

# De cómo ir a la estrella de al lado y no morir en el intento

En la ciencia ficción siempre ha existido el problema de la coherencia. Es difícil mantener un equilibrio entre avances científicos cuando todo se puede justificar diciendo que, al fin y al cabo, se trata de ciencia ficción. Se ha llegado al punto de hacer categorías dentro del género: hard, space opera, etc. Pero yo creo que la verdadera ciencia ficción, la que se originó en los años 50 y 60, partía de la base de unos avances científicos concretos y sus consecuencias.



No me gustan las explosiones sonoras en el vacío del espacio, ni los cazas con maniobras aerodinámicas, ni la combinación de tecnologías más o menos creíbles con otras propias de seres divinos. Creo que la ciencia ficción es otra cosa que un western o un medieval fantástico tecnológico. Es necesaria una coherencia entre avances científicos de forma que quede claro lo que es posible y lo que no para evitar caer en la vulgaridad total y darle consistencia y “realidad” al género. Por ello, cuando me plantee el cómo podría ser el futuro, pense que la mejor manera de hacerlo sería deducir los avances tecnológicos necesarios para poder viajar a las estrellas.

## El problema de la energía



El primer problema que tenemos al plantearnos un viaje a las estrellas plausible es el medio de transporte. Lo más verosímil, o al menos más cercano a nuestra tecnología, es pensar en alguna especie de cohete. O sea, un movimiento derivado del principio de la conservación de la cantidad de movimiento o, más comúnmente conocido como el “principio de la acción y la reacción”. Según el mismo, el cohete avanza hacia delante gracias a la expulsión hacia atrás de una cierta cantidad de gases a una velocidad mayor. Para acelerar el gas a una velocidad lo suficientemente grande para que el viaje hacia las estrellas sea posible, hemos de invertir una cierta cantidad de energía. La cantidad de energía necesaria para aumentar una cierta masa de gas a una velocidad dada sigue la expresión de la energía cinética:

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

Pero ¿de donde podemos obtener la energía para acelerar el gas expulsado?. La mejor respuesta a esta pregunta que tenemos más o menos al alcance de la mano es la

fusión nuclear. Con este sistema podríamos fusionar hidrógeno para obtener helio y expulsar este mismo helio con la energía conseguida de la fusión. La transformación se puede representar como:



El valor de dicha energía vendría de la diferencia de masas entre el hidrógeno reaccionante y el helio producido según la ecuación de Einstein (tan conocida):

$$E = m c^2$$

El peso molecular del H es: 1,0079 y la del He: 4,0026. La diferencia entre 4 H – 1 He es: 0,029, que si lo ponemos en relación a una unidad de H (dividir por cuatro) es: 0,0073. O sea, que por cada unidad de masa de hidrógeno desintegramos 0,0073. Como la energía de la parte desintegrada la invertimos en acelerar la masa fusionada, podemos igualar la ecuación correspondiente a la energía cinética del gas expulsado con la de la conversión en energía del hidrógeno transformado.

$$E \text{ cinética} = E \text{ masa desintegrada}$$

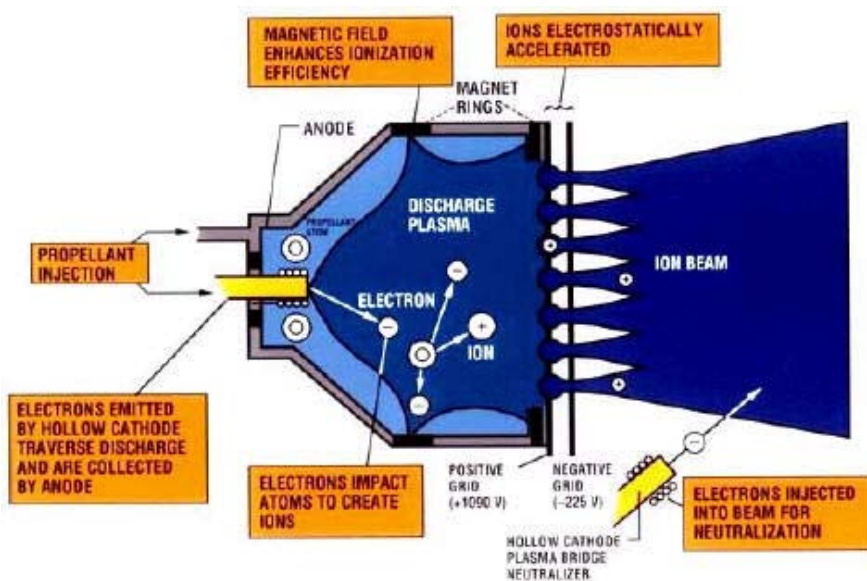
$$\frac{1}{2} m (\text{gases}) v^2 = m (\text{desintegrada}) c^2$$

