

The illustration depicts a large, multi-layered space station or colony. The central part is a circular, green, forested area with a winding river and a central circular structure. This is surrounded by a yellowish-brown ring, then a white ring, and finally a dark purple outer shell. The background shows a starry space with a bright sun, a blue planet, and a purple ringed planet.

Gerard K. O'Neill
**CIUDADES DEL
ESPACIO**

Lectulandia

Ciudades del espacio es un libro publicado en 1976 —en español en 1981— cuyo autor fue Gerard K. O'Neill, donde se proponía una hoja de ruta para los Estados Unidos en un hipotético futuro programa de colonización espacial continuando con el empuje del ya cancelado Programa Apolo que llevó al ser humano a la Luna en 1969. Preveía grandes hábitats casi autónomos cerca de los puntos de Lagrange del sistema Tierra-Luna. Proponía tres diseños denominados islas: La Isla Uno, basada en una Esfera de Bernal, la Isla Dos basada en un toro de Stanford y la Isla Tres, que eran básicamente dos cilindros de O'Neill. Las islas serían construidas utilizando materias primas extraídas de la superficie lunar lanzadas al espacio utilizando un controlador de masas y de los asteroides cercanos a la Tierra. Los hábitats recrearían la gravedad terrestre en la cara interior de los cilindros mediante rotaciones y serían iluminados por el Sol.

Lectulandia

Gerard K. O'Neill

Ciudades del espacio

ePub r1.0

Titivillus 21.07.16

Título original: *The High Frontier: Human Colonies in Space*

Gerard K. O'Neill, 1977

Traducción: Carlos M. Sánchez Rodrigo

Ilustraciones: Donald Davis

Editor digital: Titivillus

ePub base r1.2

más libros en lectulandia.com

ÍNDICE GENERAL

1. Carta desde el espacio
2. Futuro del Hombre en el planeta Tierra
3. El problema planetario
4. Nuevos hábitats para la Humanidad
5. Islas en el espacio
6. La nueva Tierra
7. Riesgos
8. El primer Nuevo Mundo
9. Primeros objetivos en Isla Uno
10. Otra carta desde el espacio
11. La colonización de los asteroides
12. Perspectivas humanas en el espacio
- Apéndice 1. Cómo se difundió la idea
- Apéndice 2. Extractos de «Solar Power from Satellites»

Autor

1

CARTA DESDE EL ESPACIO

Hacia la mitad de la década de los 70 un nuevo concepto ha irrumpido en la palestra del debate público. Si los razonamientos en que se basa son correctos puede que ponga a nuestro alcance nuevas fuentes de energía y materiales inéditos, al tiempo que contribuya a la conservación de nuestro medio ambiente. Al principio se habló de «colonización del espacio»; hoy, a medida que el tema va siendo objeto de discusión progresivamente sería en círculos gubernamentales, de negocios, universitarios y periodísticos, tendemos a referirnos a ello con apelativos menos espectaculares, como construcción espacial o en órbita elevada.

El concepto de la población del espacio por el hombre es ciertamente viejo; en cierto modo puede hallarse ya en los días primeros del hacer científico, y antes incluso en el misticismo. Ha sido tema de ficción durante varios decenios, y por lo menos una discusión creativa en torno a un satélite artificial habitado fue escrita ya por Edward Everett Hale durante la segunda mitad del siglo XIX. El físico ruso Konstantin Tsiolkowsky preveía ya, hace setenta y cinco años, algunos de los elementos de nuestro concepto de comunidad espacial con notable claridad. En una novela, *Beyond the Planet Earth*, escrita hacia 1900 y publicada unos veinte años más tarde, Tsiolkowsky describe a sus primeros viajeros en el espacio construyendo invernaderos fuera de la sombra de la Tierra, para obtener cosechas con que mantener a una población de emigrados de nuestro planeta; sus astronautas visitaron la Luna, pero sólo a modo de excursión al pasar; su destino último eran los asteroides, vasto depósito de recursos^[1] 1-6.

Otros autores, los más de nuestro siglo, han acariciado asimismo la idea de los hábitats espaciales. Lasswitz en 1897 y Bernal, Oberth, Von Pirquet y Noordung en la década de los años veinte, continuaron con el tema^[2], como hicieran también Wernher von Braun, Dandridge Cole y Krafft Ehricke entre los años 1950 y 1960^[3]. Aunque muchas de esas ideas encuentran debido eco en este libro, habría sido difícil antes de 1969 formar con ellas una imagen coherente sin incurrir en graves lagunas técnicas.

Nuestro objeto no es otro que el de hallar modos en que toda la humanidad pueda participar de los beneficios surgidos de la rápida expansión de los conocimientos, al tiempo que evitar que los aspectos materiales de tal expansión degraden ese reducto mundial donde vivimos. Necesariamente, muchos de los temas e intereses abordados en la obra son materialistas; pero es más que la supervivencia material lo que anda en juego. Los más elevados logros de la humanidad en las artes, música y literatura no se habrían producido jamás sin la concurrencia de cierta medida de desahogo y riqueza; y no debiéramos avergonzarnos de investigar de qué forma toda la humanidad puede participar de esa opulencia.

Un programa firme en cuanto al desarrollo de los recursos del espacio depende, claro está, de decisiones aún por tomar, aunque parece que la construcción de unas instalaciones en órbita elevada pudiera iniciarse en un plazo de siete a diez años en base a la tecnología hoy en desarrollo con miras al transbordador espacial, y hallar terminación satisfactoria dentro de quince a veinticinco años.

El interés gubernamental en las instalaciones en órbita elevada sigue parejo al curso de los cálculos económicos acerca de su viabilidad y provecho. Estas consideraciones sugieren que una comunidad de esa índole podría suministrar notables cantidades de energía a la Tierra, y que una inversión particular, acaso multinacional, en un primer hábitat espacial, bien pudiera reportar múltiples beneficios.

Gran parte del interés público fluye por derroteros más humanos: que miles de personas hoy vivientes puedan optar en el plazo de dos decenios por vivir y trabajar en una nueva frontera. Si el proyecto en cuestión se realiza tan pronto como sea técnicamente posible, algo semejante a la siguiente «carta desde el espacio» podría escribirse ya hacia la década de 1990.

«Queridos Brian y Nancy:

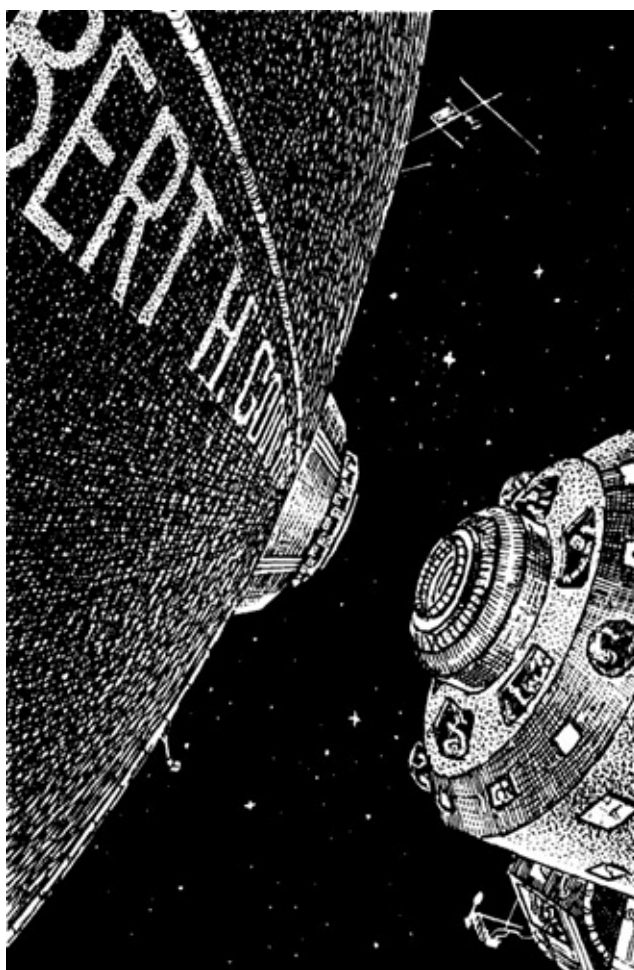
»Comprendo que antes de decidirlo queráis saber algo más al respecto, de labios de alguien que vive y trabaja ya en el espacio.

»Según decís habéis llegado ya a las “finales” en el proceso de selección. La etapa siguiente será, pues, la entrevista de admisión. Luego, si os hacen una oferta, tendréis que decidir si ingresáis en el curso de adiestramiento de seis meses. Aunque nunca llegué a formar parte del Peace Corps, entiendo que los métodos selectivos son similares. La mayor parte de los componentes de vuestro grupo pasará las pruebas.

»Viene luego el gran paso del primer vuelo espacial, la permanencia en órbita durante tres semanas. Actualmente el vuelo ha pasado ya a ser algo rutinario; comprobaréis que el interior del vehículo unifásico es muy semejante al de cualquiera de los reactores comerciales pequeños. Viajaréis ciento cincuenta a la vez. La aceleración será más elevada que en el caso de la aviación comercial, pero nada que deba preocuparos. La puesta en órbita dura sólo unos veinte minutos, al cabo de los cuales experimentaréis algo realmente nuevo: la gravedad cero. Puede que os sintáis un tanto mareados al principio, como si os hallarais a bordo de un barco en alta mar. Ese período de prueba de tres semanas sirve para eliminar a aquellos candidatos excesivamente sensibles al mareo y para averiguar quiénes pueden adaptarse fácil y rápidamente a esa variación diaria entre la gravedad normal y nula. Esto es importante porque nuestros hogares poseen gravedad por causa de la rotación, y muchos de nosotros trabajamos en la industria de la construcción, donde la gravedad no existe en absoluto. Los que pueden adaptarse a una alternancia rápida obtienen asimismo puestos de trabajo mejor pagados. El período de ensayo proporciona a la gente, por tanto, la ocasión de decidir, si es preciso, que “aquello no les va”.

»Una vez transcurridas esas tres semanas estaréis listos para pasar a uno de los

“cruceros” de comunicación. A Jenny y a mí nos encantó el viaje. Iréis en el *Goddard* o en el *Tsiolkowsky*, que tardan una semana más o menos en efectuar el trayecto. La mitad de los pasajeros serán probablemente neófitos como vosotros, en tanto que la otra la compondrán quienes regresan de sus vacaciones en la Tierra. La nave gira sobre sí misma de manera que dispondréis de gravedad normal en las dependencias públicas, y algo menor en las cabinas dormitorio. Durante el período de adiestramiento de seis meses habréis tomado asimismo varios cursos acelerados en lenguas extranjeras, así que estaréis en situación de relacionaros con algún acompañante de otro país. A nosotros nos encanta visitar a menudo comunidades vecinas, con ocasión de reuniones o fiestas sociales, y ciertamente gustamos de conversar con quienquiera que se nos ponga a tiro, aunque como sabéis, nuestra capacidad lingüística no va mucho más allá de la variedad llamada “de restaurante”.



Transbordador Goddard y muelles de Isla Uno.

»En el espacio y cerca ya de las colonias, lo más digno de destacar y lo más grande que veréis serán las estaciones de energía, satélites del Sol, en curso de montaje para el suministro de la Tierra. Estas estaciones son unas diez veces mayores que los propios hábitats. De éstos no percibiréis gran detalle desde el exterior porque se hallan debidamente protegidos de los rayos cósmicos, las erupciones solares y meteoros varios por una gruesa capa de material heterogéneo, principalmente escorias

de las industrias elaboradoras.

»Todos los hábitats son variaciones de una forma esférica, cilíndrica o anular básicas. Nosotros vivimos en Bernal Alpha, una esfera de unos quinientos metros de diámetro, con una circunferencia interior, a modo de ecuador, de casi dos kilómetros. En esta vía anular se celebran carreras en pista y competiciones ciclistas. Este camino completa un círculo, siguiendo el ecuador; en sus proximidades se encuentra nuestro pequeño río. Bernal Alpha gira una vez cada treinta y dos segundos, de manera que se consigue en su ecuador una gravedad igual a la terrestre. La tierra forma un vasto valle curvado, que asciende desde el ecuador hasta las llamadas “líneas de latitud” de 45°, a cada lado. La zona de solares se dispone principalmente en forma de apartamentos escalonados de escasa altura, vías peatonales destinadas al comercio y pequeños parques. Muchos servicios, industrias ligeras y tiendas varias han sido instalados en el subsuelo o en una esfera central de baja gravedad, cuando no escalonadamente con mucha inclinación, ya que preferimos destinar la mayor parte de nuestra zona habitable a césped y jardines o parques. Nuestro sol llega a nosotros con un ángulo de unos 45°, es decir, como lo haría en la Tierra mediadas la mañana o la tarde; la duración del día y, por consiguiente, el clima son regulados a voluntad, conforme a nuestra mayor o menor admisión de luz solar. Nos regimos por tiempo horario de Cabo Cañaveral, pero otras dos comunidades vecinas se han adscrito a zonas horarias diferentes. Todos servimos a las mismas industrias, de manera que las operaciones de producción prosiguen ininterrumpidamente durante veinticuatro horas cada día, en tres turnos, sin que nadie tenga que trabajar por ello en el de noche.

»Alpha goza de un clima hawaiano, lo cual nos permite llevar una vida al exterior durante todo el año. Nuestro apartamento es de dimensiones semejantes a la vieja casa que poseíamos en la Tierra y cuenta, además, con jardín. Comoquiera que Alpha fue uno de los primeros hábitats construidos, nuestros árboles han tenido tiempo de desarrollarse y de alcanzar buen tamaño.

»Repararéis en seguida en la pequeña escala a que parecen haber sido construidas todas las cosas; sin embargo, para tratarse de una comunidad de 10.000 personas no podemos quejarnos en cuanto a disponibilidades para el entretenimiento: cuatro pequeños cines, unos cuantos restaurantes de no poca calidad y un gran número de agrupaciones teatrales y musicales. Nos lleva sólo unos minutos el desplazarnos a las comunidades vecinas, así que les hacemos frecuentes visitas, bien para ir al cine u otras funciones, bien para cambiar simplemente de ambiente. En el complejo recreativo sometido a baja gravedad abundan las representaciones de *ballet* y, creednos, a una décima parte de la gravedad normal es un espectáculo verdaderamente magnífico. Ya lo conocéis por la televisión, pero es incomparablemente mejor en la realidad. Esas instalaciones de recreo son comunes a todos los habitantes de esta región del espacio; pero aquí mismo, en Alpha, contamos también con piscinas con baja gravedad y con recintos especiales para la práctica del vuelo autónomo, es decir, autopropulsado. Por otra parte, a Jenny y a mí nos gusta

mucho ascender a nuestro “Polo Norte” o pedalear a lo largo del eje de ingravidez de nuestra esfera, especialmente después de la puesta del sol, para contemplar las ricas y matizadas tonalidades de las vías que discurren más abajo.

«Preguntáis acerca de nuestro gobierno. Pues bien, varía de una comunidad a otra. Legalmente todas se encuentran bajo la jurisdicción de la Corporación de Satélites Energéticos (COSAE) fundada en la década de 1980 como consorcio multinacional lucrativo por acuerdo de las Naciones Unidas. Y la verdad es que COSAE nos concede relativa libertad con tal de que la productividad y los beneficios se mantengan elevados. Supongo que no quieren para sí otra “partida bostoniana del té”^[1]. Existen casi tantos gobiernos locales distintos como grupos nacionales conviven en las colonias; el nuestro es de corte corporativo, que mal funcionaría, ciertamente, en un colectivo de 10.000 personas de no ser por el hecho de que los más andamos demasiado ocupados para dedicarnos a las campañas electorales y porque las condiciones básicas de la supervivencia en nuestro hábitat requieren un elevado nivel de competencia por parte de los encargados de mantenimiento. Nuestros jóvenes tienen que trabajar un año en uno de los grupos de conservación de las constantes que hacen viable la vida en las colonias (viene a ser el equivalente del servicio militar de la Tierra), de manera que si el gobierno regular o los miembros de mantenimiento fallaran en algún sentido, su sustitución se produciría en un abrir y cerrar de ojos.

»Nos hizo mucha gracia vuestro comentario acerca del tener que disertar frente a grupos cívicos; Jenny y yo tuvimos que pasar por lo mismo.

»A título de información para vuestras conferencias mencionaré algunos puntos fundamentales. La provisión inicial de agua para cada hábitat se obtiene combinando hidrógeno traído de la Tierra con ocho veces su peso en oxígeno lunar. Aquí en L5 el oxígeno es un subproducto de los procesos industriales productores de metales y vidrio. Nuestro suelo, nuestra tierra, proviene, claro está, de la Luna, y es fértil una vez se le han incorporado nitratos y agua. Dada nuestra ilimitada energía, de coste irrisorio, nos hallamos libres de toda clase de contaminación. Donde la energía apenas cuesta nada y las materias primas son, en cambio, relativamente caras, sale muy a cuenta el descomponer los productos de desecho en sus elementos componentes.

»Por el momento no existen comunidades en número suficiente como para que los viajes a larga distancia constituyan problema; sin embargo, para cuando las haya, dispersas en miles de kilómetros, sabemos ya cómo funcionará el sistema de transporte. Podemos simplemente acelerar un vehículo mediante un motor eléctrico situado en una de las comunidades y llevarlo a una elevada velocidad de crucero para, recorridos ya varios miles de kilómetros, ser frenado y detenido por cable desde su punto de destino.

»Hace mucho tiempo, alguien calculó el tamaño máximo de los habitáis espaciales. Estos podrían alcanzar dimensiones de hasta casi veinte kilómetros de diámetro, con suelo habitable de varios centenares de kilómetros cuadrados. Ya se

está hablando de transferir la base minera de la Luna a los asteroides, donde contaríamos con una gama completa de elementos, inclusive carbono, nitrógeno e hidrógeno. En cuanto a energía no nos ha de costar más el obtener materiales de los asteroides en vez de procurárnoslos de la Tierra, y además tendría que resultarnos mucho más barato porque el sistema de transporte no habrá de requerir fuerzas de propulsión elevadas. También se ha calculado el crecimiento posible una vez hayamos empezado a utilizar material de los asteroides. La respuesta se nos ofreció absurdamente grande: con los materiales conocidos y no usados existentes allí se podrían construir comunidades espaciales con una superficie habitable total 3.000 veces mayor que la de la Tierra.

»Volviendo a nuestra situación personal, la vida aquí es muy cómoda. Hay verduras y frutas en sazón en todo momento, pues disponemos de cilindros agrícolas para cada mes del año, cada uno de los cuales cuenta con su propia regulación de diurnidad. Nosotros cultivamos aguacates y papayas en nuestro jardín y jamás hemos de recurrir a los insecticidas. Y no sabéis lo agradable que resulta el broncearse sin correr el riesgo de ser picados por los mosquitos. Por verse libres de estas plagas vale la pena el pasar por todas las inspecciones previas al embarque en el transbordador de salida de la Tierra.

»Preguntáis si nos sentimos aislados. Hay entre nosotros quienes ocasionalmente sufren de añoranza, probablemente porque pertenecemos a la primera generación de inmigrantes y ello hace que los brotes de leve claustrofobia no sean raros. Lo cierto es que no afectan en modo alguno a los nacidos aquí. De todas formas, al firmar el contrato se estipulan unas cláusulas que, en ese sentido, ayudan considerablemente. Una hace referencia a la posibilidad de contar gratuitamente con determinados espacios en la comunicación telefónica y videofónica con la Tierra. Otra establece el uso de transporte de ida y vuelta al planeta en función, claro está, de las disponibilidades. Jenny y yo nos tomamos una excedencia de seis meses después de una permanencia de tres años. Durante nuestra visita no nos privamos de nada, pues nuestros sueldos son pagados en parte en moneda terrestre; ambos estamos empleados, Jenny como inspectora de turbinas, y yo en montaje de precisión. Casa, comida, ropas y demás son cargados en nuestra cuenta con SHARES (Standard High-orbital Acquisiton-units Recorded Electronically)^[2], de modo que la parte de sueldo pagada en la Tierra se acumula en el banco. A nuestro regreso disponíamos, por tanto, de un buen capital, que no se agotó ni siquiera en seis meses, pese a haber vivido allí, como he dicho, con el máximo desahogo e incluso con lujo.

»Descubrimos algo, no obstante, que puede que responda a vuestra cuestión básica: hacia el término de nuestras vacaciones nos dimos cuenta de que estábamos perfectamente preparados, y si me apuráis, hasta deseosos de regresar. Echábamos de menos nuestro propio hogar. Jenny es muy amante del jardín, como sabéis, y aunque durante nuestra ausencia había quienes lo cuidaban, tenía muchas ganas de disfrutar de nuevo de él. Por mi parte, ¡qué queréis!, echaba de menos a mis compañeros de

trabajo. Para decirnos qué otras cosas tiraban también de nosotros baste añadir que los hábitats espaciales son lugares realmente fascinantes. Se amplían, crecen y se transforman con tal rapidez que una mera ausencia de seis meses te hace perder un montón de interesantes ocurrencias.

»¿Que si os gustaría vivir aquí? De los que vinieron con nosotros más de la mitad se han declarado ansiosos de permanecer una vez haya concluido su contrato inicial de cinco años. Si no ando equivocado, creo que la colonización y población de Alaska ha discurrido en proporción semejante.

»Ahora es cuando nosotros empezamos a preguntarnos si deseamos o no volver a la Tierra. Esta decisión no habrá de ser tomada sino dentro de veinte años, pero sabemos ya que no será fácil. Algunos de nosotros, los más dotados mecánicamente, hemos formado un club de diseño de vehículos espaciales de construcción propia: algo parecido a los que forman en la Tierra los constructores caseros de avionetas. La verdad es que acariciamos la idea de ir a colonizar uno de los pequeños asteroides vecinos, y los cálculos lo hacen viable. Y, francamente, si nuestra hija, su marido y los niños deciden acompañarnos, me parece que son mayores las probabilidades de alejarnos aún más que las de regresar.

»Si resolvéis venir decidnos en qué vuelo e iremos a esperaros. Cenaremos juntos, hablaremos de muchas cosas y os ayudaremos a instalarlos.

»Con nuestros mejores deseos de buena suerte en las pruebas, vuestros

»Edward y Jenny».

Al explorar esas posibilidades debemos tener en cuenta que se trata precisamente de eso: de posibilidades; no de predicciones o profecías. La escala de tiempo apuntada puede que no sea del todo exacta y que deban transcurrir más de quince a veinte años antes de alcanzar la viabilidad mínima; puede también, por otra parte, que este pronóstico resulte excesivamente prudente y que los acontecimientos técnicos se sucedan con tal celeridad que el plazo se acorte considerablemente. El «cuándo» no pertenece a la ciencia sino a una interacción imprevisible y sumamente compleja de eventos políticos, personales, tecnológicos, etc., no ajenos, además, al azar. Estimo improbable, no obstante, el establecimiento de la primera comunidad espacial antes de 1990; pero también considero improbable que se vea postergado más de quince años a partir de esa fecha, es decir, más allá del 2005. Ninguna de estas fechas queda muy alejada; ambas pertenecen a la vida de la mayoría de los presentes. En lo tocante a fechas me da que pensar el hecho de que Konstantin Tsiolkovski, ese gran visionario y pionero del espacio, se reveló asimismo muy cauto y modesto al fijar el «cuándo» del primer vuelo orbital en torno a la Tierra: lo estimó para el año 2017.

Robert Goddard (1882-1945), gran parte de cuya vida fue dedicada a la tarea más práctica, y por tanto más difícil, de reducir la teoría de los cohetes al plano operativo y material, previno nuestra posible estrechez de miras advirtiéndolo:

«Es difícil decir qué es imposible, porque los sueños de ayer son esperanza hoy y realidad mañana».

2

FUTURO DEL HOMBRE EN EL PLANETA TIERRA

Contamos ahora con suficiente capacidad tecnológica para establecer grandes comunidades humanas en el espacio: colectividades donde será posible realizar muchas de las tareas y actividades habituales del hombre: cultivar, fabricar, etc. Los beneficios que cabe esperar de nuestra proyección al espacio exterior son considerables tanto a corto como a largo plazo.

La primera reacción ante semejante aserto es de incredulidad: «Pero ¿no queda eso fuera de nuestro alcance?» ¡En absoluto! La colonización del espacio por parte del hombre puede llevarse a cabo, con toda seguridad, sin superar en modo alguno los límites de los recursos disponibles en este mismo decenio. Sin embargo, aun siendo posible, ¿vale la pena? Creo que sí: las razones van desde la más inmediata y práctica —resolver la crisis energética en que estamos inmersos y que progresivamente afectará a nuestro mundo—, hasta la que, a largo plazo, pone en el candelero la cuestión del volumen de la población terrestre y los medios existentes en la Tierra para su sustento; finalmente, una nueva circunstancia de orden no material, fascinante, pero que no puede ser valorada con dinero: la oportunidad de ampliar las opciones del hombre y la diversidad de su desarrollo.

Durante decenas de miles de años los humanos han sido pocos en número e insignificantes en fuerza, en comparación con el entorno físico. No sólo la guerra y el hambre, sino también las plagas venían a diezmar las poblaciones tan pronto como aumentaban sus efectivos; discurrían los siglos y apenas si se notaba incremento alguno en el número de habitantes de la Tierra. Por otra parte, la calidad de la vida parece haber sido muy baja, incluso en tiempos de paz, durante aquellos años preindustriales. Aunque casi por doquier existían minorías privilegiadas detentoras de relativa fortuna, la mayoría de las gentes vivían prácticamente aferradas al yugo de las labores más pesadas y eran notorios y frecuentes los casos de esclavitud^[1]. Durante todo ese tiempo le habría sido muy difícil a un observador extraterrestre el comprobar telescópicamente nuestra presencia en la Tierra; nuestro poder y acción sobre ésta era demasiado escaso para hacerse notar.

