumamos la existencia de un tratado que prohíbe el despliegue de armas nucleares en el espacio, es evidente el porqué Orión jamás fue llevado a la práctica.

El propulsor Orión también tiene su representación, aunque limitada, dentro de la ciencia ficción. Por ejemplo, en la novela de Charles Logan "Naufragio", una nave interestelar es destruida por una bomba lanzada fuera de secuencia dejando a un único naufrago varado en un planeta remoto sin la más mínima posibilidad de ayuda. En "El ascenso de Endymion" de Simmons se comenta que entre las naves utilizadas en la Hégira habían "naves propulsadas por explosiones nucleares". Por último, en la película "Deep Impact", el "Mesías", la nave espacial construida por los Estados Unidos para interceptar al meteorito que va a destruir la Tierra, está también dotada de un sistema de propulsión Orión: un importante acierto en la ambientación científica de la película, pues con la tecnología actual este sistema es el único que permitiría alcanzar la velocidad necesaria para la maniobra de cita orbital con el cometa. El plato de impulso se aprecia perfectamente en la secuencia en la que la nave parte para encontrarse con su destino.

Antorchas entre las estrellas: Naves de Fusión

El propulsor Orión varió el camino de los motores nucleares de alto rendimiento, pero todavía no era la solución óptima. Ésta vino de la mano de la otra gran arma nuclear del siglo XX: la bomba de hidrógeno. En efecto, la energía derivada de la fusión nuclear a partir de una masa de combustible dada es diez millones de veces superior a la de un cohete químico. Además, el resultado de la fusión es un conjunto de partículas sumamente energéticas que se mueven prácticamente a la velocidad de la luz: el límite

teórico de una nave de este tipo estaría en torno a esta mítica barrera. Por último, se puede ajustar la reacción de fusión de modo que los subproductos de la misma sean en su mayor parte partículas cargadas que pueden ser conducidas y canalizadas mediante campos magnéticos: las toberas de una nave de fusión ya no son físicas, sino formadas por etéreos campos magnéticos.

La antorcha de fusión se basa, en esencia, en la creación de una pequeña estrella en el corazón de la nave, en la que los átomos de hidrógeno se funden para dar helio con un enorme desprendimiento de energía. Para ello, existen dos sistemas muy semejantes. En los sistemas de confinamiento magnético, se crea un plasma contenido por una botella magnética en el que se inicia la reacción de fusión. Parte de ese plasma se dejaría escapar de la botella para producir impulso. En los sistemas de confinamiento inercial, haces de electrones o láser encienden las pastillas de combustible varias decenas de veces por segundo. Por ejemplo, el motor de la "Vijaya" de "Mundos en el abismo" parece ser un reactor de fusión inercial. Funciona inyectando pastillas de deuterio y helio 3 en el núcleo del reactor donde, tras ser comprimidas mediante poderosos haces de electrones concentrados, estallan liberando su energía. La ventaja de esta reacción respecto de la que utiliza deuterio y tritio (empleada en las armas nucleares por ser mucho más fácil de arrancar) es que como subproducto solo da una partícula alfa y un protón, ambos fácilmente manejables mediante campos magnéticos. El inconveniente, que utiliza He3, un isótopo del helio muy raro en la naturaleza pero que puede conseguirse en los gigantes gaseosos. En cualquier caso, el proceso se repite varios cientos de veces por minuto, por lo que en realidad una antorcha de fusión podría considerarse como un reactor pulsante. Las ventajas de esta tecnología son evidentes. Como vimos antes, la energía desprendida por la reacción nuclear es inmensa. Aunque buena parte de esa energía debería canalizarse en el mantenimiento de los poderosísimos campos magnéticos que mantienen confinados el plasma, las aceleraciones resultantes son increíbles; el límite de las mismas viene determinado por la tolerancia biológica a la aceleración, que se cifra en torno a 10 g. En cualquier caso, estas naves son capaces de mantener aceleraciones sostenidas de 1g durante semanas, lo que les permite una velocidad punta que ronda la mitad de la velocidad de la luz.