Por cada Kg de masa expulsada en forma de helio desintegramos 0,0073 Kg de hidrógeno. O sea:

$$m (\text{desintegrada}) = 0,0073 m (\text{gases})$$

$$v = \sqrt{2 \times 0,0073} c$$

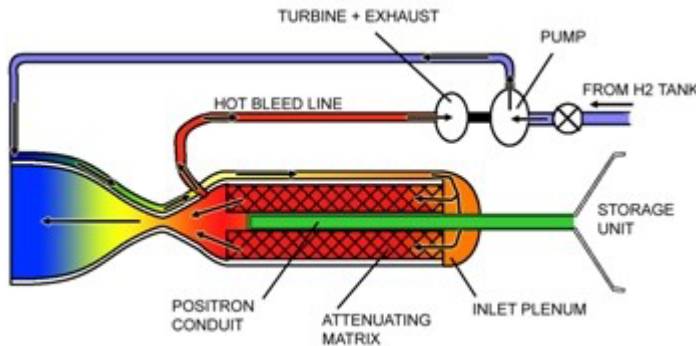
Solucionando la ecuación tenemos que la v de los gases es de 36.249 Km/s, es decir, un 12% de la velocidad de la luz. Esa es la velocidad máxima que se puede alcanzar. En estas condiciones tardaríamos más de 40 años en llegar a la estrella más cercana.



## El problema de la masa de carburante

Otra cuestión es la masa de carburante necesaria para el viaje. En el caso de los cohetes, la masa necesaria se rige por la expresión:

$$m(\text{inicial}) = m(\text{final}) \times \exp\left[-\frac{v(\text{gases})}{v(\text{cohete})}\right]$$

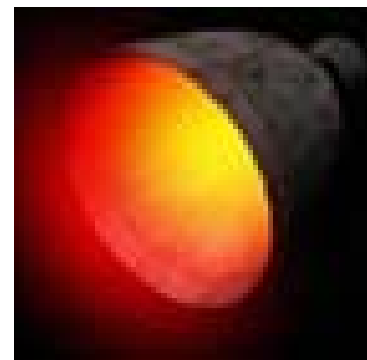


El máximo valor del cociente  $v(\text{gases})/v(\text{cohete})$  es de 1, que supondría una velocidad final del cohete similar a la de los gases expulsados. Si hacemos esa suposición resulta que el carburante habría de ser el 86% de la masa total. Además, como el hidrógeno

líquido tiene una densidad de 70 g/l. (¡Un litro solo pesa 70 gramos!) la consecuencia desagradable (o antiestética) es que el volumen de carburante es consecuentemente mucho mayor que el de la estructura de la nave para la misma cantidad de masa. En definitiva, que el tamaño de la parte de cohete es sólo un 1,5% del total de la nave, siendo el resto depósitos de combustible.

## El problema de la manipulación de los gases

Un material con las velocidades que precisamos alcanzará temperaturas realmente grandes. La manipulación del mismo en las toberas de salida no es soportable por ningún material conocido. La única posibilidad es conducirlo mediante un campo magnético lo suficientemente poderoso. De hecho también necesitamos algo así para poder producir la fusión del hidrógeno en helio.