De pronto, en un lapso de menos de doscientos años, nuestra situación como pasajeros de un planeta gigante, perdidos en su inmensidad e inermes ante sus fuerzas, ha cambiado espectacularmente. La consolidación de la ciencia médica y el rápido desarrollo de la química han hecho que las enfermedades infantiles mortales desaparezcan casi por completo en las naciones más adelantadas, paliando asimismo sus efectos en aquellas que no lo son tanto. Con esto, la población mundial crecía cada vez más, con el consiguiente peligro de agotamiento de las provisiones asequibles en la Tierra.

Al mismo tiempo ha cambiado nuestro poder y facultad de alterar la superficie del planeta. Nuestras actividades pueden transformar la Tierra, y de hecho lo hacen, así como la atmósfera que la rodea. Con cada año que pasa adquirimos un mayor grado de control sobre el medio ambiente, que tratamos de ajustar indefectiblemente a nuestros gustos. Sin embargo, el resultado no siempre es de nuestro agrado.

La revolución industrial ha sido el mecanismo determinante del aumento experimentado por nuestro poder físico, y el que ha logrado que, por primera vez, una parte notable de la población humana haya alcanzado un alto nivel de vida. Comodidad, longevidad razonable, libertad de traslación, etc., son productos directos de la industrialización. Con todo, este proceso ha causado igualmente notables daños. Aunque se inició hace sólo doscientos años, menos de una diezmillonésima parte de la edad de la Tierra, sus efectos secundarios han cambiado las condiciones de ésta de modo alarmante. Ha herido, inundado y ensuciado su superficie de manera que muchos juzgan intolerable. El humo y las cenizas de las fábricas de Inglaterra contaminan el aire que flota sobre los fiordos noruegos; agentes nocivos de los grandes complejos industriales del Japón son detectados de vez en cuando entre las nieves de Alaska. No hay apenas ciudad importante que no adolezca de problemas de contaminación de su atmósfera.

Si estos males nos hubieran llegado después de que todas las naciones de la Tierra hubieran alcanzado la categoría industrial, es posible que nos hubiésemos reunido, a nivel de especie, para discutir el remedio y las acciones necesarias para hacerles frente como colectividad. Pero no nos ha cabido tal suerte; y los peligros de la contaminación ambiental son ciertamente menores en comparación con otros también presentes: escasez de alimentos, de energía y de materias primas acechan nuestro futuro, en un momento en que la mayor parte de la raza humana es aún pobre y no es pequeña la proporción de la misma que se halla al borde de la consunción. No podemos resolver el problema volviendo a la sociedad pastoril, libre de máquinas: somos demasiados ya para vivir con los medios que aporta una agricultura preindustrial. En las zonas más ricas del globo dependemos de la agromecánica para producir grandes cantidades de alimentos con una inversión relativamente pequeña de trabajo individual; pero, en gran parte del mundo sólo una labor demoledora de sol a sol proporciona comida suficiente para apenas subsistir. Los países subdesarrollados suman las dos terceras partes de la humanidad; en esos países sólo un quinto de la población está adecuadamente alimentado, otro quinto aparece «solamente» desnutrido, y el resto sufre irremediabilmente de malnutrición en alguna de sus formas^[2].

En esos países la necesidad de aumentar el producto alimentario es desesperada. Cuando la Tierra no puede sustentar a sus pobladores y se extiende el hambre, las enfermedades estragan a los viejos y aún más duramente a los niños, que, afectados de malnutrición progresivamente incapacitante, ofrecen su agonía a sus impotentes padres. En algunas de esas regiones cierto grado de industrialización no es, por tanto,

un lujo sino una necesidad extrema. Es trágico que en este siglo xx la satisfacción de esta necesidad quede vetada o retrasada en parte debido a los límites energéticos y materiales de la Tierra.

Si examinamos el proceso que ha reportado a los más de los que viven en el mundo industrializado cierta libertad de movimientos y exención de los trabajos pesados, repararemos que la clave está en el creciente empleo de fuentes de energía artificiales. El desplazamiento a grandes distancias se ha hecho común para gran parte de la población; hace cuarenta años era imposible hasta para los más opulentos. Un transatlántico de lujo de la década de 1930 tardaba varios días en atravesar el océano, y sus máquinas desarrollaban unos veinte caballos de vapor por cada pasajero transportado. El salto aéreo de una orilla a otra mediante reactor lleva tan sólo unas cuantas horas, pero el avión requiere una potencia de varios centenares de caballos en sus motores por cada viajero. Hasta la crisis energética de 1973-74, el consumo de energía aumentaba en Estados Unidos un 7% anual^[3]. La mecanización de la agricultura, la «revolución verde» y el rápido desarrollo de una industria no agrícola en las nuevas naciones depende asimismo de su paso por un período semejante de crecimiento acelerado.

Y les cuesta horrores conseguirlo: nosotros fuimos los primeros en el consumo de la energía, y hemos rebañado hasta el fondo los recursos terrestres de fácil disponibilidad.

Desde el punto de vista político y moral, a nosotros, países desarrollados, nos alcanza la responsabilidad del saqueo a que hemos sometido la Tierra en los últimos siglos. No es probable, con todo, que ningún país de nuestro mundo desarrollado vaya a reducir voluntariamente su nivel de vida con objeto de compartir las restantes existencias energéticas de la Tierra con las naciones recién eclosionadas. Como demostraré, puede que nos quepa aún una alternativa aceptable: un modo de hacer que fuentes de energía baratas e inextinguibles queden a disposición de las nuevas naciones sin necesidad de claudicación por nuestra parte.

Cualquiera que sea la solución tecnológica de nuestro problema, su validez y lógica habrá de mantenerse durante un largo período de tiempo. Como dijera E. F. Schumacher:

«Nada tiene sentido a menos que su continuidad durante largo tiempo pueda ser proyectada sin caer en absurdos... no puede haber un crecimiento generalizado y sin límites... Máquinas cada vez más grandes que implican aún mayores concentraciones de poder económico y que ejercen aún más violencia contra el retorno no representan progreso alguno: son la negación de la sabiduría^[4]».

Estas consideraciones debieran estar presentes en nuestra mente a medida que procedemos a examinar todas y cada una de las sugerencias técnicas contenidas en este libro, y yo me permitiré ordenarlas a modo de guía o de directrices:

1. Toda propuesta de mejorar la condición humana tiene sentido sólo si a la larga

encierra el potencial de dar a todo el mundo, sin importar su lugar de nacimiento, acceso a la energía y materiales necesarios para su progreso.

2. Una «mejora» técnica será probablemente más beneficiosa si tiende a reducir más que a aumentar la concentración de poder y control.
3. Toda mejora es valiosa si contribuye y tiende a reducir la escala de las ciudades, industrias y sistemas económicos, de modo que la burocracia pierda importancia y el contacto humano directo sea más fácil y eficaz.
4. Una línea de desarrollo tecnológico estimable debe englobar un período de vigencia útil, «sin caer en absurdos», de por lo menos varios centenares de años.

Hay aún otras necesidades que, a mi juicio, debieran ser satisfechas en el curso del desarrollo de nuestra sociedad industrial para que éste sea real y efectivo. Sería deseable que el ruido y contaminación de nuestros sistemas de transporte fuera alejado de aquellos lugares donde se encuentran nuestros hogares y crecen nuestros niños. Sin embargo, hemos de conservar la libertad de desplazamiento rápido incluso a grandes distancias.

Debiéramos esforzarnos asimismo por dar solución al problema del crecimiento indeseado en nuestros propios ambientes individuales; si sigue aumentando la población, debemos buscar la forma de que pueda hacerlo al tiempo que se conserva la estabilidad de dimensión y densidad de las respectivas comunidades.

Y por último, en tanto batallamos por dar solución a los problemas de orden físico que agobian a la humanidad, debemos darnos cuenta, con humildad, de que no hay panaceas. No hay utopías. La humanidad no cambia; retiene en todo momento su capacidad tanto para el bien como para el mal. A lo más podemos sugerir situaciones cuyos imperativos técnicos harán más fácil que la humanidad se decante por la paz: diversidad antes que represión; humana simplicidad antes que inhumana mecanización. La tecnología debe estar a nuestro servicio, y no a la inversa.

En el último decenio han sido reconocidos cuatro problemas, todos relacionados con el reducido tamaño de la Tierra; se trata de la energía, los alimentos, el espacio vital y la población. Y el último es básico para los otros tres. De ahí que sea necesario el conocer las predicciones de crecimiento de la población humana, y no menos el estimar la confianza que merecen.

Son fundamentales al respecto los estudios demográficos llevados a cabo por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. Han sido cuatro ya los intentos realizados en el curso de los últimos veinte años con miras a compendiar las diferentes estadísticas mundiales, a fin de llegar a una predicción válida de las tendencias de crecimiento demográfico. La última vez fue en 1973^[5].

Como punto de partida se conocen dos magnitudes: la población mundial actual (algo más de cuatro mil millones de personas) y el ritmo de crecimiento. Durante varios años éste ha sido del 2 por ciento anual, lo cual supone una duplicación del censo inicial al cabo de treinta y cinco años.

Sin embargo, considerada en una escala temporal de muchos siglos, la tasa de crecimiento de la población ha venido incrementándose continuamente. Ello ha llevado a exposiciones tales como la de Von Hoerner, que revela que el mejor ajuste matemático a la curva de aumento de población hasta 1970, llevaría a una verdadera «explosión»: a un número infinito de personas dentro de unos cincuenta años^[6]. Este estudio es de gran valor como toque de atención acerca del problema entrañado por el crecimiento, aunque se comprende mejor, y es de más impacto, como declaración fundada de que en el curso de los próximos decenios la tasa de crecimiento debe reducirse, y de manera radical. Para los fines de este libro yo me serviré de las cifras de prospección demográfica de las Naciones Unidas (más conservadoras). La situación es ya de por sí suficientemente grave y no hace falta exagerarla.

La población mundial total en 1980 ha sido estimada por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas en cada una de sus cuatro compilaciones, iniciadas a principios de la década de 1950. Es significativo que en cada una de las sucesivas revisiones la estimación acordada para 1980 haya sido elevada. A medida que la fecha se acerca y las extrapolaciones pueden realizarse sobre una base más exacta e información más precisa, el Departamento constata que sus estimaciones previas han sido demasiado bajas.

Es procedente el desentrañar asimismo qué clase y grado de sesgos pueden haberse introducido en los cálculos del Departamento a consecuencia de inevitables presiones políticas. En el curso de los últimos años han sido numerosas las naciones que han introducido medidas varias de control demográfico, aplicadas bien mediante soborno (como en la India, donde la recompensa que recibe el joven que se somete a una vasectomía irreversible asciende a la cuarta parte de su salario anual), bien por presión social y gubernamental (como en China, donde están prohibidos los matrimonios precoces y le son negados los beneficios y asistencias sociales al tercer hijo tenido por la pareja). Cuando un Estado miembro de las Naciones Unidas notifica al Departamento que semejante programa se halla en vigencia, poco le cabe a éste sino dar la declaración por válida. Sus predicciones, por tanto, reflejan generalmente el supuesto de que los programas de control demográfico serán tan eficaces como se ha previsto. Los riesgos implícitos en semejante suposición quedaron claramente ilustrados en 1977, cuando el control de la población pasó al plano político y el gobierno que lo había propugnado fue derrotado en las elecciones tras largos años de ejercicio. Y el caso es que incluso contando con programas adecuados y efectivos de control demográfico en las naciones subdesarrolladas, el Departamento nos informa de que vamos a ser unos seis mil quinientos millones los pobladores de la Tierra en el año 2000. Durante este último cuarto de siglo el incremento será relativamente escaso en las naciones desarrolladas, en tanto que se producirá casi por entero en las más pobres. El Sureste asiático, tan sólo, contará para el año 2000 con más habitantes que el propio mundo en 1970. En general, el tercio de la población humana radicado en las naciones desarrolladas cuenta con una medida

adecuada en lo que se refiere a cuidados médicos, educación, alimentos y posesiones materiales, aunque muchas de las naciones más grandes adolecen de graves problemas de desigualdad interna. Para fines de siglo, y de acuerdo nuevamente con las estimaciones de las Naciones Unidas, será aún menor la fracción humana establecida en los países desarrollados. El mundo del año 2000 será, pues, más pobre y más hambriento que el actual.

Este aumento de la población parece contradictorio, si reparamos en que las cifras ofrecidas por el Departamento reflejan un supuesto optimista acerca de los programas de control demográfico. Sin embargo, no hay tal contradicción: el incremento previsto será resultado de una distorsión en la estructura social de las naciones más pobres en cuanto a la edad de sus componentes. Los progresos médicos han llegado a ellas hace tan poco que actualmente la mayor parte de la población la componen los jóvenes no llegados aún a la edad de procrear. Incluso si en su momento producen sólo dos hijos por pareja, el incremento demográfico será notable en sus países en el curso de la próxima generación.

Conscientes de ello, debemos reconocer asimismo que para evitar esa súbita plétora humana en el curso de los próximos veinticinco años sería necesario adoptar medidas violentas. No bastaría, desde luego, el limitar a dos hijos la proliferación familiar; se haría probablemente indispensable el recurrir a la esterilización masiva y forzada.

Los estudios realizados por las Naciones Unidas daban por correcto el supuesto de que la tasa de crecimiento demográfico en el mundo descendería hacia finales de siglo; por otra parte, apenas si se atreven a predecir qué ocurrirá después. Con todo, si extrapolamos sus gráficas descubrimos que la cota de los diez mil millones será alcanzada en 2035. Los más de los «nuevos» pertenecerán a las naciones subdesarrolladas y habrán nacido en la pobreza. Procede recordar que ésta es la «buena» noticia basada en la idea de que los programas de control poblacional tendrán éxito.

En esta línea de razonamiento, a medida que transcurra el tiempo, la fracción correspondiente a Estados Unidos en el total mundial irá haciéndose cada vez más insignificante. Para el cambio de siglo sólo una persona de cada veinticinco será estadounidense y sólo uno de cada cincuenta nacimientos se producirá en ese país. En lo que se refiere a la situación demográfica mundial, pues, carece de importancia y es enteramente irrelevante que nuestra tasa de crecimiento propia sea baja.

Aunque me he valido de las cifras de las Naciones Unidas para estimar el curso seguido durante los próximos decenios por la población mundial, dos razones introducen en el procedimiento serias dudas: las cifras de las Naciones Unidas se basan en el supuesto de que la tasa de crecimiento demográfico se reducirá drásticamente en los países pobres, en parte debido a la industrialización. Existen, no obstante, grandes obstáculos para que efectivamente tenga lugar en esos lugares esa esperada revolución industrial. En segundo lugar, las Naciones Unidas se han

revelado excesivamente modestas en sus estimaciones previas; puede, por tanto, que también ahora. Y en tercero, el lograr una inflexión descendente en ese ritmo de crecimiento supone el invertir una tendencia^[7] vigente durante por lo menos 2.000 años, y puede que ello no sea fácil^[8].

En los países ricos, la comodidad, abundancia y libertad de opción disfrutadas por los más se han conseguido sólo mediante una elevada tasa de consumo energético. Obtenemos alimentos eficientemente, pero sólo invirtiendo considerable energía en la producción de abonos químicos^[9]; nuestros hogares cuentan con luz, corriente y regulación de temperatura ambiental a expensas de la energía; nuestra libertad de desplazamiento depende de la combustión anual de una cantidad de materia que supera con mucho nuestro propio peso.

En Estados Unidos venimos usando de la energía en todas sus formas a razón de unos 10.000 vatios por persona; hasta el advenimiento de la crisis de 1973-74 esta tasa de consumo se doblaba cada ocho años. Pero no todo ese gasto de energía es necesario; sin embargo, nuestra experiencia con ocasión de las restricciones de gasolina impuestas en 1974 nos ha revelado que no puede ahorrarse mucha energía sin que ello conlleve una notable reducción en la libertad de movimientos del individuo. Si la carestía energética se hace crónica, no hemos de olvidar lo que ello significa y no sólo en cuanto a incomodidad y molestia, sino en términos de mera supervivencia en el marco de las naciones pobres. Procede reconocer, por consiguiente, que las medidas de conservación son a lo más de carácter paliativo y que nuestra necesidad de hallar nuevas fuentes de energía seguirá en aumento.

En la actualidad todos somos conscientes, en Estados Unidos, de que se hace imperativa la conservación de la energía. Han sido numerosos ya los programas y planes experimentados en este sentido, pero los expertos dedicados a predecir el consumo futuro de energía apuntan que, en el mejor de los casos, se logrará tan sólo una tasa de aumento inferior a la existente hasta 1974^[10], ^[11].

Quinientos mil millones de toneladas de petróleo y productos derivados son quemadas anualmente en Estados Unidos y nuestro consumo energético total asciende a unas dos veces y media más^[12]. La elevación del nivel de vida de las naciones subdesarrolladas a la altura del que disfrutamos nosotros exigiría otro tanto.

Si todos los habitantes de la Tierra gastaran energía a igual ritmo que nosotros y la obtuvieran en base a las mismas materias primas, es decir, petróleo, carbón, gas y demás fuentes, el total comprobado de recursos petrolíferos mundiales se agotaría en un plazo de cuatro años. Incluso mediante la aplicación de un riguroso programa de conservación, el consumo seguiría siendo tan elevado que si todo el mundo disfrutara de un nivel de vida semejante al nuestro y la energía procediera del petróleo, para el cambio de siglo se habría llegado a una situación tal que las reservas de hidrocarburos estarían totalmente exhaustas en seis meses.

Hay, claro está, grandes cantidades de petróleo no incluidas aún en la lista de recursos «comprobados»; su obtención, no obstante, impondría auténticos estragos en

el medio ambiente. En Estados Unidos, donde los grupos ambientalistas o ecologistas iniciaran su movimiento, que ha alcanzado ya considerable impulso, existe honda preocupación por el daño que la explotación de fuentes submarinas, remotas y de bajo grado inflige al medio natural. En lo tocante al petróleo, significa la presencia de torres de perforación en el canal de Santa Bárbara y los riesgos implícitos en la controvertida conducción transalaskiana; en lo que se refiere a hidrocarburos pesados de origen pizarroso o de carbón, supone la devastadora minería a cielo abierto; y si se trata de combustibles nucleares, la extracción y trituración de rocas superficiales en extensas zonas de la orografía occidental.

La base de la revolución industrial ha sido hasta ahora la disponibilidad de abundantes fuentes de energía a bajo precio. Ahora, cuando los costes de ésta se incrementan aceleradamente, la inflación y estancamiento económico de las naciones «ricas» es ya un hecho. En un solo año, 1973-74, el precio mundial del crudo se ha cuadruplicado^[13]. Este simple aumento le ha costado a la economía estadounidense más de veinte mil millones de dólares cada año sucesivo.

En los países pobres y densamente poblados la elevación de precios ha tenido consecuencias más graves: a fin de obtener suficientes alimentos para sacar a su masiva población de niveles de hambre, estos países deben pasar rápidamente a una agricultura intensiva. Esta conversión exige una producción de abonos y fertilizantes enormemente incrementada, lo cual a su vez demanda energía^[14].

Hasta el momento la energía nuclear ha satisfecho sólo una fracción menor de nuestras necesidades energéticas. A medida que los combustibles fósiles se hacen cada vez más escasos y caros, la mayoría de los expertos piensan que nos veremos forzados a contar crecientemente con la asistencia de la energía atómica. Las perspectivas no son, desde luego, atractivas: el estudio preparado por Associated Universities, Inc., ha previsto que en el plazo de tres decenios la mayor parte de nuestra energía eléctrica provendrá de reactores rápidos con moderadores de metal líquido^[15]. El problema del desecho de residuos radiactivos no será de fácil solución. Además, semejantes reactores producirán plutonio, con el cual se estaría a un paso de obtener fácilmente una gran cantidad de bombas atómicas. Parece lógico que, en este caso, no habría nación, independientemente de sus dimensiones económicas o políticas, que no hiciera acopio de un verdadero arsenal nuclear; y hay que añadir que ello ocurriría al margen de su estabilidad de gobierno. Grandes cantidades de material fisionable serían movidas de un lado para otro, y casi inevitablemente parte del mismo sería interceptado por grupos terroristas^[16].

Durante muchos años hemos contemplado la fusión nuclear como fuente limpia de energía; sin embargo, tras veinte años de investigaciones y miles de millones de dólares invertidos no ha habido laboratorio alguno que haya dado prueba de ello. A medida que los conocimientos al respecto han ido aumentando, tanto más evidente se ha hecho que la fusión nuclear dista de ser una auténtica fuente energética limpia, entendiéndose por ello aquella que nos libra de los desechos radiactivos: también los

produce. Personalmente no creo que el trabajo dedicado haya sido una pérdida de tiempo, pero es importante darse cuenta de que la manipulación segura y eficiente de la fusión nuclear requiere una tecnología mucho más avanzada y problemática incluso que todo lo que se sugiere en este libro.

La energía solar representaría ciertamente una buena alternativa y la mejor solución a nuestros problemas energéticos, siempre, claro está, que estuviera disponible durante veinticuatro horas al día y que permaneciera en todo momento libre de interferencias causadas por las nubes. No es cuestión de desecharla sin más, es cierto, pero sí de admitir que es muy difícil el llevarla a la superficie de la Tierra cuando nos hace falta. En resumen, nuestra esperanza de mejora del nivel de vida de nuestro propio país y de extensión de dicho nivel a las naciones subdesarrolladas depende del hallazgo de una fuente de energía barata y universalmente asequible. Si seguimos atendiendo con inquietud y fundada preocupación al medio ambiente en que estamos insertos, esta fuente de energía debiera hallarse libre de contaminación y accesible sin tener que recurrir al asolador estragamiento de la Tierra.

Podría argüirse que en los países más desarrollados la aminoración de la tasa de crecimiento en lo tocante al consumo energético podría lograrse sin excesiva dificultad ni renunciaciones apreciables; puede que ello sea verdad, aunque me asalta la incómoda impresión de que acaso exista cierta relación entre la escasez energética, los incrementos de precio y los graves problemas económicos actuales en los países industrializados y grandes consumidores de energía. En aquellos que no han alcanzado aún ese nivel, es decir, donde la revolución industrial está todavía por producirse, los rápidos incrementos de la tasa de consumo son probablemente condición necesaria para su desarrollo. Para lograr el establecimiento de una saneada economía mundial puede que sea necesario, por consiguiente, suponer que las tasas de crecimiento hasta hoy constatadas (de un 7 por ciento aproximadamente en cuanto a la energía) tendrán que continuar. Von Hoerner ha señalado que, de ser éste el caso, la energía que trasmitiremos a la biosfera dentro de ochenta y cinco años será suficiente para aumentar la temperatura media de la superficie de la Tierra en un grado centígrado^[17]. Y eso es suficiente para provocar profundos cambios climáticos, de pluviometría, y hasta en el nivel de agua de los océanos. Algunos geólogos opinan, al fin y al cabo, que las glaciaciones de tiempos remotos fueron causadas por cambios de temperatura no mayores que el mencionado.

Creo que Von Hoerner acierta en lo fundamental. Podemos proceder con nuestras propias estimaciones independientes y, a la postre, abocar a resultados similares. Valiéndonos nuevamente de la proyección «optimistas» de las Naciones Unidas, para el año 2060 seremos unos trece mil millones de habitantes en la Tierra. Si para entonces las grandes discrepancias de riqueza entre las naciones se han visto en cierto modo y medida reducidas, de manera que todos estemos consumiendo energía a un ritmo equiparable, la tasa máxima tolerable resulta ser mayor que la nuestra en sólo un 3 por ciento por año de crecimiento per capita. El límite «térmico» se revela, pues,

real. Puede que lográramos evitarlo, durante algún tiempo, instalando espejos que cubrieran gran parte de la superficie de la Tierra con objeto de reducir la cantidad total de energía solar absorbida. Pero la medida carecería de futuro: cincuenta años más y estaríamos enviando a la biosfera un diez por ciento más que el calor recibido del Sol. Un crecimiento continuo del consumo energético en la superficie de la Tierra es, por tanto, incluso si la tasa de su incremento se modera, uno de los «absurdos» de que Schumacher habla^[18].

El profesor Heilbroner ha estudiado las consecuencias de las limitaciones de energía y materias primas recién discutidas, en relación con el desarrollo humano desde el punto de vista político y sociológico^[19]. Opina, a mi juicio correctamente, que las gentes seguirán guiándose por los mismos deseos, instintos y temores que han venido dominando la historia del Hombre hasta nuestros días. Desecha la idea de detener la revolución industrial en su nivel presente: «...Las polémicas encendidas en contra del crecimiento no son sino ejercicios fútiles. Aún peor, puede que se orienten en la dirección equivocada... En las zonas retrasadas, esa aguda miseria que es fuente potencial de tanto trastorno internacional sólo puede ser remediada mediante la introducción de rápidas mejoras, inclusive... servicios sanitarios, educación, transporte, producción de abonos, etc.».

Heilbroner se revela pesimista sobre las perspectivas de que se produzca un extenso cambio social bien en el sistema capitalista bien en el socialista: «Nos hemos dado cuenta de que la racionalidad tiene sus límites en lo tocante al condicionamiento artificial de un cambio social, y de que estos límites se hallan mucho más próximos de lo que habíamos pensado... también, de que el desarrollo no consigue determinadas metas deseadas ni suprime tendencias no deseadas». En su opinión, de resultas de la creciente escasez de energía y materiales, «...lo probable es que se extienda un clima de “apetencia de bienes”. Y en él tendría que producirse una reorganización a gran escala de la participación social, en la peor atmósfera posible, pues cada persona trataría de conservar su posición en un mundo económico contractivo».

En estas condiciones, Heilbroner teme que el riesgo de una guerra nuclear aumentará notablemente en el curso de los próximos decenios; a causa de la limitación de energía y materias primas, «...el deterioro humano masivo en las regiones más deprimidas solamente puede evitarse con la redistribución del producto mundial y de la energía existente en una escala inmensamente mayor de lo que hasta el presente ha sido siquiera contemplado... y tales transferencias internacionales sin precedentes apenas se pueden imaginar, salvo en presencia de una gran amenaza.