Otra consecuencia de tal superávit de energía es que cualquiera de estas naves de guerra puede montar más baterías de mortíferas armas de partículas y láseres (tanto ofensivas como de defensa de punto antimisil) que cualquiera de las de sus más próximos rivales. Y eso además del formidable poder destructivo de sus toberas, en las que el haz de plasma concentrado mediante campos magnéticos puede convertirse en una arma extraordinariamente precisa y destructiva a una gran distancia. Por ejemplo, Larry Niven, que utiliza una amplia paleta de naves de fusión en su obra, pone en boca de los Kzin, la raza de felinos guerreros que pelea con la humanidad por el control del espacio, el dicho de que el poder militar de una especie se mide en función de la eficacia de sus reactores de fusión. En el relato "Xanthia y el agujero negro", de Varley, la protagonista sufre el ataque de una nave dotada de un propulsor de fusión que intenta utilizar su escape para destruirla. Aquí se ponen perfectamente de manifiesto las ventajas y los inconvenientes de este tipo de arma: enorme poder destructivo, pero escasa capacidad de puntería y corrección de tiro. El exceso de impulso se traduce en algo que ya comentamos para la propulsión Orión: en una mayor ergonomía. Los habitáculos de la tripulación y el equipo que la nave puede cargar ya no están limitados por el impulsor. Así se da la curiosa paradoja de que las naves que tienen que pasar menos tiempo entre las estrellas son las más confortables, mientras que las que tienen que arrastrarse durante meses entre los soles, además son sumamente incómodas al haber tenido que llegar a un compromiso entre confort y capacidad de maniobra/tiempo de tránsito.

Antimateria y motores estelares

Aunque la cantidad de energía producida por una reacción de fusión es inmensa, todavía disponemos de una fuente energética más poderosa: la aniquilación materia antimateria. Este sistema, que permitiría la producción de 20.000 billones de julios por kilogramo de combustible, sería el óptimo desde un punto de vista energético para la propulsión de una nave espacial. Utilizando la aniquilación de protones y antiprotones, se generan como subproducto de la reacción piones que son susceptibles de ser manejados mediante campos magnéticos para producir impulso. Estos piones, además, se mueven prácticamente a la velocidad de la luz, por lo que la velocidad final de estas naves es también altísima.

Sin embargo, este sistema como siempre tiene sus propios problemas. El más importante, sin duda, el confinamiento de la antimateria. Teniendo en cuenta que el simple contacto con la materia normal produce la aniquilación de la misma en un fogonazo de radiación y energía, parece evidente que toda precaución es poca en este sentido. Otro problema asociado es la protección de la tripulación frente a las radiaciones derivadas del proceso de aniquilación. Por último, resulta bastante complicado producir antimateria con los medios de los que disponemos hoy en día.

Estos inconvenientes no han arredrado a los escritores de ciencia ficción. En “El mundo al final del tiempo”, de Pohl, aparece un velero solar complementado con un reactor de antimateria alimentado por barras de antihierro almacenadas en un confinamiento magnético. La vela solar se utiliza para salir del sistema de origen y frenar en el de destino, mientras que la antimateria se utiliza como propulsor intermedio. Este exótico combustible se genera a partir de materia normal mediante unos conversores basados en energía solar extraordinariamente eficientes, lo que convierten a esta nave en uno de los mejores ejemplos de aprovechamiento energéticos del género.

Haldeman también utiliza varios modelos de nave de antimateria en “Tricentenario”. En esta novela corta, el autor plantea la existencia de un compañero oscuro del Sol, formado por antimateria. Con esta fuente de antimateria, recogida y confinada también mediante campos magnéticos, la humanidad construye su primera nave interestelar. Primero una sonda en la que se introduce una pequeñísima cantidad de antimateria en un depósito de agua, dejando que la energía derivada de la aniquilación la evapore y produzca impulso, y, posteriormente, con un sistema más eficiente que incluye un espejo de rayos gamma que permite tanto proteger a la tripulación de los peores efectos de la aniquilación, como generar una fuente de impulso eficiente para la nave. Por último, “Antihielo”, de Stephen Baxter, recurre también a una fuente natural de antimateria como propulsor de su nave. Esta espléndida ucronía está ambientada en una historia alternativa del siglo XIX, donde se ha descubierto la existencia de un meteorito formado por antihielo: una mezcla de superconductor de alta temperatura que, mediante la existencia de unos campos magnéticos inducidos, se mantienen confinadas pequeñas cantidades de antimateria. Jugando con las propiedades de este maravilloso material, se construye una nave

espacial basada, como en el caso de Haldeman, en la evaporación de un propelente como el agua sometida a la enorme cantidad de energía desprendida por la aniquilación.