La tecnología de los campos magnéticos es asimismo necesaria para poder desviar los posibles micrometeoritos que se puedan encontrar por el camino. Hay que tener en cuenta que a ciertas velocidades cualquier partícula, por minúscula que sea, puede producir grandes destrozos.

Las consecuencias de esta tecnología son los campos de fuerza y los “rayos tractores”. Evidentemente el combate espacial tendría que tener en cuenta estos elementos. Podría ser que las naves se enzarzaran en una especie de “pulso” energético o bien que se contara con aceleradores de partículas de carga neutra (para no ser afectadas por el campo de fuerza magnético) con lo que la reflexión de los mismos se habrían de hacer con partículas del mismo tipo. Lo que me queda claro es que los famosos “cazas” que tanto les gusta a los directores de películas, no tendrían ningún sentido.

## Los efectos relativistas

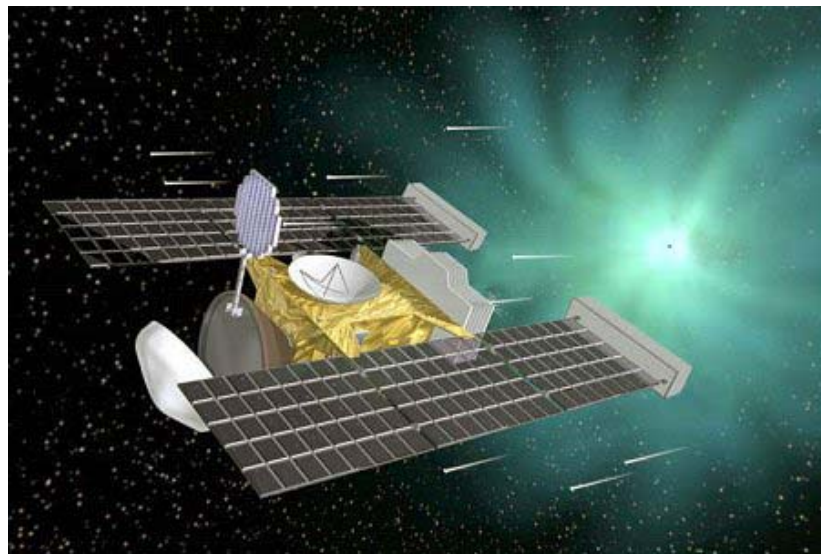
Si conseguimos una velocidad próxima a la luz, habremos de vérnoslas con los efectos relativistas de compresión del tiempo y el espacio y aumento de la masa. En concreto el aumento de la masa nos afectaría en los cálculos de la energía cinética y la conversión de masa en energía. El factor matemático que muestra este efecto es llamado tau ( $\tau$ ), y tiene la siguiente expresión:

$$\tau = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

De forma que para valores de  $v$  próximos a  $c$ , el valor de tau se aproxima a cero. Desde el punto de vista de un observador externo, los valores del tiempo y la masa sufren variaciones relativistas según:

$$t = t_0 \times \tau$$
$$m = m_0 / \tau$$

Con lo que a velocidades cercanas a la luz el tiempo se contrae y la masa aumenta. En concreto para el valor de tau cero el tiempo se “congela” y la masa se hace infinita. Algunos autores han interpretado esto como una cierta inercia de la materia a ser acelerada a estas velocidades con lo que suponen que se podría mantener una aceleración constante en la nave sin que ésta aumentara de forma apreciable su velocidad. Algo así como una especie de barrera inercial. Una ventaja de este fenómeno sería el poder dar a sus tripulantes una gravedad artificial debido a esta aceleración durante todo el viaje (al acelerar y al frenar) con un pequeño lapsus en el momento del giro, para pasar de aceleración a frenada, en el punto intermedio del viaje. Evidentemente esto sólo sería conveniente si dispusiéramos de algo parecido a un motor Bussard (ver siguiente apartado).