»Con todo, dos consideraciones aportan nueva credibilidad a la posibilidad de terrorismo nuclear: las armas atómicas hacen por primera vez posible semejante acción y las “guerras de redistribución” pueden ser el último recurso de las naciones pobres con la esperanza de remediar su condición».

Incluso si no tiene lugar una confrontación nuclear y la humanidad sigue

avanzando a trancas y barrancas durante dos o tres generaciones, Heilbroner estima que el límite de la emisión de calor entraña: «...un reto de igual magnitud para el socialismo que para el capitalismo industriales, el peligro de comprometer, y acaso dismantelar el modo de producción que ha constituido el logro máspreciado de ambos sistemas. Además, ese modo de producción debe ser abandonado en un abrir y cerrar de ojos, según se miden las secuencias históricas».

Heilbroner señala que incluso en los decenios inmediatamente venideros nos veremos forzados a gobiernos crecientemente autoritarios: «...el paso por el embudo que nos espera puede que se logre sólo bajo gobiernos capaces de imponer obediencia de manera mucho más eficaz que en una atmósfera democrática... Los dirigentes fuertes proporcionan un sentimiento o sensación de bienestar psicológico que no dan los débiles, de modo que en momentos de crisis y apreturas se eleva la demanda de un gobierno férreo». En fin, el profesor Heilbroner llega a la conclusión de que la libertad intelectual de expresión es casi seguro que se sacrifique a las exigencias determinadas por las limitaciones de energía y materias primas: «...supongamos... que sólo un régimen autoritario, o posiblemente sólo uno revolucionario, sea capaz de montar la inmensa tarea de reorganización social necesaria para evitar la catástrofe..., ¿acaso no considerarían impertinente, y hasta onerosa para la gran mayoría la “autoindulgencia” de la libre e irrefrenada expresión intelectual, las gentes de semejante sociedad amenazada?»

Existe, por supuesto, una alternativa frente al crecimiento industrial. Es concebible que después de una serie de catástrofes la humanidad adoptará una forma de sociedad estática. Esta alternativa, civilización de «estado inamovible», fue considerada por J. W. Forrester, director del equipo de análisis de sistemas del Instituto de Tecnología de Massachusetts, que, auspiciado por el Club de Roma, publicó el documento «Limits to Growth» (Límites al Crecimiento)^[20]. Por el hecho de haber llamado la atención sobre las consecuencias de un crecimiento exponencial en un medio finito, este grupo, a mi entender, desempeñó un gran servicio. Algunas deficiencias de detalle del modelo informático utilizado son comparativamente insignificantes. Forrester no veía más alternativa viable que un rápido cambio de nuestra civilización actual a la modalidad de estado constante. Heilbroner llega a una conclusión similar: «En nuestro descubrimiento de culturas “primitivas” que viven su historia de modo atemporal puede que hayamos dado con la más importante lección objetiva para el hombre futuro».

Un orden mundial de estado constante no tiene por qué ser primitivo; por ejemplo, el mundo inca del Perú previo a la Conquista reflejaba una sociedad rígidamente estructurada y dictatorial que satisfacía la condición de estado constante. El campesino del Imperio inca vivía su vida con todos sus deberes y responsabilidades rígidamente especificados, y al morir dejaba un mundo prácticamente idéntico al que había hallado al ingresar en él. Casi todas las sociedades estáticas se ven obligadas a suprimir, como autodefensa, las ideas nuevas.

En palabras de Heilbroner: «La búsqueda de conocimientos científicos, el deleite en la herejía intelectual, la libertad de ordenar a placer la vida propia no es fácil que encuentren lugar en una sociedad estática orientada conforme a la tradición...».

El profesor Heilbroner es franco al admitir que «...muchas de las conclusiones de este libro me han causado a mí mismo gran dolor... las perspectivas humanas, tal como las veo, no concuerdan ciertamente con mis preferencias e intereses». Y finalmente, «si, por tanto, con la pregunta, ¿hay esperanzas para el hombre?, queremos saber si es posible enfrentar los retos del futuro sin pagar por ello un precio dramático, la respuesta debe ser: no, no existe tal esperanza».

3

EL PROBLEMA PLANETARIO

El aumento exponencial de la población en el que no es ya sólo un planeta finito, sino agudamente limitado, hará con casi toda seguridad que los próximos decenios en la Tierra se revelen no sólo muy difíciles, puede que hasta catastróficos. En Estados Unidos, y pese al amortiguamiento debido a sus grandes riquezas, empezamos a notar los efectos del desempleo, de una rápida inflación y del conflicto existente entre eficiencia industrial y protección del ambiente.

Si examinamos con detalle las tasas de crecimiento demográfico de cada uno de los países de este mundo, reparamos en que la estabilidad ha sido alcanzada en aquellas zonas cuya riqueza, basada en un elevado nivel de tecnología, proviene de un enorme consumo energético: América del Norte, Europa y Japón. Para mantener esa tasa de opulencia, esos países deben quemar combustibles fósiles a un ritmo alarmante. Entre el golfo Pérsico y el Japón media una interminable cadena de grandes petroleros, ¡cuyas tripulaciones pueden ver indefectiblemente el humo de las chimeneas del que les sigue!^[1]. En Estados Unidos, ese insaciable apetito de hidrocarburos es aún mayor.

En tiempos pasados la guerra y las plagas eran dos importantes factores de estabilidad demográfica. En América del Sur, África y la India, donde la pobreza sigue extendida y los progresos llegan de manera muy lenta, las tasas de crecimiento de la población continúan siendo de orden explosivo. La pobreza y la ignorancia son compañeros de viaje, y la decisión de limitar el tamaño de las familias puede tomarse con más facilidad en el seno de aquellas liberadas de la pesada labor manual, con el cuidado sanitario de sus pequeños asegurado y suficientemente acomodadas para poder dedicar el tiempo de sus hijos al campo de la educación.

Parece que la clave de la limitación demográfica se encuentra en la riqueza. Por otra parte, debemos ver con cierta aprensión, en cuanto a su exactitud, las estimaciones de las Naciones Unidas. Aunque predicen la existencia de una población tres veces mayor en el curso de una generación, se basan en el supuesto de que las tasas de aumento se reducirán drásticamente en las naciones pobres antes de concluido ese plazo. Pero, si no hay modo de lograr que los países subdesarrollados incrementen notablemente sus recursos, la correspondiente caída de esas tasas demográficas puede que no se produzcan sino por vía catastrófica.

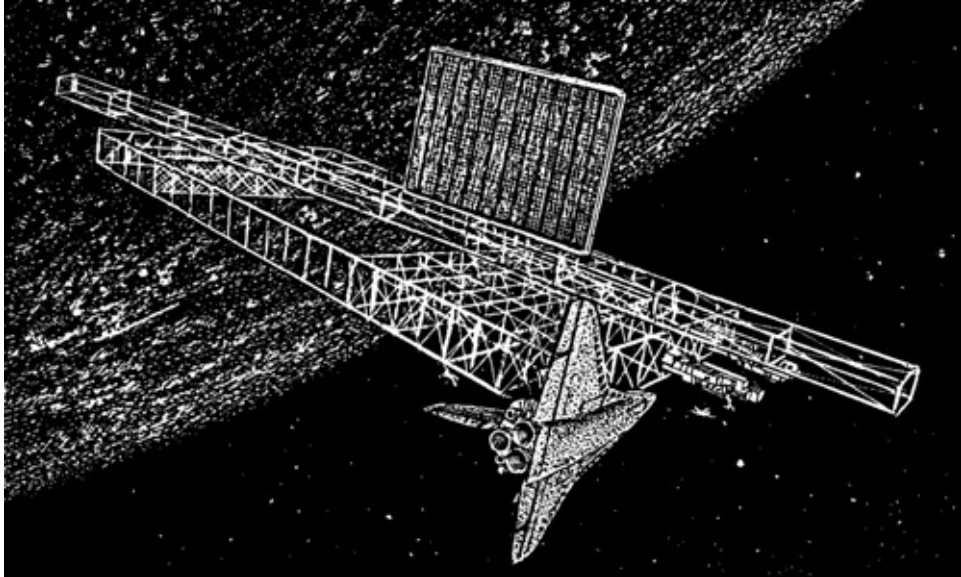
Si queremos en verdad ese descenso, y por medios pacíficos, parece que el mejor procedimiento es precisamente atacar la pobreza y la ignorancia; debemos incrementar la riqueza de los países subdesarrollados, y no sólo en un pequeño porcentaje anual, sino de forma espectacular, con factores de diez o cien. Y no lo lograremos mediante sencillos programas de reparto de excedentes; no nos sobra tanto para ello, y la evidencia histórica revela que esas modestas iniciativas suelen ser

más que absorbidas por los propios incrementos de población. Las zonas del mundo que sufren los peores problemas son a menudo también las que carecen de recursos energéticos o se hallan situadas en climas miserables, de modo que sus perspectivas de industrialización a largo plazo no justifican el menor optimismo.

Hemos de encontrar la manera de obviar de algún modo esas limitaciones y de desencadenar una reacción en cadena en la producción de nueva riqueza, reacción que una vez puesta en marcha debe automantenerse en lo sucesivo, a la vez que va ampliándose. Y no será de gran efecto, a menos que el tiempo de duplicación de su producto iguale el de repoblamiento de las zonas más pobres: dieciocho años, lo que significa acción muy acelerada.

Vivimos un período en el que los cambios técnicos se suceden a gran velocidad, y es frecuente que los resultados sean de carácter mixto, cuando no francamente adversos. Pero no podemos permanecer a la expectativa: no hacer nada representa a su vez una actitud negativa que condena a millones de nuestros congéneres a una muerte cierta por inanición. ¿Qué podemos hacer para invertir la tendencia actual hacia una mayor pobreza y hambre generalizadas?

Hace ya algunos años que Gerald Feinberg abordó el tema del cambio técnico en un libro subtítulo *Mankind's Search for Long-Range Goals*^[2] (Objetivos de la humanidad a largo plazo). Suscribo sus palabras en sólo dos puntos: generalmente no «buscamos» objetivos; la mayoría de las personas tienen ya bastante que hacer viviendo sus vidas, de modo que dejan todas las cuestiones del futuro remoto al azar, quizá con la vaga esperanza de que «ya saldrá algo». En segundo lugar, Feinberg sugería la conveniencia de que los temas de verdadera trascendencia sean sometidos a la mayor fracción posible de la población humana para su discusión, valoración y debate. Se refería particularmente a aquellos potencialmente tan explosivos como la modificación o alteración genética artificial, la alteración de la personalidad mediante agentes químicos o el incremento de la longevidad. La idea de que los temas fundamentales sean discutidos por muchos y no sólo por una «élite» poderosa es, en mi opinión, excelente: durante el último decenio ha sido llevada a la práctica en Estados Unidos por parte de asociaciones cívicas voluntarias interesadas en la planificación familiar, protección del medio ambiente y conservacionistas de la tierra. Debemos reconocer, no obstante, que una determinada población ha de ser razonablemente acomodada, bien educada y culta para hallar tiempo y ganas que dedicar a semejantes tareas. En aquellas partes del mundo donde esos problemas se presentan con cruel gravedad, casi nadie puede permitirse el lujo de pensar más allá de su siguiente comida.



Laboratorio espacial, según una idea inicial de NASA

Esta es una de las raras ocasiones en la historia de la humanidad en que una nueva opción tecnológica es sometida deliberadamente a amplio debate público antes, no después, de que la decisión al respecto haya sido tomada. Lo prefiero así: creo que el concepto de humanización del espacio posee valores propios, puede superar cualquier análisis numérico y el más riguroso debate en términos lógicos. Apoyarlo no demanda acto alguno de fe, sólo buena disposición para examinar con una mente abierta una serie de proposiciones fuera de lo común con las que no estamos en general familiarizados. Acorde con los criterios restrictivos de Feinberg, creo que los objetivos a establecer a largo plazo, en lo tocante a la población del espacio, no deberían ser otros que aquellos en que pudiera convenir el hombre dotado simplemente de buena voluntad para sus semejantes. Entiendo que los que apunto a continuación satisfacen este requisito y que debieran convertirse en nuestras metas prioritarias, por razones humanitarias y de propio interés personal. Y no creo que esos dos criterios deban ser en modo alguno conflictivos.

1. Desterrar el hambre y la miseria de todos los pueblos de la Tierra.
2. Hallar un espacio vital de elevada calidad para una población mundial que doblará su número en el plazo de cuarenta años y se triplicará en otros treinta, incluso si los cálculos más optimistas sobre disminución de la tasa demográfica se demuestran correctos.
3. Conseguir el control demográfico sin que medie para ello ninguna guerra, hambre, dictadura o coerción.
4. Aumentar la libertad individual y ampliar el espectro de opciones asequibles al ser humano.

Desengañémonos, en este país iremos paulatinamente perdiendo importancia a medida que transcurren los años; no sólo por la disminución de nuestro número (sólo

un 4 por ciento de la población mundial para el año 2000), sino también debido a que las limitaciones en cuanto a energía y materias primas pondrán freno a nuestro enriquecimiento. ¿No es razonable, por tanto, sugerir un quinto objetivo, de cariz acaso más parroquial? Conscientes de nuestras limitaciones, ¿no sería oportuno buscarle a este país un papel que pudiera revelarse beneficioso para la humanidad toda y al mismo tiempo beneficiar a nuestras gentes, a nuestra economía?

Considerando las cuatro primeras metas en relación con la quinta, aparece claro que carecemos de habilidad especial que exportar en lo tocante a sistemas de gobierno. Los más de nosotros aplaudimos fervorosamente la modalidad democrática de gobierno, pero no se trasplanta con facilidad: gran parte del mundo se ha apresurado a imitar nuestra tecnología y nuestros sistemas de productividad; pero no se ha constatado prisa alguna similar en cuanto a que hayan imitado nuestra forma de gobierno. Debemos reconocer, por otra parte, que otros ordenamientos han funcionado asimismo, quizá no mucho peor que el nuestro, hasta en sociedades cabalmente industriales. Tengo el convencimiento de que la fortuna y el ocio asequibles a un gran segmento de la población constituyen fuerzas poderosas en favor de formas de gobierno más democráticas; pero sospecho que si la raza humana adquiere un notable y general bienestar, y con ello un aumento en libertades humanas, lo hará en el marco de numerosas formas de gobierno, exteriormente distintas, y con muchas de las arengas hoy polémicas todavía en uso.

¿Conocemos la vía de un crecimiento exponencial de la riqueza, susceptible de extenderse durante muchos siglos y compartible por todos? Si podemos señalarla, y aún más, abrir la marcha en virtud de técnicas en las que somos reconocidos los primeros, como nación habremos logrado algo mucho más digno de contemplar con orgullo que toda preponderancia o imperio desvanecidos. Para conseguir semejante crecimiento exponencial en la riqueza y, de ahí, la oportunidad de alcanzar los cuatro grandes objetivos antes mencionados, necesitamos:

1. Energía ilimitada a bajo coste, asequible a todos y no sólo a aquellas naciones favorecidas con grandes reservas de combustible nuclear o fósil.
2. Nuevo e ilimitado espacio de mejor calidad que el actualmente disponible para la mayor parte de los humanos.
3. Fuente ilimitada de materias primas, obtenibles sin que medie muerte, robo o contaminación.

Nada en nuestro sistema solar es verdaderamente ilimitado, desde luego; nada puede extenderse sin freno; pero una tasa de crecimiento exponencial de la riqueza puede ser racionalmente considerada si entendemos que puede mantenerse durante muchos centenares de años. Es enorme la diferencia existente entre un límite claro que se cierne sobre nosotros en cuestión de años o decenios, y en un momento en que los más nos encontramos aún en la más inicua pobreza, y aquél, en cambio,

emplazado para dentro de centenares o miles de años, en condiciones de elevada prosperidad y educación universal de una población humana, pues, generalmente próspera y culta.

Estamos tan acostumbrados a vivir en la superficie de un planeta que nos parece de lesa natura el abordar siquiera el pensamiento de proseguir nuestras actividades normales en cualquier otro emplazamiento. Con todo, si la raza humana ha adquirido actualmente la capacidad técnica de llevar a cabo algunas de sus actividades industriales en el espacio, lícito es proponer que nos dediquemos ahora al interesante ejercicio mental de la «planetología comparada». Deberíamos preguntarnos críticamente y recurriendo a los números, si el mejor emplazamiento de una sociedad industrialmente en progreso y en creciente avance es la Tierra, la Luna, Marte, otro planeta o algo totalmente distinto. Sorprendentemente, la respuesta es ineludible: el mejor emplazamiento es «algo totalmente distinto».

En el curso de una mesa redonda celebrada con varios entrevistadores de la televisión, a Isaac Asimov y a mí nos fue preguntado por qué, indefectiblemente, ningún autor de ciencia ficción ha apuntado siquiera en esa dirección. La respuesta del doctor Asimov queda reflejada en una frase que ha hecho fortuna y a la que recurre desde entonces con gusto: «chauvinismo planetario».

¿Qué requiere el crecimiento exponencial de la riqueza? Tres cosas: energía, superficie y materias primas. La pregunta siguiente es: ¿en qué medida son necesarias para que prosiga nuestro desarrollo? Supongamos que una población humana universalmente acomodada, rica en energía, educada, presenta una tasa de crecimiento de $1/6$ en el plazo de una vida humana. Esta tasa, ciertamente muy modesta y considerablemente menor que la actual, supondría un factor total de crecimiento de 20.000 en el plazo de 5.000 años. Ahora mismo la tasa es, desde luego, diez veces mayor.

La conclusión a que nos permiten llegar estos hechos es que para conseguir un crecimiento exponencial de la riqueza en un plazo que haga posible una verdadera diferencia cualitativa en la historia del hombre, los factores necesarios en lo tocante a energía, terreno para asentamiento y materias primas no son de dos, cuatro o incluso diez: son por lo menos del orden del millar y, probablemente, de cinco cifras. Y es con esta información en la mente que debemos considerar la Tierra —y sus «competidores»— a la hora de contemplar el emplazamiento de una gran civilización industrial.

Los límites energéticos de nuestro planeta han sido discutidos en el primer capítulo. Incluso si una fuente ignota e inagotable de energía fuere descubierta y explotada aquí, habremos alcanzado la barrera técnica en el plazo de una vida humana y media. Está claro que no podemos asentar una civilización industrial en expansión en un lugar sometido a tan corto plazo a una limitación tan fundamental.

Conocemos las disponibilidades de superficie de la Tierra; su geometría, como esfera en el espacio, hace que algunas zonas sean caldeadas moderadamente, otras

demasiado y unas terceras insuficientemente.

En principio, verdad es que podríamos hacer habitable toda la superficie del globo, inclusive la Antártida, y que podríamos botar numerosas colonias a los océanos. Los cambios resultantes en cuanto a la climatología serían profundos y entrañarían el riesgo de fundir el hielo de los casquetes polares precipitando el advenimiento de otra glaciación; de no haber otra alternativa, ése sería nuestro destino forzado. Los tiempos en que se disponía de buena tierra virgen con clima adecuado hace mucho que han pasado. Los Estados Unidos son ejemplo de país relativamente despoblado, conforme al patrón mundial; pero ya nuestro mayor crecimiento se produce en regiones (Arizona, Nuevo México y otras zonas desérticas) que no atraerían a nadie en ausencia de aparatos de climatización y demás acondicionadores modernos. En determinados lugares de California, antaño considerados muy deseables, la superpoblación ha llegado a extremos tales que una encuesta reciente reveló que aproximadamente un tercio de los californianos preferirían irse a vivir a cualquier otro Estado. Sin embargo, el ánimo de los Estados vecinos de escasa densidad de población (Oregón, Idaho y otros) es abiertamente hostil para con los emigrantes de California.

En Europa, Holanda se encuentra cerca del límite de saturación humana considerando su clima y temporada de cultivos. En gran parte de Asia es tan enorme la masificación, que el hecho de que sea allí precisamente donde es de esperar aún la mayor tasa de crecimiento demográfico tiñe de negro nuestro futuro.

Las perspectivas de colonización de otras superficies planetarias son poco atractivas. En primer lugar, el área total en juego es demasiado pequeña: la Luna y Marte suponen apenas una extensión semejante a la que ofrece la Tierra; pero ninguno de ellos cuenta con atmósfera. Además su gravedad es inadecuada para el mantenimiento de nuestros cuerpos en buenas condiciones de salud, y la Luna, por otra parte, presenta un período nocturno de catorce días ininterrumpidos, lo cual impondría a los colonos la necesidad de organizar sus actividades de manera acorde. Venus es un infierno suficientemente caliente para fundir determinados metales, y sería inhabitable a menos que se procediera a una intensa «terraformación», por el momento inasequible a nuestra capacidad. Pero incluso después de semejante conversión seguiría siendo insoportablemente caliente debido a su situación mucho más próxima al Sol que la de la Tierra. Por último, el área total de Venus, aproximadamente igual a la de nuestro planeta, supondría a la postre una extensión de nuestros límites de viabilidad —atendiendo a las tasas de crecimiento demográfico actuales— en tan sólo dos o tres decenios.

El abandono de la superficie planetaria requiere una gran energía propulsora y una exacta programación en el tiempo; por consiguiente resulta de logro difícil y muy caro. En la superficie planetaria somos los «gravitacionalmente poco favorecidos» en el seno de una profunda hondonada de energía potencial. Salir al espacio desde la Tierra equivale, desde el punto de vista de inversión energética, a ascender desde una

sima de 6.000 km de profundidad, es decir, una distancia más de seiscientos veces mayor que la altura del Everest. ¿Tiene sentido ascender con gran esfuerzo desde semejante agujero para derivar a través de una región rica en energía y materias primas e ir a parar laboriosamente, previo difícil y costoso descenso, a otro agujero, donde dichos recursos son de onerosa obtención y problemático empleo?

El establecimiento de una civilización industrial en una superficie planetaria presenta además otras desventajas:

Energía solar: En la Tierra es atenuada por la atmósfera, insegura a causa de la climatología e interrumpida cada noche por la propia rotación del planeta. El promedio de incidencia energética solar^[3] en los Estados Unidos en el transcurso de un año es de sólo 0.18 Kw/m². En el espacio libre y a una distancia no mayor que la de la Luna, pero lejos de ésta y de la Tierra, la energía solar es asequible en todo momento a razón de 1.4 Kw/m², es decir, casi diez veces más que en la superficie terrestre, y nunca restringida durante la noche.

Viajes y transportes: En un planeta provisto de atmósfera tienen lugar lenta y, en términos de consumo energético, costosamente. En el sistema de transporte estadounidense, aproximadamente la cuarta parte de la energía consumida es absorbida por la lucha contra la gravedad y la resistencia del aire. Esto supone un derroche de unas dos toneladas y media de petróleo al año por cada hombre, mujer y niño de nuestro país.

Confinamiento a una sola gravedad: Hasta el último decenio jamás se nos hubiera ocurrido que la industria pudiera proseguir en condiciones de gravitación nula; pero si semejante ocasión nos es brindada, huelga decir que será debidamente aprovechada. Toda actividad que implica la presencia de grandes objetos o pesos, de grúas, raíles, motores y otra maquinaria necesaria para manejar grandes masas en condiciones gravitatorias terrestres, se vería inconcebiblemente aligerada en ausencia de gravedad. Hay determinados procesos industriales, como por ejemplo, la obtención de grandes cristales perfectos, imposibles bajo gravedad uno y fáciles en gravedad cero. Y estos cristales pueden ser de diez a veinte veces más resistentes por unidad de tamaño que el mismo material menos perfecto morfológicamente.

El clima, el emplazamiento de las materias primas y el bajo costo del transporte marítimo tienden a hacer que existan grandes distancias, aquí en la Tierra, entre las zonas productoras y los núcleos de población. La consecuencia inmediata es que nos hemos atado a redes de interdependencia de muchos kilómetros de longitud. Quienquiera que interrumpa el curso de una de esas redes, cortando por ejemplo las fuentes de aprovisionamiento, de comida o de materiales varios, puede someter a una gran parte de la población a condiciones de precariedad y, por tanto, de tensión. Los ejemplos de tal amenaza son frecuentes y su resultado indefectiblemente el mismo: en el mejor de los casos, un aumento de los precios, un decremento de la producción y el sufrimiento general; en el peor —y esta situación se hace más y más visible a medida que nos hundimos en la crisis energética y alimentaria— nos aproximamos a

una sociedad mundial regida por la amenaza mutua: rehúsame el petróleo y te negaré la comida; imponme suficientes privaciones, y cuando ya no tenga nada que perder arriesgaré la vida misma en el último y desesperado esfuerzo; provee a mis necesidades o te quemaré con mis bombas de hidrógeno.

Los mismos factores de variabilidad climática, la necesidad del transporte marítimo para minimizar las inconveniencias causadas por la gravedad, y hasta los ciclos estacionales, tienden a determinar grandes concentraciones de población, que vive en aglomeraciones tan cuantiosas que está constantemente sujeta a los males de la desmesura: elevada tasa criminal, suciedad y enfermedades, enajenación social y corrupción política.

Hasta ahora hemos dado por sobrentendido que la existencia de grandes urbes era parte inevitable del proceso de la industrialización. Pero ¿y si fuera posible disponer un ambiente en el que los productos agrícolas pudieran obtenerse eficientemente en cualquier lugar y época del año? Un medio ambiente donde la energía fuera universalmente asequible en todo momento y en cantidades ilimitadas; donde el transporte resultara tan fácil y barato como el transoceánico, no ya entre determinados puntos en particular sino por doquier... Actualmente existe ya la posibilidad de concebir semejante ambiente, hecho que someteremos a examen en el próximo capítulo.