Estatocolectoras: sacando combustible del vacío

Tanto las naves de fusión como las de antimateria alcanzan plenamente la categoría de naves interestelares. Su alta eficiencia de impulsión les permiten ser amplias y confortables, con una capacidad de cargar ingentes cantidades de equipos con misiones variadas. Sin embargo, nos encontramos en una situación semejante a la de las naves del vapor del siglo XIX, que eran capaces de recorrer toda la superficie del planeta en unos tiempos aceptables... siempre que dispusieran de bases donde carbonear en el trayecto. En efecto, la mayor desventaja que presentan estas astronaves es su necesidad de cargar ingentes cantidades de combustible como masa de reacción. Su capacidad de aceleración es un arma de doble filo, pues si bien le permite alcanzar velocidades altísimas, luego las penaliza con la necesidad de disminuir dichas velocidades en un proceso de deceleración que también consume combustible. Las misiones deben planificarse cuidadosamente, puesto que el tiempo de tránsito ya no depende de la velocidad máxima teórica sino de la cantidad de combustible que la nave pueda cargar. La relación masa-empuje determina que para alcanzar más velocidad hay que cargar más combustible, pero para acelerar ese combustible adicional hace falta más combustible y así sucesivamente. Hay dos soluciones posibles a este problema: el empleo de contenedores de reavituallamiento, como en el caso del viaje de la III Flota a la Esfera que aparece en "Hijos de la Eternidad", o bien hacer las naves capaces de reabastecerse en los planetas gaseosos, como en el caso de la "Leonov" en "2010", de Clarke, donde asistíamos a una desesperada carrera espacial para apoderarse del agua de Europa, que la convertía de hecho en la mayor gasolinera del sistema solar.. Pero en un viaje interestelar no hay estaciones de servicio en las que repostar. Así que incluso la más sofisticada de las tecnologías de fusión o aniquilación materia-antimateria tiene un alcance máximo operativo... que lamentablemente tampoco resulta excesivo. Sin embargo, existen una serie de estrategias que nos permiten ir más allá de ese círculo máximo de autonomía. Una forma de evitar el problema es creando el combustible que la nave consume a medida que la misma avanza. Este es el principio en el que se basa el

llamado ramjet o motor Bussard Una estatocolectora se basa en que el llamado vacío interestelar no está, en realidad, tan vacío. En efecto, la densidad de materia en el espacio entre dos estrellas viene a ser, aproximadamente, de un átomo por metro cúbico, principalmente hidrógeno. El esquema presentado por Robert W. Bussard en 1960 proponía la utilización de ese hidrógeno como combustible y masa de reacción de una nave espacial. Para ello se utilizaría una draga magnética, capaz de recoger los átomos presentes en una vasta zona y conducirlos hasta el reactor de fusión que actúa como impulsor y fuente de energía del vehículo. Este esquema de funcionamiento determina dos de las características de diseño más importantes del motor Bussard: una gran área de barrido frente a la nave, para acumular el mayor número posible de átomos y una velocidad mínima de funcionamiento que se cifra en torno al 1% de la velocidad de la luz. En efecto, cuanto mayor sea la velocidad, mayor será la cantidad de materia capturada por la draga y mayor, por tanto, el aporte de combustible que ingresa en el motor: la densidad relativa del hidrógeno se incrementa hasta alcanzar un punto en el que la reacción nuclear es autosostenida. Es necesario por tanto un impulsor adicional que lleve la nave hasta esa velocidad, a partir de la cual estaremos en disposición de encender el motor interestelar propiamente dicho. El problema del frenado resulta bastante más peliagudo. En efecto, otra de las características a tener en cuenta en una estatocolectora es que su motor principal sólo funciona en la dirección de movimiento de la nave. Es decir, son naves que solo poseen capacidad de aceleración, no de frenado, lo que ciertamente resulta inaceptable. La mejor solución pasa por la utilización de motores separados para la impulsión principal, el sistema de frenado y el sistema de guía.