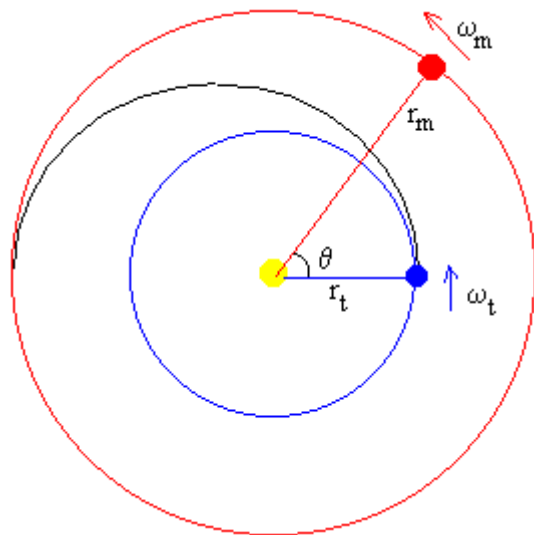


Otro fenómeno es el de la contracción del tiempo, gracias a él los astronautas realizarían el viaje en menos tiempo que el transcurrido para un observador externo (en la Tierra). El espacio sería igualmente afectado de forma que la nave sufriría una contracción en su longitud para un observador externo. Dentro de la nave estos fenómenos sólo serían apreciados en la percepción del universo exterior (en principio).

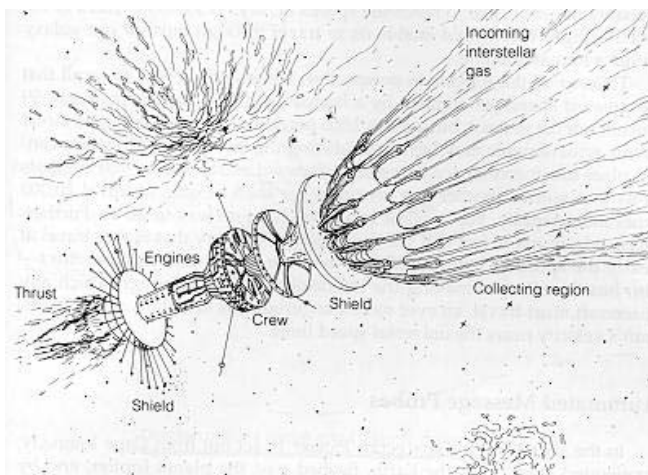
Todos estos fenómenos son prácticamente inapreciables a las velocidades en que se mueven los objetos normalmente en el universo. Las máximas velocidades que se pueden observar no llegan ni de lejos a los 1000 Km/s, con lo que los fenómenos relativistas son mínimos. Pero para una nave que alcanzara un valor de tau menor de 0,1 (a una velocidad del 99% de la de la luz), estos fenómenos serían sumamente importantes y toda la realidad newtoniana a la que estamos acostumbrados dejaría de tener sentido.

### Algunas ayudas o soluciones parciales

La adquisición de una velocidad inicial puede ayudar a bajar el coste energético del viaje. Una posibilidad consiste en aprovechar la fuerza gravitacional del Sol para adquirir una cierta velocidad. Pero teniendo en cuenta que la velocidad de traslación de la Tierra es de 30 Km/s, la de Venus 35 Km/s, la de Mercurio 40 Km/s y la de los cometas sobre los 60 – 70 Km/s, no parece que este efecto nos pueda ayudar demasiado cuando la velocidad final ha de ser 36.000 Km/s. Aún en el caso de una nave que pasara rozando la superficie solar, la velocidad de salida sería sólo de unos 400 Km/s.



Otra posibilidad es la de construir una especie de cañón acelerador de la nave en el espacio. Pero esto también queda descartado si hacemos algunos números: supongamos una longitud de 1000 Km y una aceleración de 100 g. El resultado es una velocidad final de apenas 50 Km/s. Totalmente insuficiente.