La disminución de las opciones abiertas a la humanidad: La solución a los problemas de la energía y de las materias primas no garantizaría la libertad y el bienestar para todos. Son demasiado numerosos los ejemplos de inhumanidad en nuestra historia para que pensemos de otra manera. Sin embargo, hasta hace poco hemos alimentado la esperanza de que, a pesar de los tropiezos, la raza humana, en su totalidad, batallaba en pro del establecimiento de unas condiciones de vida más decentes para todos, con mejor educación y más libertades. La ignorancia y crueldad de un Gengis Khan, el genio demencial y sádico de un Hitler eran, nos decíamos llenos de esperanza, tan sólo horrores temporales en el curso de un desarrollo conjunto hacia lo mejor. Pero mientras sigamos atados y limitados a la superficie de la Tierra, tendremos que enfrentarnos a una nueva clase de peligro: ¡hasta nuestros éxitos se revelarán fracasos! La supervivencia hará que debemos limitar voluntaria o coercitivamente nuestras propias opciones. Heilbroner ha dicho que estos límites serán seguramente más que físicos y que, a la larga, también la libertad de la mente humana tendrá que ser enjaezada, como lo fuera, drásticamente, en las sociedades primitivas basadas en un estatismo impuesto por un rígido código de convivencia.

Distamos ciertamente de haber hallado el mejor modo de convivencia y gobierno humanos; y no distamos menos de haber logrado para todos la libertad o de explorar siquiera superficialmente el maravilloso caudal de facilidades que encierra la mente humana. ¿Qué lugar cabe, empero, en una Tierra cada vez más masificada y más necesitada de energía y materiales, a la diversidad, a la experimentación, a los intentos de hallar nuevas formas de vida más satisfactorias? ¿Qué oportunidad se les

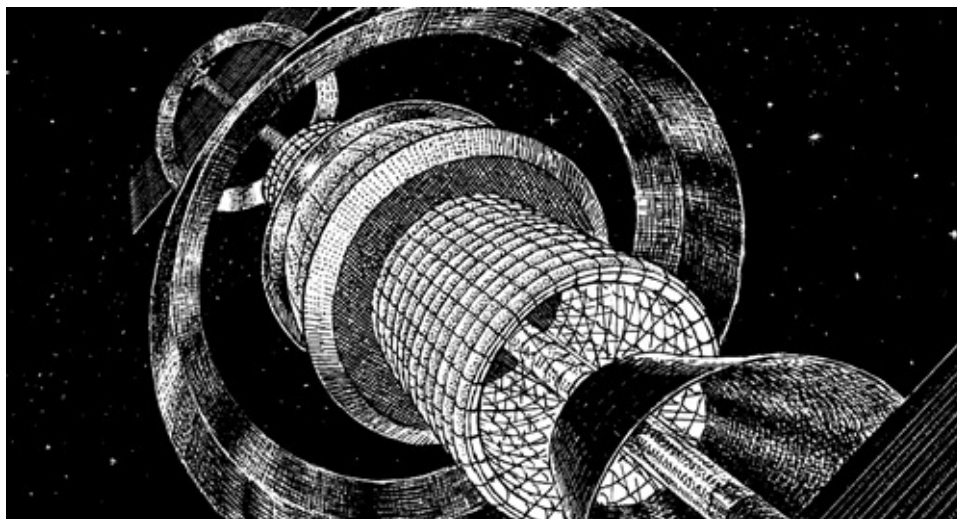
ofrece a los individuos emprendedores de crear sus propios micromundos de hogar y familia, como les fuera dado a otros en tiempos de la Nueva Frontera del Lejano Oeste Americano? Para mí, los viejos sueños de mejora, de cambio, de más libertad humana siguen siendo los más intensos y estimables; y lo que veo en un planeta como el nuestro, reducto y confín a la vez de la raza humana, es que muchos de esos sueños se verían para siempre cancelados.

4

NUEVOS HÁBITATS PARA LA HUMANIDAD

Biólogos y botánicos hablan de la «zona de distribución» de una especie: los límites, en la superficie de la Tierra, en que una especie puede sobrevivir, desarrollarse y reproducirse. Para nuestros antecesores del pasado remoto ese biotopo era el océano tropical; fue un notable avance en el desarrollo de los seres vivos el hecho de que los anfibios primitivos se convirtieran en respiradores de aire. Ahora, a punto de diseñar nuevos hábitats para el hombre, debemos establecer qué límites impone nuestra fisiología. Y al enfrentarnos con estas cuestiones es preciso que adoptemos una postura prudente con nuestras respuestas: no se trata de averiguar qué extremos son viables; qué cotas son alcanzables por atletas en plena forma, montañeros, astronautas o buceadores extraordinariamente dotados, sino por el hombre común de la calle. Y este criterio prudente debe regir la elección de nuestro primer emplazamiento, y por una razón práctica basada en simple economía: cuando se solicita de alguien que trabaje en arduas condiciones, en un clima miserable o expuesto a las enfermedades, justo es compensarle con una paga elevada, por lo dicho y por el hecho de tener que dejar a su familia. Los salarios abonados a los empleados y obreros del oleoducto de Alaska han tenido que ser muy elevados. También nuestras primeras colonias espaciales han de pagar su precio, y éste no ha de ser tal que les cierre el mercado. Han de ser lugares a los que acudan los trabajadores por propia voluntad y elección y adonde puedan ir asimismo con gusto sus familias: lugares donde ha de ser posible vivir con comodidad y trabajar y fundar una familia con toda naturalidad.

Desde este punto de vista moderado es preciso preguntarnos ahora qué constituye un ambiente humano; cuál es la «zona de distribución» del hombre como especie. Los más de nosotros estamos acostumbrados a vivir cerca del nivel del mar. Una importante fracción de la humanidad lo hace, en cambio, en zonas montañosas, en todos los continentes: a altitudes como las de Denver, Colorado, donde la presión es un 20% más baja, por ejemplo; y parte de esa fracción la constituyen las gentes de edad, a las cuales una presión ligeramente disminuida no parece molestarles.



Aproximación a Isla Uno. Los espejos recogen la luz solar para las granjas y hábitats protegidos. Los paneles inferiores irradian el calor sobrante.

La Agencia Federal de Aviación determina que, con objeto de que los pilotos conserven plena lucidez y reflejos, es obligatorio el uso de oxígeno en todo vuelo a altura superior a los 4.000 m que dure más de media hora. Como piloto de vuelo sin motor y con mi mascarilla de oxígeno siempre a mano, gusto de algunas bocanadas de éste cuando sobrevuelo las térmicas de la cadena occidental, a altitudes a menudo mayores. Los montañeros avezados ascienden sin oxígeno y a base de músculos a altitudes de hasta 8.000 m y más. Sin embargo, son pocas las comunidades humanas establecidas en cotas que doblen la de Denver, y en esas pocas, en los Andes e Himalayas, la población ha venido adaptándose mediante selección natural a lo largo de numerosas generaciones a una vida normal a baja presión. En los hábitats espaciales, donde las personas pueden ser requeridas para desempeñar un trabajo ligero de no más de dos horas de duración, ha de valerlos de directriz lo determinado por la Agencia Federal de Aviación; para mayor seguridad puede que incluso mantuviéramos una atmósfera rica en oxígeno, por lo menos como la de Denver (a unos 1.600 m de altura) en todas las zonas habitacionales.

Como se ha visto a través de los astronautas y los buceadores submarinos, el nitrógeno que integra la mayor parte de nuestra atmósfera no es usado por nuestro cuerpo. En la Tierra sirve para apagar las llamas e inhibir las explosiones, así como parte de nuestra cobertura de protección cósmica; pero no lo consumimos, salvo como elemento componente de algunos de nuestros alimentos. Curiosamente, tampoco lo usan muchas plantas; captan nitrógeno del suelo a través de sus raíces, pero no del aire. Si damos con una alternativa que evite las llamas y que a la vez nos proteja de los rayos cósmicos, el ambiente respiratorio humano podría consistir en una atmósfera de oxígeno con la misma presión que la de Denver. Aunque los astronautas han vivido en tales atmósferas durante varios días en tanto duraba su permanencia en la superficie lunar, será necesario proceder a ensayos generalizados antes de tener absoluta seguridad de que, a nivel masivo, no acarrearán problemas respiratorios.

En primer lugar fue considerado el aire, el medio sin el cual moriríamos en pocos minutos; seguidamente hay que tener en cuenta los límites de temperatura y clima viables para la vida del hombre. El margen es amplio: desde la profunda congelación del «Polo del frío» en Siberia hasta el calor del Sahara en verano. Sin embargo, en base a consideraciones tales como la comodidad de maniobra sin necesidad de vestimenta pesada, dichos límites se estrechan considerablemente: al margen de inactividad de nuestros termostatos, cuando contamos con ellos en la vivienda. Fuera de este margen disminuye nuestra eficacia, y la constante emigración hacia regiones con escasas variaciones climáticas sugiere que el deseo humano de comodidad y estabilidad termométrica está hondamente enraizado. Mejor será, pues, hacer planes ya en base a un margen térmico más bien reducido, compatible con la gran mayoría de actividades humanas, aunque a la vez posibilite las condiciones necesarias para la práctica de deportes como el esquí.

Con atmósfera y clima templados podemos sobrevivir uno o dos días; sin agua no podemos durar mucho más. Casi la totalidad de la masa de nuestro cuerpo se compone de agua, y en las regiones desérticas apenas si se cuenta con unos pocos litros adicionales de ese elemento por persona. Pero nosotros apuntamos a un entorno agradable, no árido, de manera que vamos a ser al respecto mucho más generosos: por el momento pensaremos en términos de varias toneladas de agua por persona.

En condiciones extremas cualquier persona puede pasarse varias semanas sin comida, pero en las comunidades espaciales no habrá dificultad alguna en proveer alimentos en mucha mayor abundancia y con mayor fiabilidad que actualmente en la mayor parte de la Tierra. El agua y la comida no constituyen límites, de hecho, para el alcance y proyección de la especie humana en el espacio.

La gravedad nula requiere una adaptación que, para ciertas personas, puede llevar algunos días. Los tres componentes de la tripulación de uno de los laboratorios espaciales Skylab se sintieron mal durante las primeras veinticuatro horas. El programa había sometido a prueba a una pequeña muestra de especímenes humanos de muy buena salud durante 90 días. Durante este tiempo sus cuerpos revelaron claros cambios fisiológicos: pérdida de volumen hemático, degeneración de ciertos huesos, merma de médula ósea y relajamiento del tono muscular. Estas alteraciones eran reversibles y los hombres recuperaron plenamente su forma física al cabo de varias semanas de haber regresado a la Tierra; con todo, la conveniencia de someter a las personas a una gravedad nula constante durante varios meses se nos antoja hoy dudosa; parece probable que un corazón habituado a las leves condiciones de la agravitación pudiera revelarse luego insuficiente ante la demanda súbita de una situación gravitacional. No queremos que el viaje al espacio sea solamente de ida; queremos que la opción del regreso sea facultativa e inmediatamente viable.

Curiosamente, todos nosotros experimentamos un estado prácticamente agravitatorio cada día; los fisiólogos han demostrado que el reposo en la cama aligera las cargas del cuerpo en medida y manera muy semejante a como lo hace la gravedad

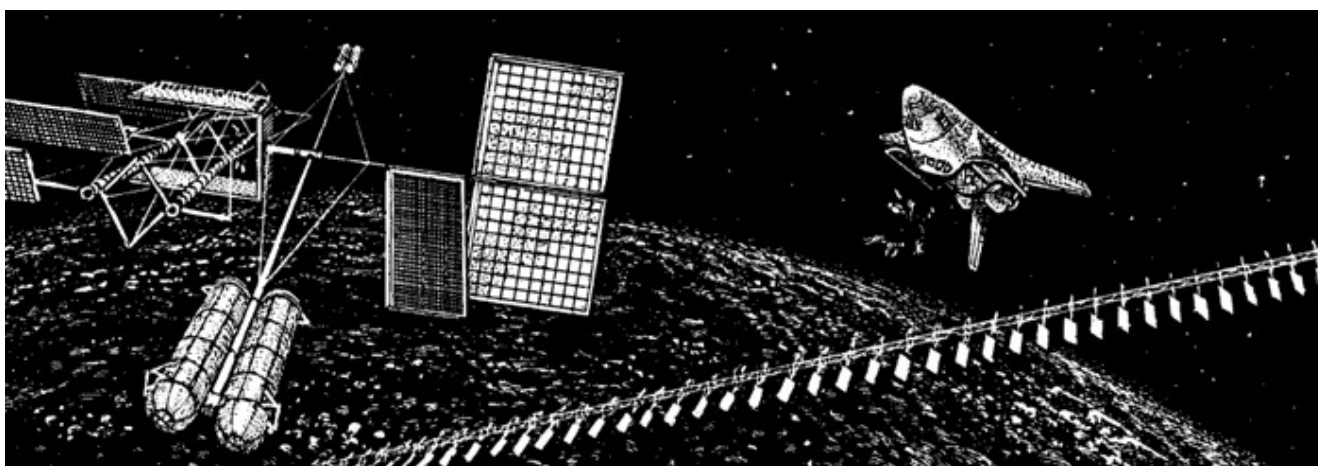
cero, y que en ambos casos tienen lugar los mismos cambios degenerativos. Sabemos que no es necesario permanecer sometidos a una determinada gravedad durante todo el día; con unas cuantas horas hay más que suficiente. Cuántas exactamente es lo que por el momento ignoramos; pero parece prudente una planificación tal que, por lo menos en las zonas de reunión cuando no se trabaja, la gravedad sea aproximadamente igual a la de la Tierra: las personas normales no soportarían la versión Skylab, consistente en un programa intensivo de ejercicios que ocupaban más de una hora cada día. Afortunadamente es fácil lograr gravitación en el espacio: la rotación puede suministrarla. En el interior de un vehículo hueco en rotación puede hacerse que la gravedad sea igual a la de la Tierra, y si el continente es bastante grande, el cuerpo humano será incapaz de distinguirla de la auténtica.

En la Tierra, órganos sensibles del oído interno han evolucionado de manera tal que sea posible medir los cambios de posición de nuestro cuerpo. Aunque adolecen de ciertas limitaciones, estos órganos son capaces de detectar la rotación que pueda producirse en torno a cualquiera de tres ejes.

En el seno de un medio rotatorio y con un período de rotación que se mida en fracciones de minuto en vez de en horas, nuestros sensores cinéticos pueden percibir que «algo no es del todo normal» en lo que se refiere a la gravedad. Los fisiólogos han venido estudiando durante años cuán difícil puede ser para el hombre el acomodarse a un ambiente giratorio. Los principales centros de estudio han sido el U. S. Naval Medical Center de Pensacola, Florida, y las instalaciones de centrifugación del programa espacial soviético ORBIT en la URSS. Aun admitiendo que hay por fuerza ciertas limitaciones en cuanto a la exactitud con que esos ensayos terrestres pueden ser réplica cabal de las condiciones espaciales, el acuerdo sobre determinados puntos parece ser general: primero, casi nadie tiene dificultad en acomodarse a una frecuencia de rotación de un giro por minuto o menos; segundo, a medida que el régimen aumenta a dos, tres, cuatro rotaciones por minuto, la dificultad de acomodación es progresiva y son cada vez menos los que la consiguen; los demás revelan una serie de síntomas desagradables, tales como mareo, somnolencia y depresión. Los hay, no obstante, capaces de adaptarse a regímenes rotatorios de hasta diez vueltas por minuto. En el caso de nuestro hábitat espacial, los límites que nos interesan se encuentran entre uno y tres, margen que requiere ciertamente estudio, no exento de preocupación, pero suficientemente limitado para ofrecer plena viabilidad a la mayoría de las personas, según se refiere a los ensayos ya efectuados, que muestran que cualquier individuo normal es capaz de adaptarse a semejantes condiciones en un día o dos. En los grandes hábitats —que a buen seguro seguirán a los pequeños «modelos»— los regímenes de giro pueden mantenerse fácilmente por debajo de la frecuencia de uno por minuto sin que se comprometa por ello la eficacia de diseño. Para los primeros hábitats la economía dicta la conveniencia de adoptar un parámetro de 2 rpm para una gravitación semejante a la terrestre normal, y de que los primeros candidatos a colono se sometan a ensayos a fin de determinar su

vulnerabilidad. Las pruebas hasta ahora recogidas gracias a los programas espaciales, tanto norteamericanos como soviéticos, señalan que apenas existe correlación alguna entre el mareo que solemos constatar en barcos y aeronaves y el «malestar espacial» resultante de reemplazar la gravedad natural por la rotatoria. Atendiendo a los resultados obtenidos en Pensacola y en Rusia podemos admitir, pues, que sólo un mínimo porcentaje de los solicitantes de empleo en los primeros hábitats espaciales han de revelarse, al cabo de unos días o semanas de permanencia en una estación espacial de baja órbita, inadecuados para la vida en el espacio.

Hemos hablado de las necesidades de la vida, de sus requisitos; pero hemos de trabajar y vivir en el espacio por elección, y disfrutar de ello, de modo que vamos a exigir aún más: los seculares deseos del hombre en cuanto a comodidad, buena comida y no peor bebida, espacio donde estirar las piernas, broncearse, instalaciones para nadar o simplemente darse un grato baño, variedad de entretenimiento y oportunidad de viajar deben ser asimismo satisfechos. Los humanos tenemos ideas muy claras y concretas acerca de nuestro recreo, y es obvio que toda comunidad espacial deberá atender a ellas.



Primera estación espacial y hábitat de gravedad normal, para planta piloto de operaciones de baja órbita.

Hemos evolucionado a partir de una especie originalmente cazadora y recolectora, a la luz del sol, y nuestros cuerpos necesitan de cierto grado de exposición a los rayos solares para su bienestar. Sin sol acecha el raquitismo, la depresión y el desánimo. Es casi seguro que la elevada tasa de suicidios de los países escandinavos tiene que ver en parte con la nubosidad de los cielos y los largos y crudos inviernos. Un hábitat espacial acertado tendrá que admitir luz solar natural pero eso no es difícil de lograr; en el espacio, lejos de toda superficie planetaria, la radiación solar es asequible en todo momento y en su plenitud. Con todo, a fin de no trastornar nuestro ritmo biológico interno habituado al día de veinticuatro horas, será necesario tomar las medidas precisas para establecer un ciclo día/noche.

Cuando los humanos vivían agrupados en pequeñas bandas lo común era que acamparan en las proximidades de las corrientes de agua clara, y, salvo por el humo de sus propios fuegos de acampada, el aire que respiraban era totalmente limpio. En

nuestro contaminado mundo actual no nos es posible ya el dar por sobrentendida nuestra provisión de aire y agua sin mácula; actualmente, la mayoría de los grandes ríos encierran toda clase de suciedad. El hábitat espacial nos brinda una nueva oportunidad, en aras de la cual debiéramos ajustar nuestra industria y economía de modo que tanto el aire como el agua permanecieran siempre puros.

Nuestra Tierra es rica en plantas y animales, pero a medida que la industria y la población humana densifican las zonas de vida, esa riqueza va perdiéndose a pasos agigantados. Los niños de los núcleos urbanos crecen ajenos a la belleza de los árboles, y en los lugares desérticos las palmeras de los oasis adquieren una importancia que ningún habitante de clima privilegiado puede siquiera imaginarse. Para nuestro bienestar psicológico, al igual que para el reciclaje del oxígeno que respiramos, es necesario que contemos con hierba, árboles y flores. Muchas especies animales representan por su propia presencia un motivo de placer para nosotros, y si nos trasladamos al espacio no por ello dejaremos de gustar de su compañía, como tampoco ellas de nuestros cuidados, de manera que acaso se haga necesario, por el bien común, llevarlas con nosotros, puede que como hiciera Noé, por parejas. Y parece claro que además de los animales domésticos desearemos contar con ardillas, venados, nutrias y muchos otros: acaso aves y algunas variedades de insectos inocuos de los que puedan alimentarse. Y el caso es que el espacio nos brinda una posibilidad de que carecemos en la Tierra: la de llevar aquellas especies que queremos y que forman parte de una cadena ecológica completa, dejando atrás las que, parasitarias, constituían un inconveniente. ¡Qué maravilloso podría ser un mundo estival de bosques libres de mosquitos! Puede también que demos con carroñeros menos molestos que las moscas domésticas, así como que optemos por viajar con las útiles abejas y prescindir de las avispas y tábanos.

Quizá el hecho de que originalmente constituyéramos una especie cazadora y recolectora sea la razón de que el impulso de viajar y de descubrir la variedad habitacional y de medio esté tan enraizado en muchos de nosotros. Ahora que los desplazamientos a grandes distancias por medio de los aviones reactores ha pasado a estar a la orden del día, un gran sector de la población humana gusta, en las naciones desarrolladas, de emprender viajes regulares en vacaciones. Nuestros jóvenes amplían sus horizontes a edad mucho más temprana de lo que lo hicieron sus padres. Algunos de los resultados son, no obstante, poco gratos: abundan los vagabundos que subsisten apenas gracias a la ayuda familiar en momentos especialmente críticos y que en algunos países del Este llaman escueta y peyorativamente parásitos. Sin embargo, si creemos en la humanidad es preciso que demos por bueno que la ampliación de horizontes y el intercambio de culturas y de estilos de vida ha de ser por fuerza positivo, que tiende a limar las hostilidades, asperezas y prejuicios nacidos del aislamiento y que, por consiguiente, hace que disminuya a la postre el riesgo de la guerra. La libertad de viajar es un don precioso que potencia considerablemente las opciones del hombre; su coartación por la pobreza o por la presión de gobiernos

dictatoriales constituye siempre una pérdida. Debemos mostrarnos, pues, agradecidos de que los imperativos técnicos de la humanización del espacio apunten hacia la facilidad de viajar a bajo coste; no podemos evitar la abrogación ocasional de esa libertad por parte de un gobierno desconfiado o reaccionario, pero sí asegurarnos por lo menos de que las posibilidades de desplazamiento no se verán coartadas por la pobreza ni por escasez energética.

La obtención de alimentos constituye la más vital de nuestras industrias, y ahora que nos vemos libres del problema planetario hemos de preguntarnos.

¿Cuáles son las condiciones óptimas para la agricultura?

Una fuente adecuada de agua dulce limpia debe hallarse siempre a mano, esto está claro. Una vez en el hábitat espacial, el agua que hayamos introducido en él puede ser indefinidamente reciclada, dada una provisión inagotable de energía barata.

La incertidumbre que acarrea la variabilidad del clima terráqueo es la maldición que pesa sobre todos nuestros agricultores: sequías, heladas o nubosidad prolongada pueden arruinar la cosecha. Aún peor: la agricultura ha estado siempre sujeta a ciclos de bonanza y crisis. En un buen año todos los agricultores cosechan demasiado y desciende irremisiblemente el precio del producto. En un mal año hay poco que vender, aunque los precios son altos, y el consumidor debe pagar mucho por calidad más baja. Aunque puede que las personas deseen vivir en climas con grandes variaciones, los cultivos quedarían sometidos a condiciones climáticas regulares en el hábitat espacial, invariables de año en año.

En todo el mundo, sólo una parte del año es adecuada para el crecimiento de la flora y para los trabajos agrícolas, de manera que cuando llega el invierno la actitud queda interrumpida en las zonas que abarcan miles de kilómetros. De poder elegir haríamos que las zonas de cultivo, próximas entre sí y al consumidor, dispusieran de las estaciones y variaciones interestacionales más adecuadas a cada cultivo en particular. Con objeto de asegurar para nuestra mesa una provisión ininterrumpida de hortalizas frescas, haríamos que la «cronología» de las diferentes zonas agrícolas se escalonara de manera que cuando en una fuera enero otra se encontrara ya, por ejemplo, en junio. Imposible en la Tierra, esto es totalmente factible en el espacio.

En la Tierra, nuestros principales granos, nuestros más preciados frutos se ven amenazados por numerosas plagas y virus. Estas enfermedades han evolucionado por lo general a través del tiempo para especializarse en el ataque a ciertas plantas concretas; luego, los vientos y los propios desplazamientos humanos extienden el peligro de la propagación a nuevas zonas. En el espacio sería oportuno y prudente el iniciar nuestra agricultura con semillas cuidadosamente inspeccionadas y libres de agentes patógenos, al tiempo que se introducen exclusivamente aquellas bacterias esenciales para el crecimiento y desarrollo de la flora. Si nuestras zonas agrícolas quedan separadas de las habitacionales, incluso por sólo unos cuantos kilómetros, y reciben la aportación de agua estéril y de abonos químicos, el vacío espacial bastará como barrera que las conserve libres de plagas: por primera vez seremos capaces de

contar con una agricultura de elevado rendimiento sin necesidad de recurrir a los herbicidas, insecticidas ni sufrir las pérdidas de cosecha provocadas por la incursión de aves y animales indeseables.

A medida que la agricultura se ha vuelto más compleja, su práctica y su estructura la asemejan a cualquier proceso fabril. En agronomía moderna el substrato donde radican los cultivos es relativamente irrelevante: apenas si es un soporte para las plantas en crecimiento. Las cosechas más grandes se obtienen mediante la intensa aplicación de abonos químicos y por el riguroso control de los oligoelementos presentes y la acidez del medio. Con el paso de una economía pastoral a una industria agrícola se ha producido asimismo una mayor dependencia de la energía. El coste de la producción de abonos y fertilizantes responde directamente al coste de la energía^[1]. En el espacio, un método para producir abonos que en la Tierra es prohibitivo será enteramente común: se trata del simple calentamiento de una mezcla de oxígeno-nitrógeno en un tubo, en el foco de un espejo de laminado de aluminio puesto al sol, hasta alcanzar la temperatura del rojo blanco, a la cual aproximadamente el 2 por ciento de las moléculas se disociarán para formar óxido nítrico, base de un abono químico rico en energía.

Parece, por consiguiente, que el espacio puede proporcionar las condiciones ideales para crear una agricultura sumamente eficaz y totalmente reciclable, que ya no se encuentre a merced de la meteorología.