El combustible básico de la estatocolectora es el hidrógeno interestelar que la nave recoge mediante un campo magnético. Debido a la baja densidad del medio, este campo debe cubrir un área inmensa, del orden de decenas de miles de kilómetros, y ser de considerable intensidad. Además, sólo una pequeña fracción del hidrógeno presente está en forma ionizada... la única susceptible de ser conducida por un campo magnético hasta la boca del colector. Para resolver este problema, se han propuesto dos soluciones: El empleo de un láser de ionización. generando varios conos anidados de luz coherente por delante de la nave o la utilización de campos magnéticos pulsantes de enorme intensidad para interactuar con la materia no ionizada a través de efectos magnetohidrodinámicos.

Un campo del orden de un millón de Gauss podría interactuar con el momento magnético que generan los electrones al girar en torno al núcleo, lo que a su vez permitiría la manipulación del átomo en cuestión.

El núcleo de la estatocolectora lo constituye su reactor de fusión autosostenida. Sin embargo, esta reacción plantea algunos problemas interesantes con respecto al modelo clásico al que nos hemos referido más arriba. En primer lugar, la energía se obtiene por fusión del deuterio, un isótopo del hidrógeno con un protón y un neutrón en el núcleo. El deuterio, uno de los elementos primarios procedentes del Big Bang, es relativamente escaso en la naturaleza: sólo uno de cada 6.700 átomos de hidrógeno corresponden a esta forma isotópica. En el enrarecido medio interestelar este problema puede incluso resultar más acuciante, si cabe.

La ventaja de la fusión del deuterio es que tiene lugar a unas temperaturas relativamente bajas comparadas con las de la fusión del hidrógeno normal. El inconveniente es que como subproducto de algunas reacciones se producen neutrones, partículas sin carga que no pueden ser manejadas mediante campos magnéticos como sucedía con los subproductos de la fusión del deuterio con helio 3. Es necesaria la utilización de un material de recubrimiento del reactor que absorba esos neutrones, como por ejemplo el boro o grafito. Estos materiales acaban “calientes” y sería necesario cambiarlos al final del viaje. Una estrategia que permitiría eliminar parte de este problema sería utilizar la draga para extraer combustible del medio interestelar, pero no quemarlo en una reacción autosostenida, sino almacenarlo y utilizarlo para generar impulso mediante una reacción pulsante, parecida a la que describimos al hablar de las naves de fusión. Esto permitiría a su vez solucionar el problema del frenado, porque la nave podría invertir la dirección de sus motores principales y utilizarlos para decelerar o para moverse en desplazamientos locales intrasistema quemando el combustible almacenado. Como conclusión, la nave estatocolectora ofrece el mejor camino posible para la exploración interestelar. Una vez desarrollado un motor de fusión viable, una sonda basada en esta tecnología tendría una alta capacidad de aceleración, autonomía casi indefinida y no plantearía unos problemas excesivos de protección. Sin embargo también tienen sus inconvenientes. Algunos autores han planteado que los campos magnéticos que se utilizan para canalizar la materia al embudo del reactor, en realidad tienden a apartarla de la trayectoria de la

nave... lo que convertiría a un motor de este tipo en un excelente sistema de frenado. Además, al igual que cualquier motor basado en la fusión nuclear, es un sistema muy vulnerable: un fallo de unos microsegundos en los campos de contención y la nave se convertirá en una bola de plasma en expansión. Otro importante problema procede de las enormes velocidades desarrolladas. Para una nave que se mueva muy por debajo de la velocidad de la luz, su único obstáculo serio en la navegación interestelar sería la colisión con un hipotético asteroide... fenómeno que tiene una posibilidad prácticamente despreciable. Sin embargo, para un navío que se mueve a velocidades superiores a un décimo de la velocidad de la luz, el choque con la más insignificante partícula de polvo puede suponer una catástrofe. En efecto, la velocidad relativa de dicha partícula respecto de la nave sería de $0.1c$ y su energía cinética equivaldría a la de la explosión de una bomba de fusión. El simple choque con átomos sueltos a estas velocidades podría suponer la erosión del casco y la muerte de la tripulación debido a la radiación desprendida de los mismos. Para protegerse contra estos efectos, la nave de "Cánticos de la lejana Tierra" de Clarke va dotada de un escudo abrasivo de hielo que va desgantándose durante el tránsito interestelar. Pero una nave basada en capturar materia estelar en un frente inmenso no puede utilizar un escudo de este tipo. Curiosamente, la presencia de este fenómeno de erosión hace que la forma de estos navíos, que en principio podría ser cualquiera, en la práctica tenga que ser lo más aerodinámica posible, a fin de minimizar la superficie presentada al flujo virtual de partículas lanzadas a un porcentaje significativo de la velocidad de la luz que pueden encontrarse en su trayectoria. Las estatocolectoras siempre han sido unas naves muy apetecibles dentro del mundo de la ciencia ficción. Una de las especulaciones más osadas e interesantes sobre el tema nos la ofrece Poul Anderson en su novela "Tau Cero". La misma nos narra el viaje de una nave estatocolectora que a mitad de camino sufre una colisión con una nube de materia en condensación y pierde su capacidad de frenado. Los tripulantes se ven abocados entonces a acelerar continuamente en busca de un lugar en el que la densidad de materia sea lo suficientemente baja como para desconectar los campos de protección y proceder a la reparación de la nave... al tiempo que experimentan los efectos relativistas derivados de una velocidad cada vez más cercana a la de la luz. La novela también hace hincapié en el carácter generacional de este tipo de naves, con sistemas de