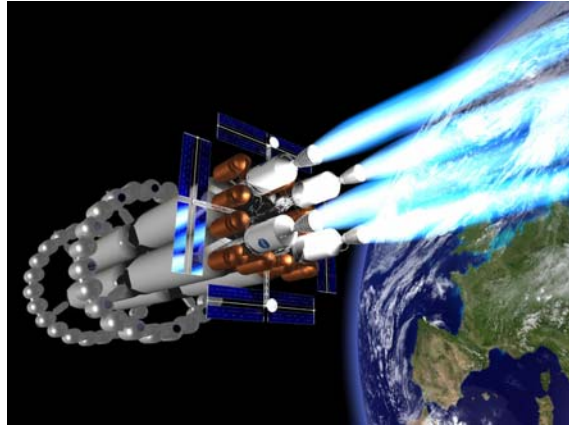


Una posible solución viable al gran consumo de carburante es lo que en ciencia ficción se conoce como el impulsor Bussard. Se trata de la producción de un gran campo magneto hidrodinámico que atraiga los átomos de hidrógeno del espacio vacío frente a la nave y los impulsara hacia el motor de fusión donde serían utilizados como material propelente. Teniendo en cuenta que la densidad

de hidrógeno en el espacio apenas llega al átomo por centímetro cuadrado, necesitaríamos que dicho campo se extendiera en un radio de unos 300 Km frente a la nave teniendo en cuenta una masa para la misma de unas 10.000 Tn. La nave entonces necesitaría una cantidad mínima de combustible. De todas formas el límite a la velocidad de escape de los gases seguiría existiendo.

### La solución energética

Aunque posible en teoría el viaje a las estrellas resulta muy problemático con estos presupuestos. Una solución radica en descubrir una fuente energética más eficiente que la fusión nuclear. La posibilidad más lógica podría ser el descubrimiento de la conversión total de masa en energía.



Supongamos que tenemos un material capaz de transformarse íntegramente en energía bajo ciertas condiciones. Sería como tener energía congelada. Algo así como una pila pero a lo bruto. Esta posibilidad ya fue expuesta en las novelas de Edward E. (Doc) Smith. En ellas se consumían unas barras de cobre que suministraban ingentes cantidades de energía.

En este caso sí que podríamos acelerar el gas hasta la velocidad máxima posible que evidentemente, sería la de la luz, ya que podríamos invertir dicha energía extra en aumentar la velocidad de los gases. Además la cantidad de masa (como energía congelada) requerida en este caso es mucho menor, un 40% de la cantidad de helio expulsado para una velocidad del 90% de la de la luz.

La velocidad final de la nave solo viene limitada ahora por la cuestión del combustible (que empleamos para obtener el impulso por el efecto de acción y reacción). Si suponemos un consumo de carburante igual a la mitad de la masa total de la nave para realizar un viaje, entonces la velocidad adquirida sería un tercio de la de la luz. El volumen de la nave propiamente dicha respecto del total con los depósitos de carburante incluidos sería del 8,5% y el tiempo requerido para llegar a la estrella más cercana unos 12 años, algo más razonable.

Si además tenemos un propulsor Bussard, entonces la masa de hidrógeno en la nave es mínima y podemos aproximarnos sin dificultad a la velocidad de la luz. Si suponemos un radio de atracción del hidrógeno de 500 Km y una velocidad del 90% de la de la luz, tenemos que la cantidad de combustible en forma de energía congelada necesario es del orden del 40% de la masa total de la nave. A esa velocidad y con un factor de aceleración cercano a  $g$ , tardaríamos unos 6 años en llegar a la estrella más cercana (1 año para acelerar y otro para frenar más 4 de tránsito). Pero, debido a los efectos relativistas de esa velocidad, tan solo pasarían unos 4 años en la nave (1 para acelerar, otro para frenar y dos más de los cuatro de tránsito).

## El impulso gravitatorio

Otra posibilidad es obtener el impulso para acelerar la nave a partir de ondas gravitacionales o algún fenómeno similar. El cohete ya no sería un cohete, el principio de acción y reacción no sería utilizado. En este caso la masa de combustible sería mínima si además asumimos que la producción energética provendría de “energía congelada”. La forma de la nave ya no tendría que considerar la presencia de grandes depósitos de combustible. La Enterprise, por ejemplo, habría de funcionar así. Los cristales de Dilithium serían el catalizador de la conversión de la masa en energía en la serie original y la manipulación de antimateria lo equivalente en Next Generation.