Estamos examinando las necesidades de una civilización industrial, de modo que debemos prestar atención a las condiciones que harán posible el desarrollo de la industria de manera eficaz, a bajo coste y libre de contaminación.

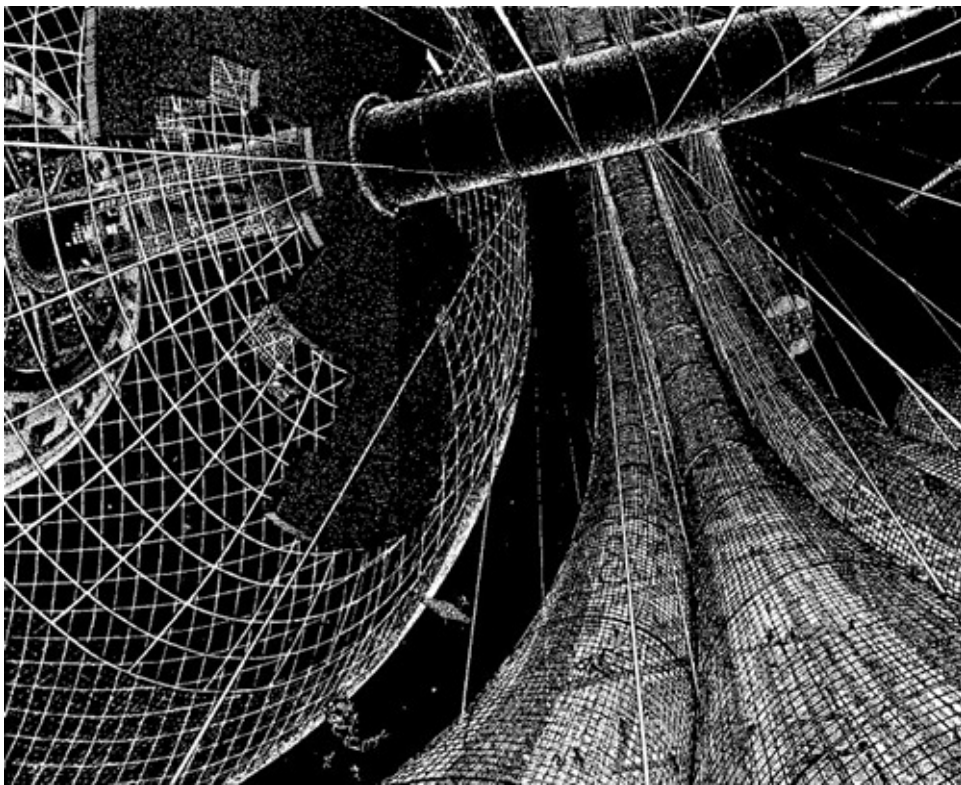
La industria requiere de la aplicación intensiva de energía, y con la creciente complejidad de los procesos propios y para la continuación de la revolución tecnológica aumenta asimismo la necesidad de energía. Aquí en la Tierra, donde nuestros recursos en ese sentido son limitados, hemos llegado a pensar que el derroche intensivo de medios raya en lo inmoral; pero si contáramos con una fuente inagotable no hay razón alguna para frenar el avance natural de nuestra revolución industrial.

La industria usa energía de dos formas: eléctrica y térmica, esta última para fundir metales, llevar agentes químicos a temperaturas de reacción y para procesos de cerámica. En la Tierra, la mayor parte de los combustibles fósiles empleados por la industria es quemada para obtener dicha energía térmica. En condiciones de gravedad cero, lejos de todo planeta, la concentración de la intensa e invariable luz solar del espacio con ayuda de ligeros y baratos espejos puede suministrar toda la energía que pueda necesitar en cualquier momento la industria. Un sencillo reflector del tamaño de un campo de fútbol y que no pese más que un automóvil puede proporcionar, una vez extendido en el espacio, el calor necesario para infinidad de procesos; para igualar su rendimiento una fábrica terrestre tendría que quemar un millón de barriles de petróleo cada treinta años; el reflector espacial seguirá suministrando la misma

potencia sin ningún coste en tanto brille el Sol^[2].

He hablado de la facilidad con que puede obtenerse energía eléctrica en gran cantidad a partir de la radiación solar en el espacio. Consideremos ahora la cuestión en términos cuantitativos: consideremos una industria en la cual se pueden construir grandes turbogeneradores de energía eléctrica; pues bien, en el espacio puede establecerse aproximadamente por la mitad del coste que supondría en la Tierra una planta semejante pero alimentada a base de carbón.

La planta espacial, en gravedad cero, requerirá menos mantenimiento que su homólogo en la Tierra; incluso si el rotor de la turbina y la armadura del generador tiene una masa de miles de toneladas, a gravedad cero el peso es nulo, de manera que dicha masa puede ser soportada sin fricción directa por cojinetes neumáticos o magnéticos de duración prácticamente ilimitada. El gasto de combustible de una planta espacial será cero, de modo que el coste total de la energía eléctrica obtenida corresponderá a amortización, mantenimiento y distribución. En el espacio, las industrias que consumen energía eléctrica pueden emplazarse en cualquier sitio y con diseño volumétrico más que de superficie, así que, al estar mucho más próximas a la fuente de suministro energético, se reducen considerablemente los gastos de distribución. El mantenimiento ha de ser a su vez muchísimo más barato, ya que no habrá maquinaria alguna manipuladora de combustible que requiera cuidados ni cojinetes de fricción que puedan desgastarse.



Construcción de Isla Uno, vista desde el área de granjas.

Haciendo números, resulta que una planta de turbogeneradores alimentada en el espacio con energía solar debiera poder suministrar electricidad a las industrias

vecinas a una fracción de centavo el kilowatio-hora; esta cifra es más baja que el coste de electricidad en cualquier punto de los EE. UU, excepto donde se cuenta con energía hidroeléctrica. Una vez amortizada la planta, los costes no serían otros que los de mantenimiento. Considerando ahora que el coste de la energía interviene en todos los presupuestos de una economía industrial, queda claro que en el espacio ha de ser posible fabricar la mayoría de productos de manera mucho más barata que en la Tierra.

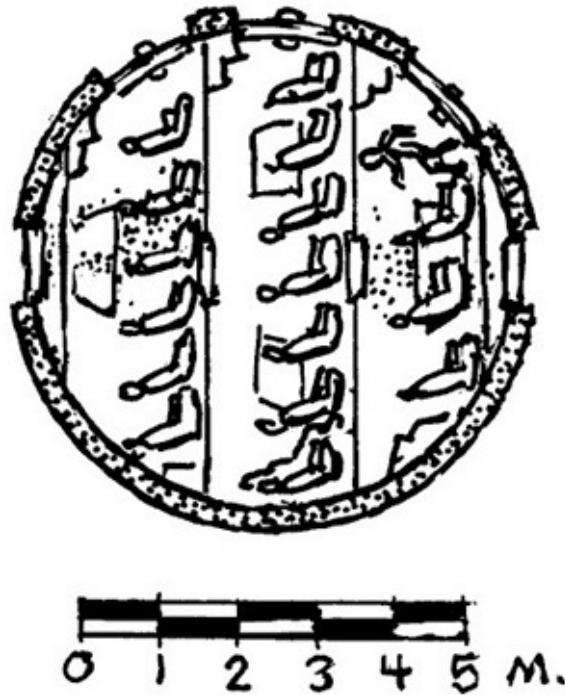
Hay un componente adicional en los costes de la energía, factor cuya importancia empezamos a apreciar ahora: la incertidumbre. Cuando los planificadores de una nueva industria no pueden predecir cuánto les va a costar la energía eléctrica y térmica para cuando quede totalmente completada una nueva instalación, la decisión de iniciar las obras se hace muy difícil, y aún más el persuadir a las financieras a que adelanten el dinero necesario para ello. En el espacio esa incertidumbre queda eliminada porque el coste del combustible es nulo y seguirá siéndolo mientras viva el Sol, cuya longevidad estimada es de por lo menos varios miles de millones de años. ¡Lloyds de Londres estarían más que dispuestos a asegurar una nueva industria contra toda posible elevación del precio de la energía, con semejante aval!

Cabe preguntarse si la energía procedente de la fusión o fisión nucleares puede jamás igualar los bajos costes de la que proporcionaría el Sol en una colonia espacial. La respuesta es: no. La energía nuclear no puede competir con el Sol. En primer lugar, para todos los procesos caloríficos basta con instalar en el espacio un espejo sin componentes móviles. En la Tierra habría que pasar por el costoso e ineficaz paso intermedio de convertir la energía nuclear en térmica y ésta en eléctrica; además las plantas nucleares no pueden construirse de pequeño tamaño. Para obtener energía eléctrica en la Tierra a partir de la fusión, olvidemos por un momento que miles de millones de dólares y veinte años de esfuerzo no han logrado aún hacer de la fusión nuclear una realidad práctica: aun suponiendo que se logre, el coste será probablemente mucho más elevado que el de cualquier planta energética en el espacio; en una instalación de fusión será necesario ante todo suministrar la energía necesaria para separar el 1/5.000 de agua pesada del agua normal con miras a la obtención de deuterio. Seguidamente habrá que contar con una maquinaria complejísima y de elevada tecnología, inclusive láseres y electroimanes gigantescos. Al fin se dispondrá de calor, que deberá ser suministrado a la caldera de una planta de turbogeneradores. El complejo fabril espacial prescindirá de todos los componentes materiales de esa complicada secuencia porque contará desde el primer momento con energía solar gratis. Por último, los costes de distribución en el espacio serán mucho más bajos, puesto que las distancias desde la fuente suministradora a la industria consumidora serán de sólo unos kilómetros y las plantas de electricidad solar, a diferencia de las centrales nucleares, pueden ser de pequeño tamaño, adecuado a la cantidad de energía que requiera, por ejemplo, un importante usuario y adyacentes al mismo.

Además de las ventajas inherentes a la gravedad cero para el manejo de objetos de gran masa, para el calentamiento de materiales a elevadas temperaturas sin el riesgo de contaminación debida a las paredes de los crisoles continentales, para la formación de mezclas uniformes de materiales de distinta densidad^[3], y para la producción de grandes cristales homogéneos, la industria contará en el espacio con un grado adicional de libertad. Mediante suave rotación será posible mantener superficies muy finas en forma exactamente cilíndrica o cónica. Ello puede resultar especialmente útil en el caso de grandes espejos de finísimo laminado.

Aquí en la Tierra, nuestro máximo logro en cuanto a transporte de carga a bajo precio lo constituye el del crudo mediante superpetroleros. Aunque las tarifas fluctúan enormemente pues la construcción de esos descomunales barcos resulta tan especulativa como tirar de la palanca de una máquina tragaperras en Las Vegas, los costes operativos ascienden a aproximadamente 0,06 centavos por tonelada y milla recorrida^[4]. Para el envío de carga a granel de una colonia espacial a otra a una velocidad semejante a la del transporte de carretera en la Tierra, bastaría con introducir el flete en un simple contenedor, para acelerarlo seguidamente desde la base mediante motor y cable hasta alcanzar su velocidad de deriva. No es necesario dotarlo de tripulación, pues en el vacío su trayectoria y hora de llegada serán conocidas exactamente, y no habrá peligro meteorológico alguno con que enfrentarse. El coste de semejante transporte en términos de energía será absurdamente pequeño: de una milésima aproximadamente del coste por tonelada-milla a que trabaja en la Tierra un superpetrolero.

Desplazarse al trabajo desde una colonia espacial sería, pues, fácil y barato. El vehículo típico podría ser una esfera protegida de los rayos cósmicos por un revestimiento exterior de unos treinta centímetros de grosor y muy denso. Puede albergar pasajeros sentados en tres niveles y el acceso a ella producirse a través de portezuelas semejantes a la de los aviones transoceánicos. Con suficiente espacio individual para viajar sin apreturas, como es el caso, por ejemplo, de los pasajes de primera clase en los mejores aviones, la esfera puede acomodar un centenar de pasajeros. En menos de medio minuto un motor eléctrico y un cable pueden acelerarla a la velocidad de un reactor comercial, de manera que el desplazamiento al lugar de trabajo situado a, digamos, ciento cincuenta kilómetros de la colonia habría de durar apenas unos minutos de vuelo sin vibraciones ni molestias. En fin, el tiempo suficiente para enterarse someramente de las noticias del día; al final del trayecto, un cable de detención frenaría la esfera en destino. ¿Coste energético? Menos de cincuenta centavos por pasajero.



Esfera para viajes diurnos de corta distancia.

Cada vez que se rompa el equilibrio para una industria en particular, en el sentido de que su producción resulte más barata en el espacio que en la Tierra, nuestro planeta se verá aliviado de dos maneras: librándose de la carga que representa el consumo de energía y materias primas implicados en dicha industria, gracias a la gente que se trasladará al espacio: los empleados en la industria en cuestión amén de sus respectivas familias. Durante muchos años las industrias espaciales en competencia directa con las de la Tierra serán las que no requieran de la reexportación al planeta de sus productos; hay, al menos, dos: fábricas que produzcan estaciones satélite de energía solar (estaciones que serán puestas en órbita geosincrónica sobre un punto fijo de la superficie terrestre con objeto de que envíen haces de energía a los sistemas eléctricos del planeta), y talleres de montaje para la industria aeroespacial, encargados de la construcción de naves para el transporte entre las colonias y entre la Tierra y éstas.

Sólo en Estados Unidos, cada año quemamos literalmente miles de millones de toneladas de combustibles fósiles irremplazables. Desde el punto de vista de la conservación, es suicida el convertir todo ese petróleo y carbón en nubes de humo; debería más bien conservarse para la fabricación de plásticos y de tejidos. Esta consideración ecológica, reforzada por poderosas razones económicas, sugiere que hayan de ser precisamente las estaciones de energía solar al servicio de la Tierra las primeras obras que se emprendan en las colonias espaciales.

En el seno de las propias colonias no ha lugar a que se plantee conflicto alguno en torno a la utilización de combustibles orgánicos para obtener energía en lugar de aplicarlos a lo que están indicados por su naturaleza: la industria petroquímica. Como

hemos visto, el coste de la energía solar en una colonia espacial será tan irrisorio que sería ridículo tratar de remplazarla por cualquier otra fuente de energía.

Para que prosiga el desarrollo de la riqueza, toda economía dinámica debe contar con un suministro seguro de materias primas. En la Tierra ya nos vemos forzados a recurrir a los yacimientos más pobres, con el consiguiente coste de explotación, para aprovisionarnos de metales. En Estados Unidos, por ejemplo, hace ya tiempo que se han vaciado literalmente de hierro las montañas Mesabi del norte de Michigan. Y a medida que nos volcamos en las vetas más pobres, el conflicto entre la minería y la ecología empeora a ojos vistas: cuando la mena asciende sólo a la décima parte de la presente anteriormente en una rica veta, es obvio que debe ser procesada diez veces más ganga para obtener la misma cantidad de metal.

En el espacio nuestras primeras minas se encontrarán probablemente en la Luna. Particularmente en el lado oculto de la misma, sería posible extraer ingentes cantidades de material sin efectos adversos de ningún tipo. Sorprende a muchos el oír de pronto cuán rica es la Luna como fuente de materias primas para la industria. Personalmente creo que el proyecto Apolo, tan criticado en su día, se revelará de enorme valor, precisamente por sus trabajos de prospección de minerales. Una muestra típica de las reunidas por aquél contiene, en peso, más del 20 por ciento de silicio, más del 12 por ciento de aluminio, el 4 por ciento de hierro y el 3 por ciento de magnesio. Muchas de las muestras contenían además más del 6 por ciento (ponderal) de titanio, metal en gran demanda por su resistencia y ligereza, inalterable incluso a temperatura muy elevada. De ahí que su aplicación presente se halle centrada casi exclusivamente en la industria aeroespacial. Su procesamiento requiere, sin embargo, de vacío, alta temperatura y una gran cantidad de energía: factores muy costosos en la Tierra pero baratos en el espacio. Por último, la superficie lunar consiste en más del 40 por ciento ponderal de oxígeno; resulta extraño, ¿verdad?, que un entorno tan estéril, tan huérfano de vida, contenga preso en sus rocas y tierras, a la espera de ser empleado, el elemento más necesario para nuestra vida.

A la «larga», dentro de un plazo de uno o dos decenios desde el comienzo de la humanización del espacio, empezaremos a explotar asimismo los recursos encerrados en el cinturón de asteroides. Al pensar en el transporte espacial debemos hacerlo en términos de energía más que de distancia, puesto que en el espacio no hay resistencia atmosférica. Llevar una tonelada de carga desde la superficie de la Tierra hasta una colonia espacial vendría a costar, en energía, aproximadamente lo mismo si el punto de origen se encontrara en el cinturón asteroidal. La diferencia estriba en que para elevar la carga desde la superficie terrestre es necesario contar con un cohete capaz de desarrollar más de una tonelada de fuerza, además de innumerables y rapidísimos sistemas de control que operen con absoluta precisión en una fracción de segundo. Por el contrario, el traslado de carga desde los asteroides a las colonias puede efectuarse con sosiego y con el concurso de motores de baja potencia y elevada fiabilidad. ¿Que se estropean? Habrá tiempo suficiente para repararlos, del mismo

modo que un carguero puede mantenerse al paio días y más días en el océano mientras sus máquinas reciben la atención debida.

El transporte de materias primas desde la superficie lunar al emplazamiento de las colonias será aún más fácil, y el coste en términos de energía apenas ascenderá a la vigésima parte del que supone un envío desde la Tierra o desde los asteroides. Como veremos en los capítulos siguientes, es posible acarrear materiales de la Luna a un coste inicial de tan sólo unos pocos dólares por kilogramo. En adelante, cuando la industria haya quedado ya bien establecida en el espacio, dicho coste será de apenas unos pocos centavos por kilogramo.

La Luna es pobre en tres elementos necesarios para la vida y para cimentar sólidamente una civilización industrial: hidrógeno, nitrógeno y carbono. Al parecer, la Luna ha experimentado repetidas cocciones a elevada temperatura en el curso de los tiempos. Afortunadamente, el análisis espectrográfico de la luz solar reflejada por los asteroides ha revelado que algunos de ellos son ricos en los tres elementos mencionados, es decir, que constituyen una fuente petroquímica aproximadamente igual de buena que la pizarra bituminosa^[5]. Pruebas de la presencia de dichos elementos nos las han ofrecido sin lugar a dudas veinte, por lo menos, de los meteoritos hallados en la superficie de la Tierra^[6]; se trata de aerolitos del tipo llamado carbonáceo condrítico. Las normales decisiones económicas que gobiernan las operaciones industriales se orientarán, por tanto, en el sentido de prospeccionar la superficie de la Luna en busca de los más de los elementos útiles, reservando los asteroides para la extracción de los minerales de que nuestro satélite carece. Y mucho antes de que haya sido explotada una fracción apreciable de la superficie lunar se revelará muchísimo más fácil el obtener todo lo necesario para la construcción de las colonias en los asteroides.

Aunque el volumen total de éstos es muchísimo más pequeño que el de la Tierra, resultan mucho más accesibles que las entrañas de nuestro planeta, del que sólo una estrecha capa superficial nos es asequible sin tener que recurrir a la explotación a grandes profundidades, bajo enormes presiones e intenso calor. Incluso si excaváramos toda la superficie terrestre en una profundidad de ochocientos metros y cribáramos el terreno para extraer un diez por ciento de su volumen total, solamente conseguiríamos un uno por ciento de los minerales contenidos en los tres asteroides más grandes. Un contraste evidentemente impresionante: tendríamos que desfigurar la Tierra entera para obtener sólo la centésima parte del mineral contenido en tres asteroides sin vida y actualmente inútiles; ¡y asciende a varios millares el número de esos miniplanetas! Por otra parte, llevar minerales al espacio, aun desde los asteroides más grandes, representa la ascensión de una montaña gravitacional de sólo ocho mil a dieciséis mil metros de altura; en el caso de la Tierra serían seis millones cuatrocientos mil.

Como lector de ciencia ficción en mi infancia, jamás se me ocurrió que el futuro de la humanidad se hallara en el espacio abierto en lugar de en una superficie

planetaria, y en este sentido tampoco me fue dada pista alguna. Más tarde, cuando la lógica y los cálculos me forzaron a esa conclusión, busqué pruebas de que otros, antes que yo, habían llegado a igual convencimiento. Más de cinco años después de haber iniciado mis estudios sobre el tema di con las referencias que necesitaba: un amigo me consiguió sendos ejemplares de dos libros, fuera de imprenta en su versión inglesa, del erudito y autodidacta ruso Konstantin Tsiolkowsky^[7], ^[8]. Nacido en 1857, Tsiolkowsky escribió libros vanguardistas sobre motores a reacción, cohetes multifásicos y muchos otros conceptos básicos de la era espacial.

Su novela *Beyond the Planet Earth* (Más allá del planeta Tierra), escrita a principios de siglo, publicada por entregas y por fin en forma de libro en 1920, es, tenuemente velado, un auténtico tratado de física básica. Como tal es pobre en personajes, y debiera ser leído, por consiguiente, como lo que en verdad es: una obra de imaginación tan audaz como lógica. En unos tiempos en que el transporte dependía casi exclusivamente de caballerías, sólo un pensador osado podía hablar con naturalidad (y precisión) de las necesarias velocidades orbitales de kilómetros por segundo.

Como novelista, Tsiolkowsky podía fácilmente pasar por encima de determinados problemas técnicos cuya solución no le era dado por entonces ver: el cohete en el cual sus pasajeros abandonan la Tierra es propulsado por un misterioso explosivo cuya naturaleza queda sin aclarar; sin embargo, las circunstancias del vuelo revelan un paralelo sorprendente con nuestra actual situación en la Tierra. Tsiolkowsky nos habla de un planeta en el que la creciente población empieza a notar los límites ecológicos. Sus viajeros visitan la Luna sólo incidentalmente; desde el primer momento se han dado cuenta de que el lugar de colonización dista mucho de encontrarse en una superficie planetaria:

«Entretanto, las nuevas colonias, a cinco radios y medio de la Tierra, o sea 34.000 km de distancia, progresaron y fueron poblándose. Mansiones-conservatorio del tipo que hemos descrito iban llenándose de hombres, mujeres y niños afortunados...».

Y se dan cuenta de las ventajas que ofrece el espacio libre para el desempeño de determinadas tareas:

«...Nada era más fácil que crearla artificialmente (la gravedad), sabes, haciendo girar la casa. En el espacio, una vez que se le ha imprimido a un cuerpo un movimiento de rotación, éste se mantiene indefinidamente sin que deba mediar esfuerzo alguno; así, la gravedad es mantenida indefinidamente, y no cuesta nada. Además, su valor depende de nosotros; puede hacerse menor que la terrestre, o mayor...».

En su primer vuelo los viajeros de Tsiolkowsky prevén exactamente muchas de las posibilidades abiertas a la industria y a la población del espacio:

«El espacio en torno a la Tierra que podemos utilizar, suponiendo que consideremos sólo la mitad de la distancia que nos separa de la Luna, recibe ya mil veces más energía solar que la propia Tierra... sólo hace falta llenarlo de viviendas,

invernaderos y gente. Por medio de espejos parabólicos podemos producir una temperatura de hasta 5.000 grados centígrados, en tanto que la ausencia de gravedad hace posible construirlos de dimensiones prácticamente ilimitadas, con lo cual nos es dado crear focos del tamaño que queramos. A su vez, esas elevadas temperaturas, la energía química y térmica del Sol no debilitadas por la atmósfera, nos permiten realizar toda clase de trabajos industriales, tales como la fusión y soldadura de metales, la recuperación de éstos de su encierro en las más heterogéneas gangas, su forjado, moldeado, laminado, etc.».

Con gran acierto, los viajeros dedican gran parte de su primer viaje a la búsqueda de asteroides utilizables. Como novelista, Tsiolkowsky no tiene dificultad alguna en llenarlos de oro, platino y diamantes; nosotros, con sentido actual más práctico, nos conformaremos con dar con elementos tan comunes como el carbono y el hidrógeno. De todas las profecías hechas por Tsiolkowsky durante su larga vida, celebro que una en particular haya sido escogida para caracterizar el obelisco que señala su tumba en Kaluga:

«El hombre no permanecerá siempre en la Tierra; la búsqueda de luz y espacio vital le llevará a franquear los límites de la atmósfera, tímidamente al principio, pero a la postre, para conquistar la totalidad del espacio solar».

ISLAS EN EL ESPACIO

Al considerar la forma de los nuevos habitáis para los humanos —las islas del espacio— debemos tener siempre en cuenta que los detalles cambiarán, acaso profundamente, entre la concepción primera y la realización última^{[1], [2]}. Pueden aparecer mejores soluciones a algunos problemas técnicos, y cabe que se presenten otros que hagan necesario un cambio de diseño. Yo me limito a describir una «prueba de existencia», una ilustración de que hay ciertamente una solución real para el diseño de las islas espaciales; pero sería de todo punto extraño que los esfuerzos de un hombre no fueran considerablemente mejorados cuando otros se pongan a considerar asimismo el problema.