reciclado de aire y alimentos basados en modelos biológicos capaces de generar un ecosistema estable durante un periodo de tiempo bastante prolongado. Las relaciones interpersonales en una misión de este tipo también están magníficamente retratadas.

En la misma línea tenemos “Efímeras”, de Kevin O Donnell Jr. En este caso, la nave es muchísimo mayor que la de Anderson y está pilotada por un ordenador cyborg, que utiliza componentes biológicos y electrónicos. Precisamente los problemas comienzan cuando el cerebro humano que forma el elemento biológico de la nave recupera su conciencia e intenta adaptarse a su nueva situación. Lamentablemente, una de sus primeras acciones consiste en apagar, de modo casi inconsciente, el reactor de fusión, con lo que la nave queda privada de empuje: un viaje que debería haberse completado en el curso de pocos años se convierte en un auténtico arrastrarse entre las estrellas. La descripción del cyborg casi inmortal que pilota la nave y la adaptación de sus tripulantes desde un viaje de tránsito a una nave generacional son simplemente magníficas. Gregory Benford es un autor particularmente comprometido con el tema de las estatocolectoras. En su novela “A través del mar de soles”, la nave “Lancer” lleva a cabo un viaje a los sistemas estelares más cercanos a la Tierra que acaba por conducir al protagonista hasta el mismísimo corazón de la galaxia... mientras que la Tierra sufre el ataque de una civilización de inteligencias mecánicas. La nave de Benford tiene elementos ciertamente originales. El “Lancer” está construido utilizando un asteroide modificado, que proporciona protección frente a la radiación, materia prima, cultivos hidropónicos e incluso posiblemente masa de reacción para la antorcha de fusión. La gravedad artificial se consigue mediante rotación en torno al eje principal de la piedra. Este tipo de nave, que resulta funcionalmente óptimo (¿para qué construir un casco cuando la naturaleza nos proporciona uno gratis?) ha sido profusamente empleado en el género: la invasión de los insectores en “El juego de Ender” (Card) procedía de un asteroide de este tipo, “Pórtico” (Pohl) también era un asteroide modificado y lo mismo podría decirse de puerta interdimensional que aparece en “Eón” (Bear)

En la misma línea tenemos el relato “Efectos relativistas”, muy semejante a uno de los capítulos de “A través del mar de soles”. “Efectos relativistas” es un homenaje a “Tau Cero” (en realidad es tan semejante que uno acaba por preguntarse donde acaba el homenaje y donde empieza el plagio) de la que toma el argumento principal: la nave