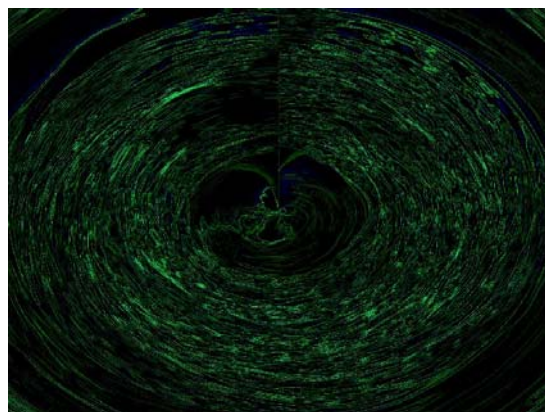
En este caso ya no estamos limitados por los grandes depósitos de combustible ya que no los necesitamos como medio impulsor. El carburante es energético y en forma de “energía congelada”. Las limitaciones a la velocidad final por el consumo de propelente son inexistentes con lo que podemos alcanzar una velocidad muy próxima a la de la luz. En este caso el tiempo requerido para llegar a la estrella más próxima sería de unos 4 años luz más el tiempo de aceleración y el de frenada.

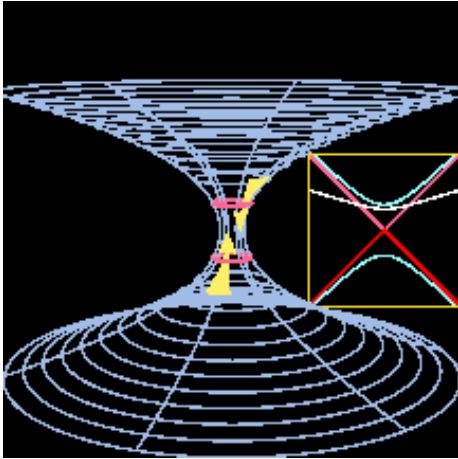
Una consecuencia del dominio de las “ondas gravitacionales” sería el poder tener gravedad artificial dentro de la nave. Para poder conseguir algo similar en los casos anteriores se habría de acudir al empleo de discos rotatorios o similares para generar una fuerza centrífuga que simulara la gravedad.

## El hiper-espacio y los “agujeros de gusano”

En todos los casos anteriores se ha respetado el límite a la velocidad impuesto por la teoría de la relatividad. En la ciencia ficción se han buscado múltiples estratagemas para saltarse este límite (aunque a veces ni siquiera se preocupan de su existencia). Una de ellas es el hiper-espacio.

Existen muchas versiones de este concepto, tantas como autores distintos, pero básicamente se trata de poder superar la velocidad de la luz o de “acortar” el camino entre dos puntos en el espacio normal (una especie de “atajo”). La existencia de este “hiper-espacio” es meramente teórica. Algunos físicos han especulado con la existencia de un espacio “paralelo” en el que existirían unas partículas llamadas taquiones con la particularidad de tener una velocidad mínima igual a la de la luz. Sería algo así como el reverso del espacio-tiempo normal.





Otra posibilidad es la de aprovechar o crear un agujero de gusano. En realidad este tipo de fenómenos se produce cuando un agujero negro se halla situado muy cerca de una estrella (un sistema doble en el que una de las estrellas componentes se ha transformado en agujero negro). En ese caso se produce una conducción de la masa de la estrella hacia el agujero negro formando un conducto en forma de túnel. Se supone que la velocidad de caída hacia el agujero negro es la de la luz con lo que todos los fenómenos espaciotemporales y relativistas que podemos imaginar se producen: el tiempo se congela, la masa se vuelve infinita, etc. Puede ser que el mismo continuum del espacio tiempo se curve tanto que llegue a “romperse” y que “salgamos” en otro punto del espacio situado a distancias inimaginables.