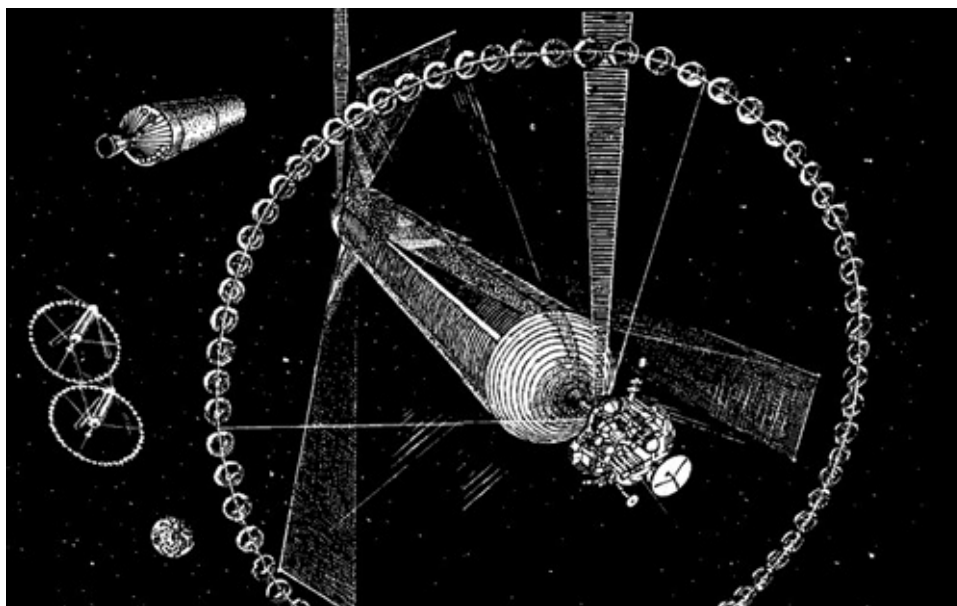
Confieso haber adoptado un enfoque humanitario en el diseño que sugiero. La revolución tecnológica es una poderosa fuerza de cambio social, y al elegir entre diferentes posibilidades técnicas me he sentido fuertemente inclinado hacia aquellas que parecen ofrecer el mayor número de probabilidades de ampliar las opciones abiertas al hombre y de evitar represiones que, de otro modo, podrían ser insalvables. Sin embargo, no presento ninguna Utopía; los cambios del hombre se producen a costa de milenios, y éste retiene siempre en su interior tanto la capacidad para el Bien como para el Mal. El bienestar material y la libertad de elección no garantizan siempre la felicidad, y para algunos la facultad de elegir puede antojárseles amenazadora y hasta temible. Aunque reconozco que mi estudio discurrirá en torno al medio físico, y sólo indirectamente abordará lo psicológico, trataré de describir, no obstante, un ambiente donde se combinan, además de la eficacia y el carácter práctico, oportunidades para aumentar las opciones, los placeres y las libertades del individuo humano.

He sostenido que existe solamente un modo de desarrollar una industria verdaderamente rica en potencial de crecimiento y capaz de proseguir el curso de su evolución durante mucho tiempo sin causar por ello daño alguno al medio ambiente: se trata de combinar la ilimitada energía solar, los virtualmente infinitos recursos de la Luna y del cinturón de asteroides y una ubicación próxima a la Tierra, pero no situada en una superficie planetaria.

Describiré en primer lugar una comunidad de las que llamo de «tamaño moderado»; es más grande que el primer modelo de hábitat, pero dista mucho de alcanzar las dimensiones del más grande susceptible de ser construido. Isla Tres es lo suficientemente rentable en el empleo de materiales como para que pueda construirse en los primeros años del siglo venidero. Las cifras parecerán asombrosas, pero se basan en rigurosos cálculos: dentro de los límites de la tecnología actual, Isla Tres podría tener un diámetro de seis kilómetros, una longitud de treinta, y una superficie total habitable de más de mil kilómetros cuadrados con una población de varios

millones de habitantes. Las mayores comunidades que podrían construirse, dentro de los límites impuestos por los materiales comunes en la actualidad, tales como hierro y aluminio, y con presiones de oxígeno análogas a las existentes a 1.700 metros sobre el nivel del mar en la Tierra, podrían ser de longitud y anchura hasta cuatro veces mayores, y con una superficie habitable equivalente a la mitad de Suiza. Al principio resultaría antieconómico construir hábitats de semejantes dimensiones, que supondrían un derroche de materiales. Con todo, a la larga es posible que la raza humana construya hábitats de esas medidas, y con tecnologías más avanzadas, incluso mayores.

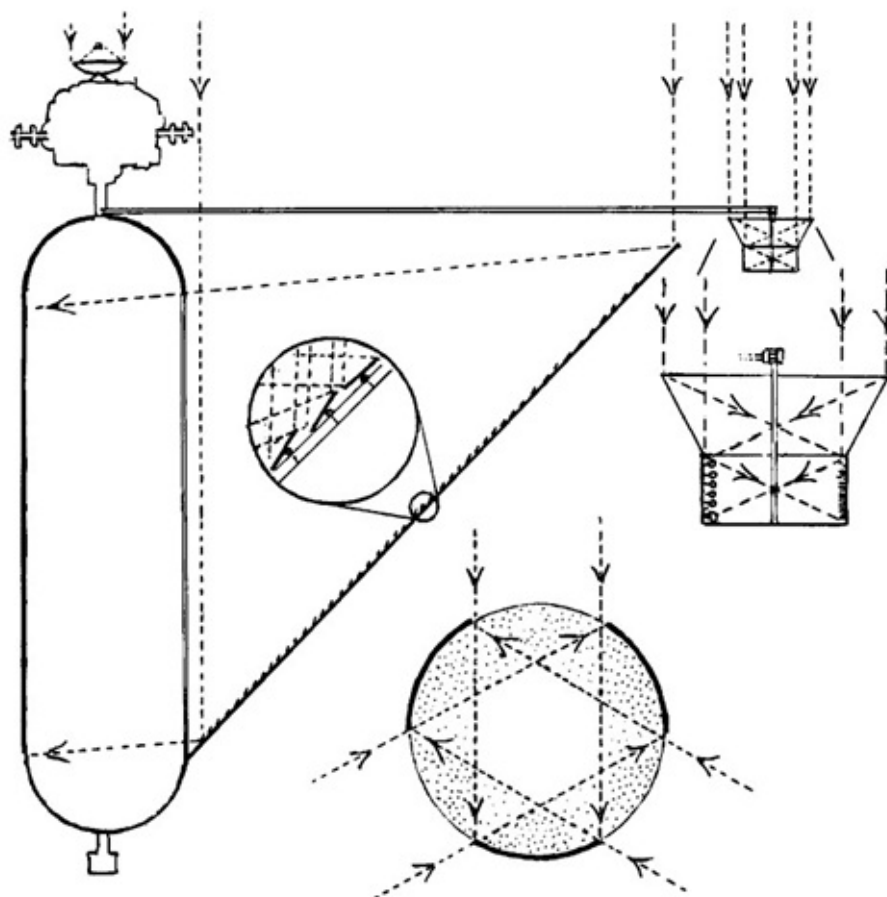
Gravedad, agua, terreno, aire y sol natural en un ambiente semejante al de la Tierra constituyen las necesidades que debemos tener en cuenta. La rotación puede proporcionarnos gravedad, y afortunadamente hay por lo menos dos formas geométricas aptas para tal rotación al tiempo que nos sitúan al Sol real estacionario en el espacio. Una consiste en un par de cilindros acoplados cuyos ejes longitudinales sea paralelos entre sí. Los cilindros son cerrados por casquetes hemisféricos y contienen oxígeno. Cada uno de ellos gira en torno a su eje mayor, de modo que las personas que vivan en su superficie interna experimenten una gravedad como la terrestre.



Isla Tres, con módulos agrarios (pequeños cilindros sobre el anillo) de maquinaria en gravedad cero (ensamblaje al final del cilindro).

La superficie lateral del cilindro se divide en seis regiones, tres «valles» alternantes con tres hileras de ventanas. Colocando tres grandes espejos planos por encima de las ventanas y orientando los ejes de los cilindros siempre hacia el Sol podemos hacer que los «valles» reciban su luz naturalmente y que el astro aparezca inmóvil en el cielo, pese a la rotación del cilindro. Variando el ángulo del espejo conseguiremos una disposición semejante a la del alba, a la del paso lento del Sol a través de nuestro firmamento durante el día y, en fin, a la del ocaso. La longitud del

día, el tiempo, el ciclo estacional y el equilibrio térmico de la colonia pueden ser regulados, así, mediante un programa de variación angular del espejo adecuado. Un gran espejo paraboloide situado al extremo de cada cilindro puede recoger energía solar durante veinticuatro horas al día para activar la planta de producción energética de la comunidad.



Paso de luz solar en Isla Tres y en sus módulos de granja externos.

Si, por ejemplo, disponemos muchos cilindros más pequeños cerca de los grandes, y nos servimos de los primeros para el cultivo agrícola, habremos conseguido lo que jamás ha sido posible en la Tierra: un control independiente de las condiciones climáticas óptimas para la vida humana, para la agricultura y para la industria coexistentes en un radio de pocos kilómetros.

Las zonas de «valles» de Isla Tres serían de unos tres kilómetros de anchura por treinta de longitud, elevándose a partir de esa distancia para conformar cerros y montañas. Estas últimas, formadas en las superficies internas de los casquetes hemisféricos del cilindro, podrían alcanzar una altura de más de 3.000 m.

En su versión más simple, el diseño de una comunidad espacial contará con luz solar reflejada en el hábitat por grandes espejos planos sujetos a cada cilindro en rotación mediante numerosos cables y solidarios con éste en su movimiento. El habitante de una de esas zonas de valles alzará la vista al cielo y lo verá azul, gracias a un sencillo artificio: resultará fácil controlar la reflectancia de los espejos y la

tonalidad de las zonas de ventanas («solanos»), a fin de producir la combinación de calidez y brillo más agradables, al igual que impartir una tonalidad azul a dichos solanos. No se percibirá sensación alguna de rotación, pese a que el cilindro girará a razón de una vez cada dos minutos; la gravedad en el valle será la normal en la Tierra. Con todo, nadie que viva en el hábitat espacial albergará la menor duda sobre su posición relativa: en lo alto, más allá de las nubes, y de manera vaga por causa de la distancia, acertará a columbrar los otros dos valles de su hogar. En lontananza, aparecían tan indistintos en cuanto a detalle como la superficie de la Tierra vista desde un avión a 6.000 metros de altura; sin embargo, serán visibles.

El ángulo con que la luz solar que entrará en el hábitat será controlable, y dependerá sólo de la longitud respectiva de los cables que sujetan los espejos. A medida que éstos se desplieguen lentamente por la mañana se producirá la «salida» del Sol, el cual se moverá en el firmamento con la misma velocidad aparente con que lo hace en la Tierra; nada en su aspecto sugerirá siquiera que es el cilindro el que gira. Solamente con instrumentos muy delicados sería posible descubrir que la imagen del disco solar gira alrededor de su centro.

Controlando el ángulo del Sol en el cielo, los residentes del espacio podrán regular igualmente la longitud de sus días, la variación de los mismos y, por tanto, las estaciones y el clima medio. No es probable que les dé por introducir cambios súbitos o caprichosos en tales variables. Como nos ha demostrado la era de los reactores, los humanos pueden ajustarse rápidamente a cambios en el ciclo día/noche, al igual que a las condiciones climatológicas; menos adaptables son, en cambio, las plantas, de modo que una vez haya sido establecido un ciclo serán buenas y muchas las razones de que cualquier variación en el mismo proceda sólo de manera muy lenta.

Para el tiempo en que sea construida una comunidad tan grande como Isla Tres, los hábitats espaciales puede que no estén ocupados en medida próxima a su límite ecológico: la máxima densidad demográfica permitida por el terreno. Hacia los primeros años del siglo venidero, la Tierra estará dos o tres veces más poblada que hoy, y la densidad de población de los hábitats espaciales puede ir cayendo hacia el mismo valor de la de la Tierra, para a la postre descender aún más. Sin embargo, Isla Tres podría sustentar fácilmente una población de diez millones de personas, que cultivarían sus alimentos en cilindros agrícolas próximos al hábitat principal, pero fuera de él. Para el cálculo del coste habitacional por persona supondré que se ha llegado a esa densidad superior. Aquí en la Tierra es ya común el conflicto perpetuo entre la industria, la agricultura y el espacio vital; las consideraciones económicas aplicables al hábitat espacial, démonos cuenta, determinarán la superación de tal conflicto ubicando las actividades agrícolas a unos kilómetros de distancia de las zonas habitacionales. Resulta relativamente caro, desde el punto de vista material, la construcción de grandes cilindros con diámetros de varios kilómetros, y no menos caro el proporcionarles una luz solar de apariencia a todos los efectos normal. Las plantas no requieren de esos lujos y pueden ser cultivadas con gran eficacia en

lugares donde la intensidad solar es alta, pero desprovistas de amenidades visuales.



Interior de la Isla Tres; vista desde ladera hacia el valle.

Con la industria y la agricultura ubicadas en el exterior, los pobladores de Isla Tres pueden usar sus seiscientos kilómetros cuadrados de área terrenal con fines habitacionales y recreativos. Sospecho que siendo tan variada la procedencia de los numerosos colonos eventualmente llegados para establecerse en las comunidades espaciales, no lo serán menos los modos en que será utilizada la superficie disponible. Algunos emigrantes puede que opten por disponerla en forma de pequeñas poblaciones, con viviendas unifamiliares, en medio de frondosos bosques. Cabe asimismo que haya a quienes les dé por edificar pequeños núcleos de elevada densidad poblacional, para gozar, por ejemplo, del colorido y la vivacidad de la interacción humana, característica común, por ejemplo, de las pequeñas poblaciones italianas. Siendo tan numerosas las comunidades ofrecidas, los emigrantes terráqueos podrán elegir la más idónea a su personalidad e idiosincrasia. Personalmente creo que me inclinaría por una disposición para mí muy atractiva: dejar los valles libres para el emplazamiento de pequeñas villas, bosques y parques, crear lagos en los confines de aquéllas, al pie de las montañas, y edificar pequeñas ciudades que se extendieran ladera arriba a partir de las orillas de los lagos. Incluso a pesar de la elevada densidad poblacional que podría caracterizar a uno de los primeros hábitats, esa disposición

resultaría a mi juicio agradable: una casa en una pequeña villa, donde la vida fuera tranquila y los niños contarán con suficiente espacio para sus juegos; y a tan sólo unos diez o quince kilómetros, una pequeña ciudad, de población algo menor que la de San Francisco, a la que la gente acudiría siempre que desearan visitar museos, teatros o salas de concierto.

Para Isla Tres, considerada como comunidad que pudiera construirse hacia la primera mitad del siglo próximo, entiendo que la densidad poblacional será «alta», aunque, como he señalado, el hábitat no tiene por qué parecer atestado. Para alimentar semejante colectividad será del todo suficiente contar con una zona agrícola igual a la habitacional. Esto puede parecer sorprendentemente poco; equivale a disponer de una parcela de tan sólo unos diez metros de lado para el cultivo del alimento necesario para atender a una persona. En la Tierra la agricultura jamás alcanza semejante productividad. Sin embargo, la cifra apuntada se basa en las cosechas obtenidas ya en una notable serie de experimentos realizados por un individuo ciertamente genial.

Tras una larga y activa carrera en la Universidad Cornell, el doctor Richard Bradfield se retiró en 1965. Poco después, no obstante, abandonó su merecido lugar de descanso para asumir una responsabilidad y una tarea física que muchos hombres más jóvenes habrían considerado excesivas: la dirección, bajo el patrocinio de la Fundación Rockefeller, de la Estación Agrícola Experimental Internacional de las Filipinas. Este Instituto, laboratorio destinado al desarrollo de nuevos métodos de cultivo intensivo y de elevado rendimiento, constituye el centro mundial de lo que se ha dado en llamar la «Revolución Verde». El doctor Bradfield descubrió que las cosechas pueden aumentarse considerablemente por dos expedientes: Cultivo Múltiple y Plantación Doble 3. En el primer caso se aprovecha la circunstancia de que un cultivo de crecimiento aéreo, como el maíz, puede medrar en las mismas hileras donde lo haga otro de escasa elevación, como los boniatos. En tanto a uno y otro se les provea de los elementos nutritivos necesarios mediante aplicación intensiva de abonos, ambos cultivos pueden vivir y crecer conjuntamente en perfecta armonía.

La Plantación Doble se basa en el hecho, no ignorado siquiera por los aficionados a la jardinería, de que durante las primeras semanas tras la siembra de las semillas el crecimiento no depende de la luz solar, ni siquiera de los elementos nutritivos, pues todo lo que se requiere es calor y humedad. La técnica de la doble plantación consiste simplemente en superponer un ciclo de cultivo a otro ya en curso: para el maíz híbrido, por ejemplo, de rápido crecimiento y que alcanza su madurez en sólo noventa a cien días, el método supone la plantación de la semilla del cultivo siguiente diez o veinte días antes de que haya sido recolectado el anterior.

Con estos procedimientos el doctor Bradfield fue capaz de conseguir cosechas enormes, incluso mediante agricultura básicamente convencional, sin recurrir a la técnica hidropónica. Su Estación Agrícola podía atender a veinticinco personas por

cada media hectárea escasa, hasta en un clima por debajo del ideal, como el filipino^[3], ^[4].

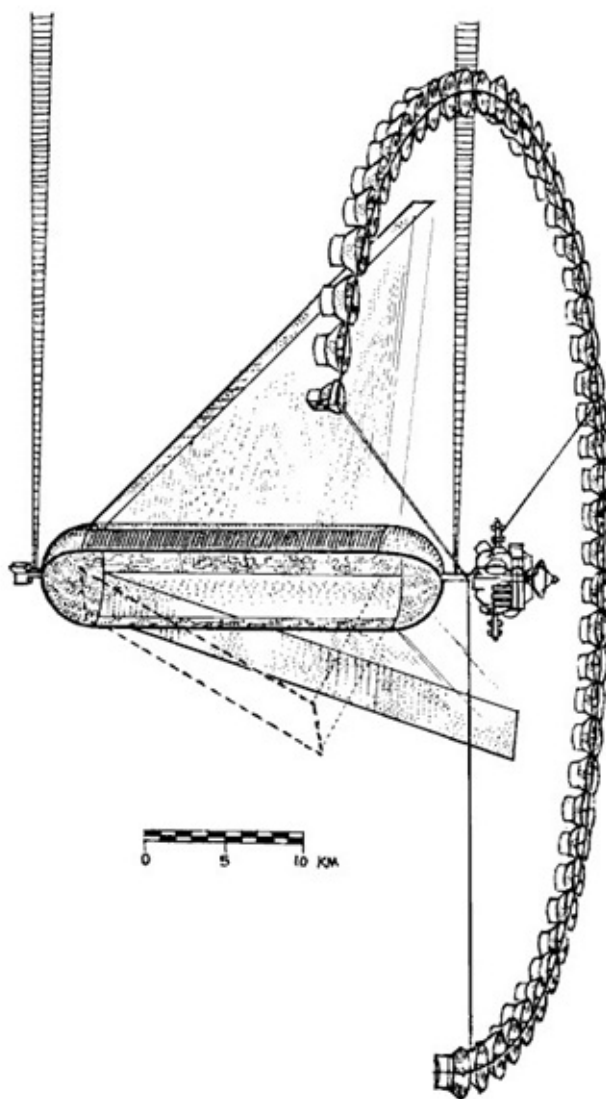
Valiéndose de los datos del doctor Bradfield es posible calcular la cosecha de productos agrícolas de una zona en el espacio, donde la temperatura será ideal en todo momento (probablemente como la de un cálido día estival en Iowa) y las demás condiciones climatológicas se mantendrán constantes. No hay razón, por tanto, para que no se puedan obtener de este modo cuatro cosechas por año.

En los países desarrollados estamos acostumbrados a una dieta variada y probablemente demasiado rica; en los hábitats espaciales nadie tiene por qué limitarse al arroz o a los cereales. Los dietistas nos dicen cuántas calorías y gramos de proteínas necesitamos diariamente cuando desarrollamos una actividad física, y las zonas de agricultura espaciales han sido proyectadas sobre esta base^[5]. Muchos de nosotros pensamos que con semejante dieta nos va a costar no engordar. En las primeras comunidades espaciales no será práctico criar vacunos para carne; son sin duda ineficientes en la tarea de convertir los alimentos vegetales en carne rica en proteínas, proceso en el que se pierden valiosos factores. Los pollos y pavos, en cambio, lo consiguen con más eficacia, y apenas algo menos los cerdos. El doctor Bradfield ha descubierto en el curso de sus experimentos con agricultura de elevado rendimiento que los desbroces y recortes de cultivos tales como el maíz y los boniatos pueden ser eficazmente usados como forraje para los cerdos^[6], y que semejante práctica puede ser muy bien aprovechada en los cilindros agrícolas de una comunidad espacial.

Con una dieta variada que incluya todo el maíz, cereales, pan de diversas facturas y repostería a los que muchos estamos acostumbrados, y con abundante volatería y cerdo, los colonos espaciales harán bien en seguir el ejemplo de nuestros antecesores los Padres Peregrinos y, así, celebrar el día de Acción de Gracias con un buen pavo, y Navidad con un sabroso jamón. No habrá necesidad de que nadie tenga que recurrir a las tortas de soja prensada y a la harina de pescado, a menos que guste especialmente de ellas. Con cuatro cosechas al año, un clima totalmente fiable, libre de huracanes y de heladas, y con las técnicas desarrolladas por el doctor Bradfield, las comunidades espaciales pueden sustentar fácilmente a veinticinco personas con algo menos de media hectárea de terreno cultivable.

Las zonas de cultivo del hábitat espacial serán probablemente muy pequeñas, acaso de tan sólo 2,5 km². Puede tratarse de cilindros, pero carecerán de espejos giratorios externos; simples reflectores cónicos serán más que suficiente, ya que un tallo o brote de maíz no repara en si la imagen que recibe del Sol es redonda o elíptica. Estas zonas serán mantenidas probablemente a escasa densidad de oxígeno, correspondiente quizá a la que existe en lo alto de las montañas, pues ello abaratará la estructura continente y también porque las plantas crecen mejor con menos aire. El clima será cálido y húmedo para la mayoría de cultivos y la diurnidad se controlará de modo muy poco costoso extendiendo una pantalla de lámina u hoja de aluminio en

gravedad cero fuera del cilindro y por delante de los espejos, con objeto de reducir o eliminar la cantidad de luz solar aferente. Si examinamos el interior de un cilindro tal, rara vez veremos agricultores, al igual que ocurre cuando se cruza, por ejemplo, el valle de San Joaquín, una de las zonas agrícolas de más elevado rendimiento en Estados Unidos; sucede en este caso que el agricultor ocasionalmente hallado conduce u opera siempre alguna máquina: plantadora, cosechadora, etc. En la comunidad espacial el apero mecánico puede contar con aire acondicionado, quizá hasta ajustado barométricamente, y desde luego, se encontrará protegido de la radiación debida a eventuales deflagraciones solares.



Isla Tres. Espejos variables permiten cambiar el ángulo de la luz solar durante el día.

Cuando llega el invierno al valle de San Joaquín, la temporada de cultivo queda total y drásticamente clausurada. Ello no ocurrirá en el hábitat espacial. En éste, cada cilindro dispondrá del clima y de la estación elegidos, pues estos factores pueden ser controlados regulando el contenido de humedad del aire y de la tierra y por la programación de los períodos de diurnidad. Con semejante control no hay razón

alguna para no ajustar la estación climática de cada cilindro, de modo que favorezca específicamente al cultivo que interesa, como tampoco la hay para no distribuir las diferentes estaciones o temporadas entre los distintos cilindros. Es posible establecer incluso una serie al gusto: enero, febrero, marzo, etc. Con tal grado de libertad será posible disponer siempre del cultivo deseado «a la sazón» en una de las colonias, para que los colonos que viven a pocos kilómetros de ella puedan disfrutar, por ejemplo, de fresas frescas en mitad de lo que para ellos sería enero.

A la larga, cuando se cuente con un abundante suministro de agua extraída de los asteroides, se podrá destinar ciertas zonas agrícolas a lagos y lagunas, tanto dulces como saladas, donde podrán criarse ostras, almejas, peces de todas clases y, quizá, hasta langostas, esa delicia amenazada de extinción.



Diseño para hábitat desértico.

La viabilidad de semejantes opciones depende de la constante disponibilidad de energía solar gratuita en el espacio, y del hecho de que esa energía puede ser usada en la producción de abonos químicos. Una fábrica que utilice energía térmica directa para convertir nitrógeno y oxígeno en óxido nítrico, adecuado para suministrar abono abundante para un hábitat espacial, requiere una superficie especular de concentración de tan sólo un metro cuadrado por persona, dada la elevada intensidad de la radiación solar en el espacio y su disponibilidad día y noche durante todo el año.

Prefiero pecar de prudente en mis estimaciones, de modo que para cuando las colonias espaciales sean realidad es muy posible que las condiciones sean mucho mejores de lo que yo «he prometido». Estudios detallados, auspiciados por la NASA en 1975 y 1977, con participación de expertos en agricultura de alto rendimiento, han puesto de relieve que, en efecto, las cifras dadas por mí rayan, en todo caso, en lo más modesto. La compañía General Electric está tan convencida del potencial de la

agricultura de gran productividad en ambiente cerrado, que en 1977 aportó los fondos necesarios para crear un invernadero piloto de un cuarto de hectárea del que se prefiguran cosechas mucho más elevadas que las que he nombrado.

Los hábitats espaciales funcionarán en base a un sistema de reciclaje total: los productos frescos, la fruta, las hortalizas, la carne, la leche y el queso pasarán directamente de las zonas de producción a las habitacionales, cuya corriente de retorno se compondrá de agua y de materias primas para las fábricas de abonos; nada será desechado. La circulación de todos los desechos por un horno solar de temperatura elevada garantizará la esterilidad de todo el material aferente a las zonas agrícolas, con lo cual quedará asegurada asimismo la ausencia de plagas de cualquier índole, incluso si hubieran sido introducidas accidentalmente en las zonas habitacionales. En el peor de los casos —si se introdujera o evolucionara una fitopatía cualquiera— el proceso de esterilización integrado en el reciclaje evitaría totalmente su propagación. Y tan pronto como el problema fuera detectado cabría una alternativa mucho más conveniente que el necesario recurso a pulverizaciones y venenos, obligado en la Tierra: bastaría con purgar el agua del cilindro contaminado a través de una caldera solar, de donde sería recogida en un depósito estéril, en tanto que dando paso franco a la luz solar mediante total apertura de las pantallas se elevaría la temperatura del cilindro afectado a cotas incompatibles con la vida de cualquier organismo. Al cabo de varios días o semanas de semejante tratamiento sería reintroducida el agua, repuestas las bacterias edafológicamente indicadas y reiniciado un nuevo ciclo de cultivo.