estatocolectora que ha perdido la capacidad de frenado y se ve obligada a seguir acelerando hasta el fin del universo. Benford hace otra incursión en el tema con “Redentora”, donde narra las peripecias de una nave estatocolectora que es asaltada por una nave pirata más rápida que la luz procedente de la Tierra. Una guerra devastadora ha asolado la superficie del planeta y los piratas desean apoderarse de las reservas de material genético que transporta la estatocolectora. El esquema de “Redentora” es más próximo a la nave de “Efímeras”, por cuanto el piloto de la misma es también un cyborg. Por lo demás, en este caso Benford utiliza un perfil de misión basado en una tripulación mínima, con el resto de los colonos hibernados o transportados en forma de material genético. Este esquema, junto con la utilización de un piloto cyborg capaz de despertar a la tripulación hibernada para la resolución de situaciones concretas, es el óptimo desde el punto de vista de tiempo de tránsito, pues permite las aceleraciones más altas para alcanzar las velocidades relativistas que disminuyen el tiempo nave de viaje. Esta solución se utiliza también en “Sudario de estrellas”, donde las comunicaciones y los viajes personales se llevan a cabo mediante naves taquiónicas más rápidas que la luz, mientras que el transporte de mercancías, con menos requisitos de soporte vital y tiempo de tránsito más prolongado, está encomendado a las naves estatocolectoras automáticas. Esto favorecía el desarrollo de una economía con una planificación de décadas: uno planeta podría adquirir un determinado cargamento que tardase todavía cinco años en llegar... Otro gran paladín de las estatocolectoras en la ciencia ficción es Larry Niven. En sus dos grandes novelas, “Mundo Anillo” y “Los ingenieros del mundo anillo”, Niven nos cuenta las aventuras de una tripulación multiracial en la exploración de una megaestructura: el Mundo Anillo, gigantesca obra de ingeniería planetaria consistente en un anillo que rodea completamente a su sol, mientras el sistema completo se desplaza fuera de la galaxia huyendo de la explosión del núcleo. La civilización que construyó esa estructura utilizaba estatocolectoras para el transporte de mercancías entre el Mundo Anillo y los sistemas estelares que los habitantes del mismo utilizaban como bases de suministro. Además de estas naves de transporte del mundo anillo, otra de las razas que poblaba la galaxia, los titerotes, utilizaban dragas magnéticas para recoger deuterio interestelar con destino a los omnipresentes motores de fusión montados en la mayor parte de las naves que aparecen en el fascinante universo retratado por el libro.

Niven retoma el tema de las estatocolectora en “Un mundo fuera del tiempo”. Por cierto que el planteamiento de esta novela es ciertamente original: en lugar de moverse a baja velocidad dentro del sistema planetario y acelerar en el espacio interestelar, Niven aprovecha la riqueza de materia en los alrededores de una estrella para acelerar y desarrollar una trayectoria a velocidad constante en el espacio interestelar. Lógicamente, el rendimiento del motor es perfecto, pero como solo utiliza campos electromagnéticos para la captación de materia, no queda particularmente claro cómo consigue evitar los efectos derivados del bombardeo de partículas ni de la colisión con escombros planetarios... Por último, en la novela de Aguilera y Redal “Hijos de la Eternidad” aparece una nave estatocolectora llamada “Konrad Lorentz”. Al igual que en “Efímeras”, la nave está gobernada por un tandem biológico y cibernético: un ordenador super avanzado que trabaja junto con un delfín modificado genéticamente. La “Konrad Lorentz” forma parte de una flota de miles de naves del mismo tipo construidas en órbita con propósitos de colonización: los pasajeros viajan despiertos la duración de un viaje que más que interestelar resulta casi intergaláctico...

El viento de las estrellas: Velas de fotones

La segunda alternativa al problema del combustible es no cargar combustible en absoluto: este es el principio de funcionamiento en el que se basan los veleros de fotones. Cualquier estrella emite hacia el exterior un flujo constante de fotones y otras partículas. Un velero solar se basa en que este flujo, llamado “viento del sol”, puede ser recogido en una vela y utilizado como medio de propulsión. En efecto, aunque carente de masa, la luz sí que tiene momento cinético. Y ese momento puede ser transferido a la vela, generándose un impulso. El empuje que genera este sistema es minúsculo, del orden de millonésima de newton por metro cuadrado expuesto a la presión de la radiación. Pero tiene la ventaja de que es constante y gratuito, y puesto que en el espacio no existe rozamiento, cualquier velocidad adquirida mediante este procedimiento se mantendrá indefinidamente. Una nave propulsada por una vela de fotones es capaz de ir saltando entre las estrellas sin necesidad de combustible. Además, resultan relativamente baratas de construir: todas las tecnologías implicadas están actualmente a nuestro alcance.