La posibilidad de “crear” agujeros de gusano para conectar dos puntos del espacio supone (en principio) que podamos crear agujeros negros (aunque sean minúsculos) delante de la nave, con lo que ésta se vería atraída hacia él a la velocidad de la luz. De todas formas y salvando la posibilidad física de la creación o manipulación de un agujero negro, ¿cómo se sobrevive a un fenómeno tan violento como es la caída en él?

Una combinación o variación de las ideas anteriores es la creación de “portales” de unión de dos puntos del espacio situados a distancias de varios años luz. El portal “plegaría” el espacio uniendo durante un instante esos dos puntos. No me atrevo ni a imaginar la energía necesarias para “doblar” el espacio. De todas formas creo que esta tecnología supone un avance posterior a las descritas en los apartados anteriores.



## Nivel Tecnológico

Como hemos visto el poder viajar a las estrellas supone unas tecnologías asociadas dependiendo del avance tecnológico alcanzado. Podemos clasificar este grado de avance tecnológico en varios niveles.

- **Primer nivel:** En un primer estadio de la evolución del viaje interestelar tenemos que las naves se mueven gracias a la energía de fusión nuclear, tienen el dominio de los campos electromagnéticos, la hibernación y unos ordenadores muy sofisticados capaces de enfrentarse a cualquier eventualidad durante el viaje. De hecho lo más probable es que las primeras naves sean simplemente sondas no tripuladas. El pequeño problema de estas naves es que tienen una enorme desproporción entre el volumen de la nave y su depósito de combustible a menos que consideremos viable el impulsor Bussard. Por otra parte el viaje tardaría muchísimo ya que sólo se alcanzaría el 12% de la velocidad de la luz.  
Otro aspecto de esta sociedad es que el viaje interplanetario, mucho más fácil que el interestelar, estaría a la orden del día. Las consecuencias son evidentes: existirían colonias en los planetas del sistema solar, Júpiter sería la fuente principal de hidrógeno para las centrales de fusión nuclear, etc. Los problemas energéticos no existirían pero quizás habría una superpoblación alarmante.
- **Segundo nivel:** La evolución tecnológica ha llegado a producir la “energía congelada”. Después de los primeros pinitos en la exploración interestelar, este descubrimiento permitiría plantearse en serio la colonización de las estrellas cercanas. Ahora podemos llegar a velocidades próximas a la luz con lo que el tránsito estelar puede ser más denso. Es posible pensar en líneas de cargueros que transporten materiales vitales para la nación estelar. Seguimos dependiendo de soluciones parciales como el propulsor Bussard para evitar las ingentes cantidades de hidrógeno necesario. Es de suponer que las naves habrían de tener factorías y fábricas para poder regenerar el combustible utilizado. La fuente de energía congelada podría ser un material raro o algo más normal tratado de forma especial. De cualquier forma el efecto sería que al llegar a un sistema estelar nuevo, la nave tendría que fabricarse de nuevo el combustible a partir de las materias primas disponibles allí.
- **Tercer nivel:** El descubrimiento del impulsor gravitacional tiene consecuencias diversas. El impulsor Bussard ya no es necesario y las naves tienen gravedad artificial. Además las formas de entrar en órbita y aproximación a cuerpos celestes son ahora mucho más fáciles. Pueden existir cosas como el arnés gravitatorio y los vehículos antigrav. Las naves se desplazan a velocidades próximas a la de la luz sin dificultad. También podemos pensar en un motor tipo Bussard que atraiga los átomos del espacio para sacar energía de ellos desintegrándolos íntegramente, así la cantidad de combustible almacenado puede ser mínima o prácticamente inexistente.
- **Cuarto Nivel:** Ahora podemos saltarnos ya las limitaciones a la velocidad de la teoría de la relatividad. Ya sea mediante el salto hiperespacial, la creación de agujeros negros o mediante portales de salto. La sociedad estelar es similar a las naciones actuales y los medios de comunicación unen distancias interestelares con facilidad. Desde mi punto de vista se pierde el encanto del viaje a las estrellas.