La densidad demográfica de los hábitats espaciales será regida por estrictos criterios económicos: se establecerá un coste fijo por kilómetro cuadrado de superficie comunal, bajo para las colonias pioneras y más alto para las más grandes. Un hábitat de gran diámetro requerirá una coraza de aluminio o acero de mayor grosor. Como he subrayado, un elemento clave en la colonización del espacio será la continuación inobstaculizada de la revolución industrial como proceso determinante del incremento de la productividad individual y de la riqueza. Este aumento puede, en cierto modo, ser medido en patrones de tiempo, si consideramos la variable correspondiente a la densidad demográfica. En las primeras fases no será posible, desde el punto de vista económico, construir y amortizar una comunidad a menos que ésta albergue una ingente fuerza laboral que compense los gastos de construcción dentro del plazo de amortización. Más tarde, a medida que la automatización, la productividad, y con ella la riqueza promedio, aumenten, será más fácil construir comunidades relativamente grandes con fines habitacionales con el concurso de una fuerza laboral escasa. Como veremos en un capítulo venidero, esta transición no llevará mucho tiempo; con un crecimiento normal de la productividad no llegará al siglo el tiempo necesario para reducir en un factor de diez la densidad poblacional.

Con todo, Isla Tres representa lo que podríamos llamar un modelo temprano, construido cuando la productividad no es mucho mayor que la característica de una

nación desarrollada en nuestra Tierra en el momento presente. Puede albergar una población de unos diez millones de personas, y justo es examinar ahora lo que semejante colectividad determinaría en lo tocante a las condiciones de vida.

Con la mitad de la población congregada en pequeñas ciudades establecidas en las laderas de las montañas, y la agricultura concentrada en los más o menos 700 km² correspondientes a los cilindros externos, los valles pueden destinarse enteramente a zonas verdes y pequeños núcleos suburbanos. Aunque los estilos de vida pueden ser tan variados como el origen nacional de los colonos, una posibilidad consiste en crear una serie de pequeñas poblaciones en el seno de un bosque. Un censo de 25.000 personas bastará, por ejemplo, para dar razón de la existencia de escuelas y comercios, y esta comunidad no tiene por qué extenderse más de dos kilómetros. Contando con buen tiempo y una suave variación estacional, las bicicletas y pequeños vehículos de tracción eléctrica serán más que suficientes para proveer a los desplazamientos locales, de manera que se tratará de una villa libre de automóviles y máquinas de combustión interna. Pese a referirme a Isla Tres como congregación de densidad alta, las circunstancias concurrentes en ella harán que no resulte en modo alguno atestada: una familia compuesta por cinco miembros podría contar con una casa de una planta, con cuatro o cinco dormitorios y espaciosa zona de recreo con jardín y patio de igual área, con lo que la mayor parte del pueblo quedaría libre para lugares públicos, escuelas, comercios y hasta un parque comunal.

Algunas particularidades de la geometría del hábitat abrirán nuevas vías al diseño de viviendas. Como muestra menor, la fea y ubicua antena de televisión presente en todos los suburbios americanos desaparecerá, para ser reemplazada por un equivalente integrado ya en la propia construcción y orientado hacia el vértice del casquete del cilindro. Con línea de visión directa y tan sólo unos kilómetros de alejamiento, la recepción de imágenes será ciertamente soberbia. Probablemente, para cuando semejante comunidad sea construida, todas las familias podrán comunicarse asimismo directamente mediante microondas con una librería central capaz de proporcionar inmediata respuesta sobre cualquier rama del saber, así como cumplida información sobre eventos de toda índole.

La energía eléctrica transmitida desde la estación solar exterior a través de cables subterráneos tendidos al tiempo de la construcción del hábitat, activará luces, aparatos domésticos y sistemas de aire acondicionado de manera regular, constante y limpia, es decir, no contaminante; la mayor parte de la energía se aplica normalmente a la cocción de los alimentos y a la calefacción de la vivienda; en Isla Tres, ese calor de aplicación directa puede ser sin más obtenido del Sol, sin necesidad de pasar por una fase intermedia como la electricidad. El terreno sobre el que se edifiquen las casas puede no tener más de sesenta o setenta centímetros de grosor, además de ser dotado en el momento de la construcción de diferentes canales de acceso directo a la coraza exterior. La energía solar será asequible incluso durante la noche, a muy poca distancia del piso de la vivienda. Reflejado por espejos externos, el calor solar

necesario, por ejemplo, en la cocina será conducido a través de un corto canal, para ser absorbido por la cara inferior de una simple plancha metálica.

Así, cualquier aparato eléctrico de esa clase puede ser sustituido por una sencilla superficie de cocción alimentada por un espejo colector de un par de metros cuadrados, de acción fácilmente cancelable mediante una cortinilla. La calefacción de las diferentes dependencias de la casa puede proceder del mismo modo. Que sea éste el método a la postre adoptado, dependerá tan sólo de consideraciones económicas y de diseño. Puede que la energía eléctrica resulte en definitiva tan barata que, por eventuales razones de conveniencia, se opte resuelta y enteramente por ella.

Las viviendas de Isla Tres contarán asimismo en su diseño con un detalle que ninguna construcción de la Tierra puede igualar: una ventana en la sala de estar con una orientación tal que permita la contemplación inobstaculizada de la inmensidad del espacio, con las brillantes estrellas en majestuoso desplazamiento a través del campo de visión conforme al invariable ciclo rotatorio de dos minutos de Isla Tres.

Las instalaciones productivas de la comunidad espacial que describimos pueden ser de dos clases: industria ligera, ubicada en las ciudades y aun en los mismos pueblos, e industria pesada, enteramente fuera del hábitat. En la Tierra la industria debe competir con nosotros por el terreno donde asentarse. Este conflicto no se producirá en Isla Tres.

Un complejo industrial situado justamente fuera de uno de los extremos de la comunidad y libre de rotación será ideal para procesar y elaborar los materiales lunares en productos acabados. En cada uno de los extremos de los hábitats cilíndricos puede emplazarse un delgado disco, sin rotación, de industrias que operen en gravedad cero; un disco tan grande como el casquete hemisférico de la colonia y sólo del grosor requerido por la industria o fábrica en cuestión. Con semejante diseño, cada uno de los establecimientos allí radicados puede disponer de su propio acceso directo al espacio para recibir consignaciones de materias primas y expedir sus productos. Esta geometría ha de permitir que el calor desechado por esas industrias sea radiado con igual facilidad al frío espacio exterior. Los obreros de tales industrias en gravedad cero pueden desplazarse desde el eje del cilindro a sus respectivos lugares de trabajo en unos pocos minutos, a través de un gran corredor con aire, pero sin gravedad, impulsándose en origen para emprender vuelo libre a su destino, y pudiendo leer entretanto sus respectivos periódicos diarios.

Los productos de esas industrias agravitacionales pueden ser ciertamente muy grandes. No hay razón por la que una fábrica externa no pueda construir y montar enteramente una estación completa de energía solar, que luego sería botada suavemente al medio ingrávido para su traslado al lugar de uso prefijado.

En un medio tan rico en energía como será el de toda comunidad espacial, resultará muy fácil separar de los productos de desecho industrial aquellos materiales susceptibles de reutilización; pero si escapasen humos o gases cualesquiera de alguna planta fabril, la fuga no contribuirá en modo alguno a la contaminación del ambiente,

ya que será expulsada por el viento solar más allá de los confines de nuestro sistema.

En las zonas agrícolas de Isla Tres estarán vedados los animales, salvo aquellos insectos destinados a la polinización; no hay razón alguna para tener en ella aves que, naturalmente, atacarían las cosechas.

Sin embargo, en las principales zonas habitacionales podemos hallar el medio ideal para la supervivencia de determinadas especies amenazadas de extinción en la Tierra. No será necesario el empleo de insecticidas u otros tóxicos, y los desechos industriales, de haberlos, se los llevará el viento solar para no entrar jamás en el propio hábitat. En tales condiciones y previa selección apropiada de las especies que habrán de formar el ecosistema inicial, no ha de ser difícil la introducción y asentamiento en las zonas no agrícolas de algunos de los animales, raros ya en la Tierra, cuya conservación pueda interesar.

En fin, todo paso con miras a la colonización del espacio redundará en beneficio de los programas conservacionistas también en otro sentido: aliviando a la Tierra de la industria y de la presión demográfica, de modo que las especies de animales, aves y peces actualmente en peligro renueven sus posibilidades de supervivencia.

6

LA NUEVA TIERRA

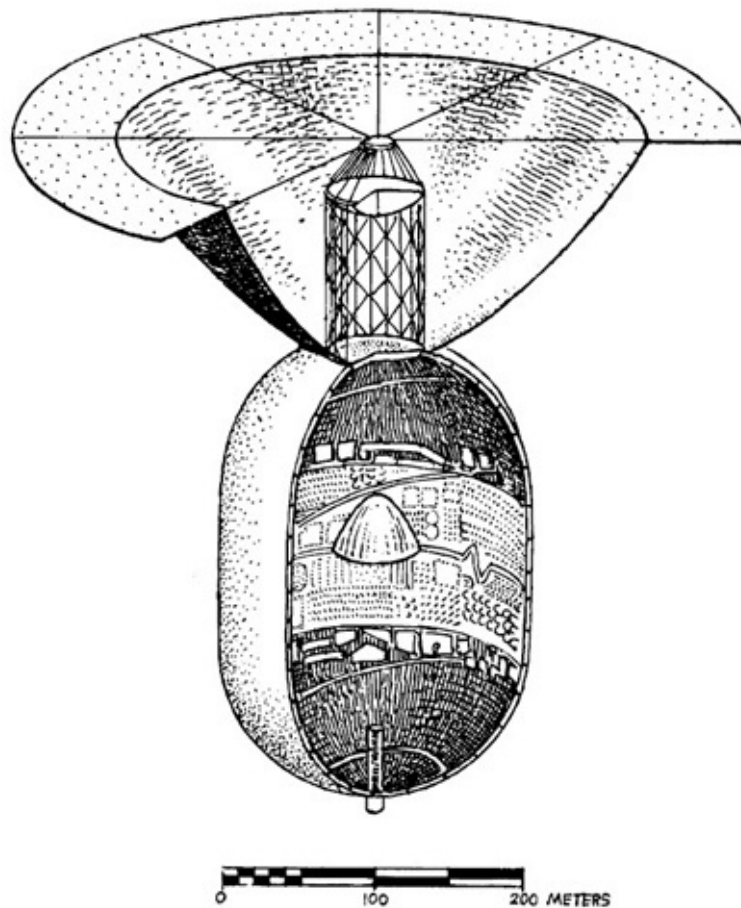
Unas pocas horas, papel, lápiz e imaginación libre bastarán para convencer al lector de que son muchas las estructuras geométricas posibles para los hábitats del espacio. En el futuro lo más probable es que al diseñar el medio habitacional y el entorno, los pobladores del espacio aprovechen en buena medida los diferentes grados de libertad que representan la ausencia de gravedad, la diurnidad regulable y las favorables condiciones climáticas. La razón de que yo describa unas condiciones mucho más ceñidas al patrón terrestre estriba en que quienes hemos de decidir eventualmente qué prioridades fijar, habremos de hacerlo necesariamente en base a modos de vida conocidos y generalmente válidos para la mayoría de los pueblos de la Tierra. Nuestros descendientes, nacidos ya en un medio ingrátido y hechos al control estacional como algo absolutamente común en sus vidas, se revelarán indudablemente más imaginativos a la hora de hacer uso de esas circunstancias del modo más conveniente. Quienes vayan a poblar las primeras comunidades espaciales carecerán, claro está, de esta ventaja inicial; bastante chocante les resultará ya sin duda el desarrollo acelerado de los acontecimientos y la transición de un medio conocido y sobre todo «habitual» a otro absolutamente insólito; de ahí que acaso les resulte estimulante el saber que el futuro les depara unas condiciones de vida en cierto modo semejantes a las que conocieran en la Tierra.



Poblado en Isla Uno

En esta línea, es interesante considerar algunas de las posibilidades existentes con miras a modelar directamente ciertas porciones de la Tierra particularmente atractivas. Una zona de valles de unos tres kilómetros por treinta puede que parezca más bien modesta; con todo, se revela sorprendentemente grande en comparación con algunos de los lugares preferidos de la humanidad. La mayor parte de la isla de Bermuda, inclusive su encantadora Costa Sur, de resonancias tan británicas, podría ser reproducida con facilidad en aproximadamente la mitad tan sólo de uno de esos valles espaciales. Sin embargo, habrá que esperar a que la densidad demográfica haya descendido apreciablemente y a la disponibilidad abundante de agua procedente de los asteroides para que tal lujo pueda siquiera ser considerado. Conocemos una pequeña pero encantadora porción de la costa californiana, donde se encuentra por ejemplo la población de Carmelo, que goza de la especial predilección de artistas, escritores y visitantes en general. La superficie utilizable en una comunidad espacial de Isla Tres sería más de veinticinco veces mayor. Esperemos que al igual que hicieran nuestros antecesores en el continente, que con añoranza decidieron llamar «Nueva Inglaterra» a su frontera, por lo menos algunos de los colonos del espacio optarán por modelar sus cuidados y pueblos a imitación de las zonas más bellas de la Vieja Tierra.

Hace tan sólo un año me habría sido necesario escribir largo y tendido acerca de la estructura de los hábitats: sus cables de acero y aluminio, sus caparazones metálicos albergue de las fuerzas atmosféricas y de rotación, los solarios que permiten la entrada de la luz del Sol y que retienen la atmósfera, etc. Eso ya no es necesario actualmente: un nutrido número de ingenieros en diferentes organizaciones gubernamentales y privadas han verificado los cálculos pertinentes. Baste decir, pues, que las técnicas de construcción no son básicamente nuevas, sino más bien variaciones de los métodos aplicados en la Tierra para obras civiles y navales. La resistencia asignada al aluminio corresponde a algunas de sus aleaciones, bien conocidas, y los factores de seguridad introducidos concuerdan con los existentes en cualquier manual estándar de ingeniería. En cuanto a los cables de acero, las cifras manejadas son semejantes a las que están a la orden del día en la construcción de puentes colgantes, más elevadas pero ni siquiera de valor doble al común en obras terrestres de hace cincuenta años.

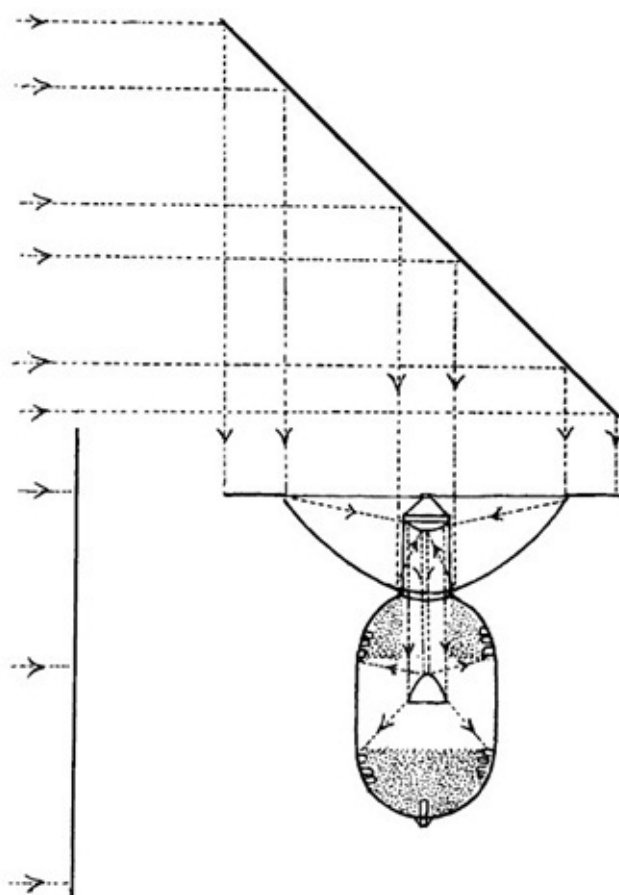


Diseño de M.I.T. para hábitat con protector integrado

Sin embargo, hay un problema de física básica que merece ser discutido con más detalle, puesto que una de sus eventuales soluciones abre cierto número de posibilidades que acaso deseen explotar los futuros pobladores del espacio. Un cilindro espacial en rotación constituye un giroscopio, y tratándose de una comunidad espacial, un giroscopio de dimensiones ciertamente descomunales. Como aprendimos en la escuela, semejante aparato mantendrá constantemente la orientación de su eje de giro en relación con las distintas estrellas, siempre que su movimiento sea libre. En este principio se basa la brújula giroscópica. En el caso de un hábitat espacial, la acción giroscópica podría presentar problemas: el mero empleo de la luz solar, así como las necesarias disposiciones para obtener luz natural y para el ciclo alternativo día-noche exigen que la luz del sol llegue siempre paralelamente al eje del cilindro. Una forma de satisfacer esta condición, consiste en orientarlo perpendicularmente a la órbita de la comunidad alrededor del Sol y contar con un espejo muy ligero, en un ángulo de cuarenta y cinco grados, que reflejaría dicha luz a lo largo del eje en cuestión.

Alternativamente, el eje del cilindro puede hallarse en el plano de la órbita. En un año, y dado que la comunidad se mueve con la Tierra alrededor del Sol, el eje debe girar una revolución completa. Con objeto de proveer a ese movimiento de rotación del eje del cilindro, que los físicos cinemáticos denominan precesión, es necesario

aplicar determinadas fuerzas, las cuales no es preciso que sean grandes, ya que el ritmo de precesión será lento: de un solo grado diario aproximadamente. Los cálculos efectuados al respecto muestran, efectivamente, que esas fuerzas serán de sólo una diezmillonésima del peso que tendría el cilindro en la Tierra. Habrá que recurrir a dos fuerzas iguales y opuestas, que pueden ser aplicadas sobre amortiguadores huecos en los extremos del cilindro; el esfuerzo soportado por dichos amortiguadores será pequeño en comparación con el que imponen las cargas de choque de una locomotora diesel o la toma de tierra de un aeroplano, con lo cual no es necesario que los amortiguadores sean especialmente resistentes, de modo que su construcción e instalación no habrá de presentar dificultades. Torres de compresión o tensión absorberán las fuerzas en cada extremo. La apariencia, pues, del conjunto no dejará de parecerse en su trama y sutileza a las acostumbradas antenas de radio de la Tierra.

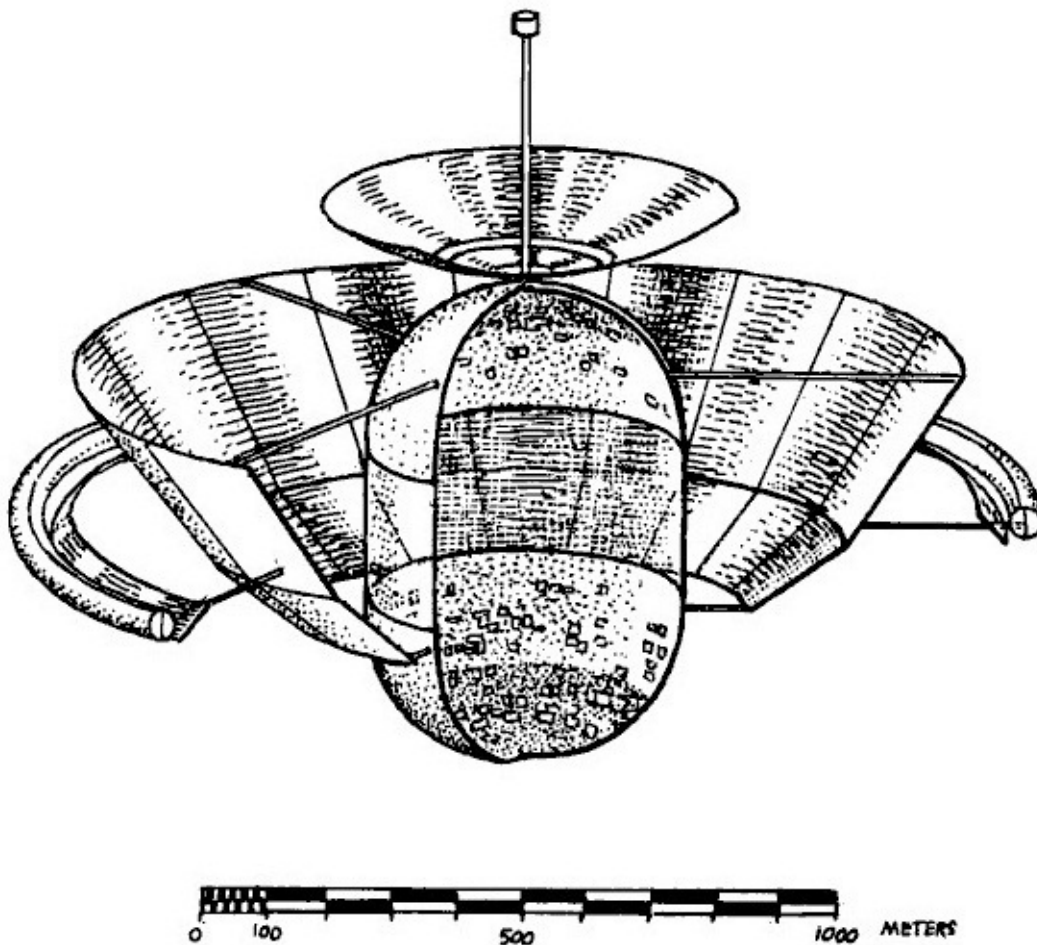


Entrada de luz solar, diseño para hábitat M.I.T.

Pero ¿de dónde podemos sacar la palanca necesaria para mover ese pequeño mundo? Una solución sencilla sería conectar las torres mencionadas a otro cilindro idéntico en masa y tamaño al primero. De esta manera cada uno de ellos podría proporcionar la fuerza que necesita el otro. Un hábitat puede situarse por encima del plano de translación de la Tierra alrededor del Sol, y el otro justo por debajo del mismo. Podemos convencernos de la idoneidad de semejante solución, considerando que cuando dos cilindros giran en sentido opuesto, el valor global de su acción

giroscópica es cero; en consecuencia no habrá oposición alguna a que puedan girar como par, de modo que una vez haya sido establecida esa lenta precesión, la conservarán eternamente sin que deba mediar corrección alguna.

O sea que, para satisfacer las ecuaciones de la mecánica, los pobladores del espacio pueden adoptar una estructura que vincula entre sí dos hábitats cilíndricos para conformar una comunidad completa. No se necesitará energía alguna para establecer semejante disposición, ni habrá que contar con el impulso que puedan suministrar unos cohetes para poner en juego las fuerzas anteriormente mencionadas, así que la solución debiera revelarse poco costosa. Por otra parte, la pieza en tensión no necesita tener un diámetro mayor que el de una taza de té.



La luz entra por el ecuador; zona externa destinada a la agricultura.

Si adoptan esta solución, los colonos descubrirán que lleva anejos algunos otros beneficios. El primero se refiere a la fase estacional: el programa establecido para los espejos de los respectivos hábitats gemelos será independiente, de modo que las estaciones que imperen en uno y otro pueden ser tan distintas como se les antoje a sus respectivos pobladores. En uno puede ser enero, en tanto que el otro goza de la calidez de junio. Otra posibilidad consiste en establecer un clima más bien extremo en uno de los hábitats, con máximos y mínimos quizá tan señalados como los de Nueva Inglaterra; veranos cálidos y limpios y nevados inviernos para la práctica del

esquí y para gozar de unas «blancas Navidades» dickensianas. El otro hábitat, a sólo ochenta kilómetros de distancia, podría contar con un clima tan exuberante y tropical como el de Hawai. Si puede hacerse que el viaje de uno a otro hábitat resulte fácil y barato, es obvio que sus moradores contarán con nuevas y atractivas opciones con sólo cambiar de estación o de zona climática.