Sin embargo, estos veleros tienen algunos inconvenientes. En primer lugar, son naves que solo funcionan en el espacio: son necesarias instalaciones orbitales para poder transbordar la carga útil desde la superficie del planeta. En segundo lugar, la presión que genera la luz es muy reducida y disminuye conforme nos alejamos del sol según una relación cuadrática: la máxima eficiencia solo se consigue en la parte interna del sistema solar. Son naves de baja aceleración, y por tanto con tiempos de tránsito y maniobrabilidad reducidas. Para aprovechar mejor la presión de la radiación, la respuesta más evidente es utilizar la máxima superficie de vela. Pero eso supone utilizar un velamen del orden de hectáreas... lo que dificulta enormemente su gestión. Por último, la navegación solar tiene sus propias peculiaridades. Por ejemplo, solo proporciona aceleración hacia el exterior del sistema, en dirección contraria a la fuente de luz que proporciona el impulso. En principio, esto no es un problema: una nave que se dirija hacia el sol tiene que frenar su velocidad para entrar en una órbita más baja y una nave que abandone el sistema solar tiene que aumentarla para escapar de la atracción gravitatoria de la estrella. Los problemas aparecen cuando se quiere cambiar bruscamente de dirección o navegar acelerando en contra de la presión de la radiación: para eso es necesario utilizar algunas estrategias especiales, incluyendo la posibilidad de plegar o cambiar la orientación de una vela de kilómetros cuadrados de superficie. De acuerdo con su capacidad de maniobra existen tres tipos de vela solar. La más sencilla es la circular: la vela se comporta en este caso como un simple paracaídas hinchado por la presión de la radiación. Ejemplo típico de este velero es la sonda pajeña de "La paja en el ojo de Dios", de Niven y Pournelle. La maniobrabilidad de esta nave es muy reducida: solo puede cambiarse la dirección cambiando la posición del centro de masas del sistema respecto del vector de impulsión. Por el contrario, es el modelo más ligero y más sencillo de construir. Por ejemplo, en "Armageddon" se proponían desviar un asteroide en curso de colisión con la Tierra utilizando una vela solar del modelo circular. El sistema es perfectamente válido... siempre que se disponga de tiempo suficiente para desplegarlo. Las naves de los inversores que aparecen en "Crystal Express" de Stirling utilizan también velas de estas características desplegadas mediante estallidos de gas. En las mismas, esta raza extraterrestre ha tejido ciclópeas escenas de batallas interestelares, lo que las convierten en una obra de arte del tamaño de una pequeña luna. Así mismo, en

“A través del mar de soles”, Benford describe un sistema de terraformación de un planeta por bombardeo de asteroides de hielo propulsados por velas solares desde una factoría automática.

El segundo tipo es lo que se conoce como heliogiro. El heliogiro se basa en desplegar la vela solar como los pétalos de una flor, mediante el giro del anillo que las contiene. De este modo, la fuerza centrífuga se encarga de soltar y mantener tensas las velas, evitando así las oscilaciones parásitas derivadas de un flujo irregular de radiación. La maniobrabilidad del velero se consigue modificando en las direcciones adecuadas los paneles de las velas, que son rotativos respecto de su eje principal, como las aspas de un helicóptero. Pese a todo, no puede decirse que sea un sistema exento de inconvenientes. La rotación que tensa las velas y proporciona gravedad artificial genera también un momento de giro que estabiliza por efecto giroscópico el desplazamiento Y modificar la actitud de los paneles a la velocidad suficiente como para poder generar un impulso diferencial (imprescindible para la navegación) requiere vencer la inercia de los mismos... puesto que aunque estamos hablando de un material finísimo, del orden de micras de espesor, tampoco podemos olvidar que tiene cinco kilómetros de radio y una superficie inmensa. Ejemplos típicos de heliogiros los tenemos en “Mundos en el Abismo”, de Aguilera y Redal y así mismo en las naves formadoras del universo formador-mecanicista de Sterling La tercera alternativa es la llamada vela cuadrada. Su forma no tiene porqué ser cuadrada, pero se llaman así porque su superficie está organizada en forma de paneles que pueden abrirse y cerrarse independientemente para generar impulso diferencial, como las lamas de una persiana. Es el modelo más maniobrable con diferencia, pero presenta el inconveniente de necesitar de una estructura más o menos rígida para soportar la mecánica de los colectores, lo que determina que la carga útil que pueden desplazar es bastante menor que en el caso de los otros tipos. El velero solar por excelencia es el “Diana”, de “El viento del sol”, de Arthur C. Clarke. En este fantástico relato sobre velas solares, auténtico tratado sobre el tema, también aparecen velas de tipo paracaídas y heliogiros Otro excelente recurso para evitar los problemas asociados a la navegación solar es el empleo de naves mixtas, que utilizan la vela solar para desplazarse en condiciones favorables, pero están también dotadas de un motor auxiliar de otro tipo (iónicos, en el caso de las naves de Sterling, impulsores de masas, en el caso

de Aguilera y Redal) como propulsor auxiliar. Normalmente se utiliza solamente para escapar de la órbita de un planeta (donde las escasas aceleraciones de la vela solar penalizarían con un retraso de semanas la operación) o en condiciones de emergencia en las que es necesario conseguir un tiempo de respuesta más rápido que el de los paneles. Un magnífico ejemplo de nave mixta lo tenemos en “El mundo al final del tiempo”, que ya comentamos al hablar de los propulsores de antimateria. Utiliza una vela de fotones para abandonar el planeta de origen, propulsión por aniquilación materia-antimateria en el trayecto intermedio y frenado solar en el planeta de destino. Para solucionar el otro problema de las velas solares, el de la aceleración, se ha propuesto la utilización de un “sol” artificial en forma de rayo láser extraordinariamente intenso y estrecho. Este procedimiento tiene la ventaja de que proporciona una aceleración constante e independiente de la trayectoria, incluso frente a la presión de la radiación solar. Además, soluciona también el problema de la baja intensidad del viento de partículas en el sistema solar externo, haciendo factible la vela de fotones como nave interestelar. Como inconvenientes, que la aceleración que proporciona el láser es proporcional a su potencia e inversamente proporcional a la masa de la nave. Si queremos aumentar la velocidad, es necesario utilizar más potencia... pero eso se traduce en un incremento del calentamiento de la vela, porque algunos de los fotones que inciden sobre la misma no son reflejados, sino absorbidos, y eso la calienta. Un ejemplo típico de velero propulsado por láser es la sonda pajeña de Niven y Pournelle a la que nos referíamos más arriba: la intensidad del láser empleado fue tal que el color de la estrella de partida de la nave cambió durante el periodo de impulsión, de varias décadas, dando lugar incluso a una religión en el proceso. Otra obra en la que aparecen veleros de fotones propulsados por láser son las “Historias del espacio reconocido” de Larry Niven. Al estallar la guerra Kzin-Humanidad, las naves humanas pertenecían mayoritariamente a esta categoría. Precisamente la mejor baza de la Tierra en ese comienzo de la guerra consistió en que los Kzin, según comentamos más arriba, median el poder militar de un adversario en función de la eficiencia de sus impulsores de fusión. Como los humanos no disponían de esa tecnología parecían una presa fácil... hasta que empezaron a perder naves bajo los disparos de los propulsores de las velas de fotones “reconvertidos” en armas militares. Otras obras en las que aparecen veleros solares son “Las fuentes de Paraíso”, también

de Clarke. En medio de la construcción de un ascensor espacial, hay un capítulo entero dedicado a una sonda robot extraterrestre en forma de velero solar.

En conclusión, los veleros solares ofrecen la alternativa más económica posible a la navegación estelar. Son baratos, de una eficiencia increíble (no necesitan combustible para viajar de una estrella a otra), tecnológicamente sencillos y están soberbiamente adaptados a las condiciones del espacio. Sus inconvenientes son su baja capacidad de aceleración y su lento tiempo de respuesta a la maniobra, pero si se las dota de un impulsor auxiliar estos problemas quedan muy minimizados.

Epílogo

En contra de lo que pudiera parecer, esta conferencia no agota ni muchísimo menos las posibilidades del viaje interestelar en la ciencia ficción. Quedan por analizar muchos temas, cada uno de los cuales podría dar lugar a su propia conferencia. Por ejemplo, las estrategias destinadas a sobrellevar los enormes tiempos de tránsito asociados al viaje interestelar a velocidades sublumínicas: hibernación, naves generacionales, cyborgs.. También sería interesante detenerse en todos los sistemas de propulsión que ha propuesto el género destinados a superar o evitar la frontera de la velocidad de la luz, un recurso muy utilizado porque permite reducir a horas un viaje que de otro modo podría durar toda una vida. En cualquier caso, espero haber ofrecido una perspectiva de los impulsores más interesantes planteados por la ciencia ficción y como los mismos están tremendamente ligados a los desarrollos que se están llevando a cabo en este tema en el mundo real. Y de cómo la frontera que separa a estos dos mundos es extraordinariamente tenue en el tema que nos ocupa.