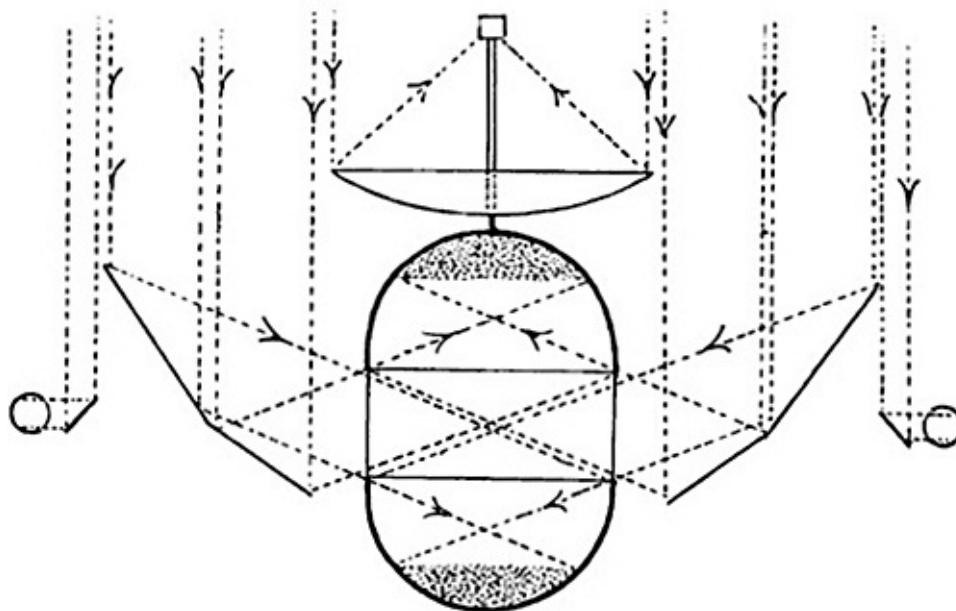
Dada la rotación de ambos cilindros en el espacio, paralelos entre sí y a sólo ochenta kilómetros de distancia uno de otro, sus habitantes podrán aprovecharse de la rotación que determina una gravedad terranormal en los valles del hábitat. En el caso de Isla Tres esa rotación es del orden de unos 600 km por hora. Imaginémonos ahora un sencillo vehículo, menos complicado incluso que un autobús de la Tierra: con numerosos y amplios asientos, pero desprovisto de motor y de tripulación. Cuando sus pasajeros lo aborden, descendiendo escaleras abajo desde sus habitáis como si en realidad fueran en busca del Metro, el vehículo permanecerá acoplado a la superficie externa del hábitat. Una vez cerradas sus puertas, un computador aguardará a que en el ciclo de rotación del cilindro se llegue al momento correcto para proceder a la liberación del vehículo. Moviéndose en el espacio en línea recta, con la velocidad tangencial del hábitat, el vehículo llegará al otro cilindro en menos de ocho minutos. Al ser liberado se le impartirá una ligera rotación que le hará dar media vuelta sobre sí mismo en el transcurso de los pocos minutos de su vuelo. Llegado al punto de destino hallará la superficie del segundo cilindro moviéndose a su misma velocidad, de manera que no tendrá dificultad alguna en atracar por simple acoplamiento en un embarcadero semejante al abandonado en origen. Tras unos pocos minutos en gravedad cero, los pasajeros verán restablecido su peso, podrán dejar sus respectivos asientos y, una vez tomado el «ascensor», ser transportados a un mundo enteramente diferente, quizá tanto como puedan serlo Polinesia y el Maine invernal. Este medio de transporte debiera resultar baratísimo, pues no implica consumo alguno de energía. Comprendo que ello resulta algo intranquilizador, como si se tratara de una pretensión de movimiento perpetuo; el caso es que es verdad: la transferencia de un cilindro a otro por medio de semejante vehículo no requerirá consumo de energía^[1]. Dada esta favorable circunstancia y la gran eficiencia de un vehículo que puede efectuar varios viajes en una hora, el coste del viaje ha de resultar irrisorio. Es fácil imaginarse a grupos de jóvenes de excursión a uno u otro cilindro, armados de buen humor y portadores de esquís, para la nieve o para el agua, según el clima elegido, y todo ello por el precio de un billete normal de autobús.

Muchos de los habitantes de Isla Tres se desplazarán diariamente entre sus hogares en los valles y sus lugares de trabajo en las ciudades o en las industrias ubicadas en las zonas agravitacionales.

Gracias a los nuevos grados de libertad acordados por las particulares circunstancias de su nuevo mundo, podrán hacerlo de manera infinitamente más cómoda y relajada que sus homólogos terrestres.

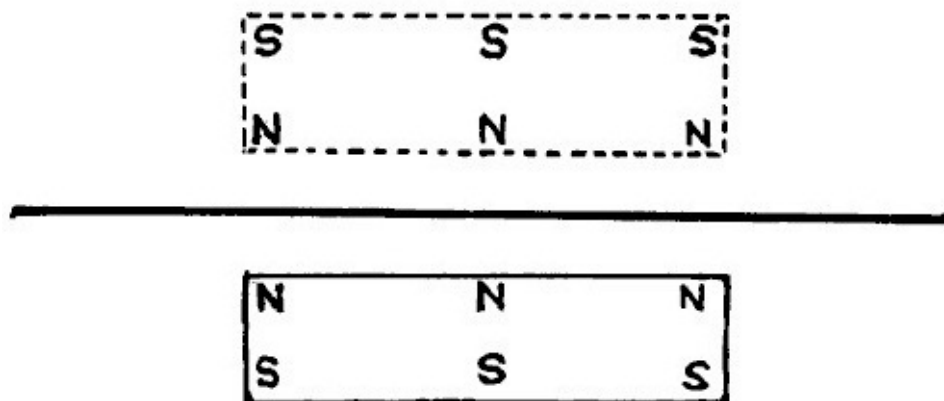
Los valles formarán líneas naturales de comunicación entre las ciudades y los

asentamientos suburbanos; ninguna comunidad distará más de dos kilómetros del centro de su valle. Para distancias así huelga decir que las bicicletas y los cochecitos eléctricos de velocidad similar serán más que suficientes. En los centros de los valles, en cambio, será natural contar con sistemas de transporte más rápido; también en este caso se ofrece una nueva opción.



Dirección de entrada de la luz solar.

En el curso de los diez últimos años, varios países han empezado a investigar lo que se ha dado en llamar «levitación magnética dinámica», consistente en la fuerza elevadora que se produce en un vehículo cuando éste ha sido equipado de imanes permanentes y «vuela» sobre una guía conductora^[2]. La tecnología de los superconductores, aplicada prácticamente sólo desde hace unos diez años, hace posible que un vehículo mantenga un intenso campo magnético de manera constante sin gasto de energía. Si un vehículo permanece inmóvil por encima de una pieza de aluminio, caerá sobre ella tan pronto sea desprovisto de sujeción; pero si se le imprime un movimiento hacia adelante, las corrientes inducidas por su campo en su desplazamiento generarán otro campo de signo contrario, de efecto siempre elevador. La levitación magnética dinámica presenta varias ventajas como sustituto de las ruedas y raíles en los sistemas de transporte: es eficiente, ofrece una traslación suave, sin sobresaltos, incluso a elevada velocidad y, sobre todo, no requiere de excesiva precisión en el emplazamiento y nivelación de la «pista». El sistema de levitación magnética, a veces llamado «maglev» o «magneplano» es intrínsecamente capaz de grandes velocidades, de trescientos a quinientos kilómetros por hora. En la Tierra son varios los factores que dificultan el logro de semejantes marcas, pues la fricción aerodinámica y el alto nivel de ruido producido por un tren saizando la atmósfera a nivel del mar y a esta velocidad constituyen obstáculos de importancia ciertamente mayor.



Vuelo magnético. Un imán en rápido movimiento induce polos simétricos en una superficie conductora y crea una fuerza elevadora.

En un hábitat espacial la levitación magnética se nos ofrece con todas sus ventajas, pues el vacío elevado le proporciona las mejores condiciones operativas, y el magneplano puede desplazarse sin fricción y sin ruido a grandes velocidades. Es probable que los residentes en el espacio, una vez llegados a una estación distante como mucho dos kilómetros de sus respectivos hogares, se desplacen en ellos al paso moderado de sus cochecitos eléctricos, los cuales se desplazarán automáticamente a lo largo de las pistas para bicicletas tras el señuelo de un cable conductor subterráneo. Una vez en el interior de la estación del magneplano, los viajeros descenderán a través de la coraza del hábitat para embarcarse en el vehículo eléctrico de punto. Este cerrará sus puertas, un diafragma sellará la entrada, y el magneplano empezará a acelerar a pocos metros por debajo de la superficie del valle, para alcanzar en silencio una velocidad de quinientos kilómetros por hora en menos de un minuto. Poco después iniciará su deceleración para detenerse en la parada urbana o, si ha sido programado para hacerlo en la estación agravitacional próxima al soporte hueco del casquete, discurrirá gracias a su impulso elevador magnético hasta la cara externa del hemisferio para detenerse finalmente en un punto a partir del cual podrá proseguirse viaje sin el concurso de vehículo alguno, en el vuelo de deriva que permite la ausencia de gravedad. Con ilimitada energía eléctrica a bajo coste suministrada por la estación solar del hábitat y mediante control por ordenador de sus movimientos, es probable que esos eficaces vehículos puedan operar con intervalos de sólo unos pocos minutos, de modo que quienes deban desplazarse a las industrias o al hogar, de regreso de éstas, no tendrán que preocuparse de horario alguno al serles posible el traslado en cualquier momento.

En un capítulo anterior se ha sugerido un método para el transporte desde una comunidad cualquiera del personal empleado en un complejo industrial, que podría estar situado a ciento cincuenta kilómetros de aquélla. Las razones de semejante alejamiento podrían deberse a la conveniencia de aislar el hábitat del calor de desecho irradiado por una unidad con elevado consumo de energía, cuando no, sencillamente, a la disponibilidad de personal que libremente ha decidido asentarse en lugares

diversos, de climatología distinta y, por consiguiente, puede que muy alejados entre sí.

Algo semejante podría aplicarse al transporte a larga distancia. Una esfera muy parecida a la mencionada de circunvalación para líneas de cercanías, aunque quizá de menor cabida, podría proporcionar condiciones óptimas de lujo y comodidad. Mientras es acelerada, la esfera puede recibir cierto impulso de rotación que le imponga una mínima gravitación a fin de simplificar algunas funciones prácticas, tales como el comer y la visita a los lavabos. Me hace gracia el comentario de Arthur Clarke acerca de la alternativa: aceleración y deceleración rápidas con gravedad cero entre las dos: «La mitad del tiempo el lavabo está fuera de alcance; la otra mitad, fuera de uso».^[3]

Como hemos visto en la Tierra, las velocidades propias de los reactores comerciales son del todo adecuadas para los viajes intercontinentales pero, lamentablemente, las condiciones en que semejantes viajes tienen lugar son más bien incómodas: los factores aerodinámicos y la necesidad de contar con una tripulación a bordo —que atienda a las variaciones del tiempo, a los fallos mecánicos y a la compleja operación de la toma de tierra— imponen la necesidad de diseñar aeronaves demasiado grandes para resultar acogedoras y demasiado atestadas para ofrecer verdadero descanso.

Para un vuelo como el de Nueva York a Los Angeles, pero en una «esfera portadora» eléctricamente acelerada que comunique las diferentes colonias espaciales, llegar a la velocidad de crucero llevará sólo un minutos aproximadamente. El resto del vuelo no supondrá gasto alguno, salvo, claro está, el de amortización del coste inicial del vehículo y su mantenimiento, además del que contempla el capítulo de la alimentación y servicio de cabina. Una gran diferencia entre el vuelo atmosférico y el que tiene lugar en el vacío consiste en que en el espacio no debemos preocuparnos por la velocidad del sonido. Se podrá viajar a velocidades superiores a las del Concorde, sin que ello suponga contaminación alguna de la atmósfera ni estampidos por causa de la barrera del sonido. Aun teniendo en cuenta los costes implícitos en la construcción del vehículo en cuestión, así como determinados factores de carga, utilización y programas de amortización similares a los calculados para los reactores comerciales de la Tierra, resulta que el vuelo en semejante esfera podría salir a la quinta parte, por pasajero-kilómetro, de lo que cuesta actualmente un viaje en un reactor moderno como el Lockheed L-1011, por ejemplo. Parece raro que la esfera portadora pueda ser un vehículo comparativamente mucho más sencillo, pero los hechos cantan: carece de motores, de complejos instrumentos electrónicos y de elaboradas estructuras que tengan que vérselas con esfuerzos impuestos por la atmósfera. Y, además, no habrá consumo alguno de carburantes, cada vez más escasos.

Es interesante considerar qué significará tal eficiencia para los desplazamientos a corta distancia. En una esfera de circunvalación, por ejemplo, por menos de lo que

cuesta tomar un taxi en la Tierra, un hombre podría llevar a su esposa a cenar a otra comunidad; unos pocos minutos en el cochecito eléctrico, cinco minutos en el magneplano, media hora de vuelo en una esfera portadora, y la pareja se encontraría en otro hábitat, elegido entre docenas existentes en un radio reducido del propio. Ello podría significar el acudir a un concierto o representación de ópera, o simplemente a un restaurante, en una comunidad que podría ser tan diferente en cultura e idioma como lo es Roma de Kansas City.

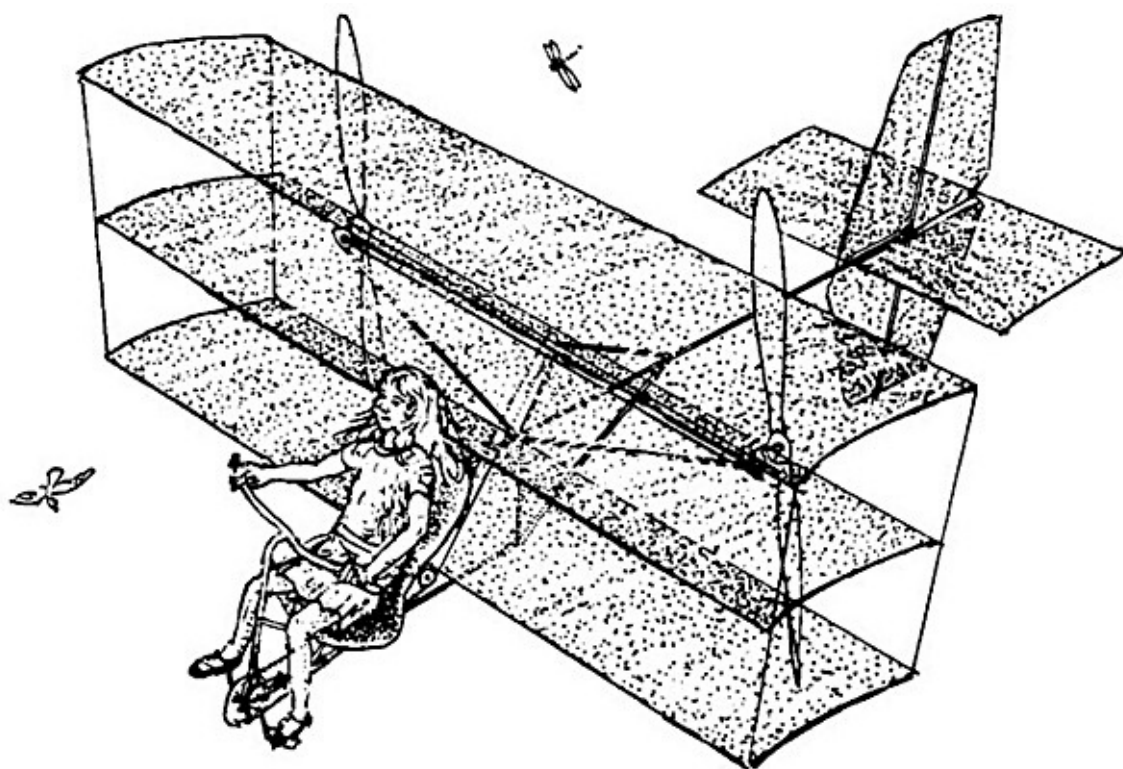
Por razones de salud debiéramos pasar parte de nuestro tiempo en gravedad terranormal; sin embargo, muchas de las actividades recreativas de los residentes aprovecharán indudablemente esa nueva opción jamás conocida en la Tierra: contar con la gravedad que deseen simplemente desplazándose a la distancia adecuada del eje del cilindro, pues si en él la gravedad será nula, a medida que uno vaya acercándose al fondo del valle aumentará hacia el valor normal en la Tierra.

Seguramente se inventarán nuevos deportes que hagan uso, precisamente, de esa nueva circunstancia: el fútbol tridimensional podría ser uno de ellos. Otros, practicados ya de antiguo, resultarán mucho más divertidos en condiciones de escasa gravedad. En una piscina próxima al eje del cilindro una zambullida podrá efectuarse a cámara lenta, como si dijéramos, y las olas se sucederán de manera tan pausada como en sueños. Quienes disfrutamos de la inmersión autónoma somos informados en todo momento, por la presión que castiga nuestros oídos, de que el agua no es ciertamente nuestro elemento. Una piscina próxima al eje del cilindro o un pequeño y poblado mar, con todo lo que el mundo submarino ofrece en su exuberancia, quizá en uno de los cilindros exteriores, podría dar a los nadadores del hábitat la libertad de olvidarse de los cambios de presión impuestos por la profundidad, y el goce de verse capaces de nadar y maniobrar con la misma soltura que los peces.

No es probable que ninguna de las comunidades decida cargar con las inconveniencias del vuelo motopropulsado, por aquello del ruido y del humo, pero el planeo —la utilización de las corrientes de aire para el vuelo sin motor— será posible. Como piloto de planeadores sé que son muchos los que experimentan una definitiva sensación de gozo y bienestar al paso de un planeador, contemplado incluso desde la tierra firme; como ha dicho Richard Bach, puede que haya algo de Juan Sebastián Gaviota en cada uno de nosotros^[4].

Desde los tiempos de la Grecia clásica, y puede que aún de antes, no han sido pocos los hombres fascinados por la posibilidad de volar a expensas de su propia fuerza. Leonardo da Vinci estaba verdaderamente obsesionado por esa idea y llenó libros y cuadernos de apuntes, notas, esquemas y diseños de máquinas que le permitieran realizar sus sueños. En los tiempos modernos ha habido, ciertamente, vehículos propulsados por la fuerza muscular del hombre, capaces de sostener su vuelo a lo largo de cortas distancias; condicionados por la gravedad, el sueño dista mucho de poder convertirse en realidad. Sin embargo, en las comunidades espaciales estará al alcance de cualquiera, no sólo de atletas. Cerca de los ejes de los cilindros, y

en unas condiciones gravitatorias próximas a cero, prácticamente cualquier clase de máquina voladora activada muscularmente, inclusive las de Leonardo, podrá volar. No es descabellado el imaginarse a personas mayores, de uno u otro sexo, gozando de su paseo vespertino habitual mientras pedalean pausadamente en sus máquinas voladoras a varios kilómetros por encima de ciudades y pueblos. Como quiera que se hallarán sujetos a una gravitación inducida por la rotación, podrán variarla a voluntad, volando a favor o contrariamente al sentido de giro del hábitat. Distanciados del eje en medida semejante a la altura de un edificio elevado, les será posible anular la fuerza de la gravedad pedaleando a velocidad común, siguiendo la dirección adecuada.



Diseño para vehículo volador de autopropulsión humana, para uso en axial región axial en baja gravedad.

Como en las playas destinadas a los bañistas, los habitantes del espacio tal vez tengan que adoptar ciertas medidas de seguridad. Se nos ofrecen por lo menos dos posibilidades: una consiste en la disposición de una red cilíndrica casi invisible que evite el alejamiento excesivo de un volador fatigado hacia una zona de gravedad alta. Otra sería el concurso de un paracaídas permanentemente montado en el pedalo plano y listo para abrirse si el paseante desciende demasiado.

Donde finalizan los valles y los hemisferios inician su curva ascendente hacia el eje del cilindro, se nos antoja muy poderosa la tentación de modelar algunas de las montañas de la vieja Tierra. La ascensión a la cumbre será, no obstante, mucho más fácil que en nuestro planeta: a medida que el montañista vaya escalando alturas y sintiendo cómo aumenta su cansancio, la gravedad disminuirá con cada metro ganado. Para cuando se encuentre en una cota situada a dos tercios de la altura, su

peso equivaldrá a la tercera parte del que tenía en la Tierra o al comenzar el ascenso, que, por consiguiente, podrá finalizar prácticamente a saltos. Una vez en la cima, a mil quinientos metros sobre el valle, no pesará nada. Habrá atrás las nubes al trasponer la cota de los mil metros, pero comprobará que la atmósfera ha perdido densidad sólo en grado equivalente al propio de una escalada, en las montañas de la Tierra a mitad de la altura lograda.

He dedicado gran parte de este capítulo a los aspectos serios de la vida en una colonia espacial; así, no hemos abordado cuestiones de orden económico o de producción sino de entretenimiento y diversión. Parece apropiado, pues, cerrar la exposición recordando una memorable conversación que sostuve en el curso de un almuerzo: en los años precedentes al conocimiento generalizado de los temas incluidos y tratados en este libro, yo había adquirido la costumbre de preguntar a mis interlocutores cuál era su deporte preferido, para añadir seguidamente que en el espacio podía practicarse con mucha más facilidad que en la Tierra. Finalmente, alguien nombró una deliciosa actividad que, incluso en estos tiempos tan libres de inhibiciones, suele realizarse en privado. El escéptico se convirtió al instante: ¿puede alguien imaginarse un emplazamiento mejor para un hotel que acoge a huéspedes en luna de miel, que la región de gravedad cero de una comunidad espacial?

7

RIESGOS

Casi todas las actividades humanas entrañan cierta medida de riesgo. Ocasionalmente, en un estado de ánimo macabro, he reflexionado sobre el hecho de que en cualquier momento todo ser humano, por sano que se encuentre, está a un minuto o dos de la muerte si se da de pronto un determinado conjunto de circunstancias adversas. Cuando diserto sobre el tema de las comunidades espaciales es natural que algunas de las cuestiones suscitadas aborden la posibilidad de que se produzcan en aquéllas una catástrofe. Dada la fragilidad de la vida, la posibilidad existirá siempre, de modo que tratemos de cuantificarla estimando los riesgos implícitos en la colonización humana del espacio. Resulta reconfortante descubrir que, de hecho, son menos de los que nos acechan aquí en la Tierra en el curso de nuestra actividad cotidiana.

Casi invariablemente la primera pregunta sobre los hábitats espaciales tiene que ver con los meteoroides. Se trata, en su mayoría, de granos de polvo presentes en el sistema solar desde su formación hace miles de millones de años. A medida que la Tierra describe su giro anual alrededor del Sol, la traslación a que estamos sometidos se produce a una velocidad casi constante del orden de treinta kilómetros por segundo: mayor que cualquiera de las velocidades relativas necesarias para lanzar un satélite o viajar a L5, e incluso para alcanzar un asteroide. Los más de los granos de polvo que encontramos en nuestro viaje anual alrededor del Sol se mueven con relativa lentitud, de modo que las velocidades comparativas con que se nos aproximan son del orden de la que anima a nuestro planeta. Los meteoroides más veloces corresponden a granos de polvo que se mueven en órbita circular alrededor del Sol, pero en dirección contraria a la nuestra: la suma de ambas velocidades supone un encuentro a velocidad doble.

La mayoría de los meteoroides son de origen cometario más que asteroidal, y pueden ser considerados como conglomerados de polvo posiblemente aglutinados por gases congelados^[1]. Por consiguiente, si nuestros conceptos científicos actuales son correctos, un meteoroide típico se parece más a una pequeña bola de nieve que a una roca. Con todo, incluso uno de dimensiones muy reducidas encierra una enorme cantidad de energía a causa de su velocidad; afortunadamente, casi todos son de tamaño microscópico: en la curva de frecuencias de aparición, el número desciende rápidamente a medida que aumenta el tamaño. Los sensores instalados en las naves espaciales han recogido ya abundantes y preciosos datos sobre meteoroides de pesos comprendidos entre 1 gramo y una millonésima de gramo^[2]. Por encima de este valor, la probabilidad de dar con un meteoroide es tan pequeña que en un viaje de varios años una nave espacial no registra apenas dato alguno.

En lo tocante a los meteoroides de tamaño comparativamente grande, la serie de

vuelos Apolo nos ha dejado un legado científico especialmente importante al respecto: la red sismológica Apolo, una serie de sismómetros muy delicados instalados en la Luna. Estos instrumentos continuaron registrando datos durante muchos meses después de que fueran cancelados los vuelos que los instalaran; no sólo han dejado constancia de los selenemotos, sino también de las colisiones de meteoroides contra la superficie lunar. Es tal su sensibilidad que los constructores aseguran que pueden detectar cualquier impacto que se produzca en la Luna por causa de un meteoroides del tamaño de una pelota de fútbol. Afortunadamente, esos dos medios independientes para la medición de la distribución dimensional de los meteoroides concuerdan en medida suficiente y nos permiten estimar con bastante certeza qué probabilidad cabe de que se produzca el impacto contra el hábitat espacial de un meteoroides de tamaño dado.

Existe aún un tercer método para medir esa distribución dimensional. Es ingenioso y relativamente barato: una serie de cámaras fotográficas con objetivos gran angulares que forman un conjunto llamado «Prairie Network» (Red de la Pradera), distribuido en más de dos millones de kilómetros cuadrados de las zonas agrícolas de escasa población en la zona central de los Estados Unidos. Cuando un meteoroides penetra en nuestra atmósfera dejando tras de sí la estela luminosa que llamamos estrella fugaz, las cámaras de la Prairie Network fotografían su trayectoria con tal precisión de lugar y hora que es posible calcular la ubicación exacta, altitud y velocidad del meteoro. Algunas de las mejores mediciones de distribuciones de velocidad provienen de datos de esta clase^[3]. Por desgracia es mucho más difícil la obtención, a partir de esta fuente, de cifras exactas en lo que respecta a la distribución dimensional. Para ello hay que basarse en la luminosidad de las estelas observadas, así como en un supuesto básico: el relativo a qué parte de la energía del meteoroides observado se convierte en luz y calor.

Los datos de la citada red concuerdan con los resultados obtenidos por los otros dos métodos cuando se trata de meteoroides del tamaño de una canica. La discrepancia surge al considerar los que difieren sensiblemente en un sentido u otro; ello se debe, probablemente, a la impresión de los supuestos acerca de la luminosidad. Si estimamos, como parece convenir con la idea más moderna y generalizada, que el meteoroides típico no es sino un conglomerado de polvo, la eficiencia de conversión de la energía aferente en calor y luz debiera ser más bien elevada. En base a ello, los datos fotográficos concuerdan mejor con los obtenidos gracias a los otros dos métodos señalados, y ocurre lo contrario si dicha conversión se considera de baja eficiencia.

Promediando la información procedente de las fuentes que nos parecen más fiables, hallamos que para ser impactada por un meteoroides de grandes dimensiones, de una tonelada por ejemplo, una vasta comunidad como la de Isla Tres tendría que aguardar un millón de años. Semejante impacto no destruiría necesariamente un hábitat bien diseñado, aunque sí sería causa de perforación y de daños locales.

Para encontrar meteoroides de impacto potencial tan frecuente que pudieran preocuparnos, hay que considerar tamaños mucho más pequeños y del peso de aproximadamente una pelota de tenis. En una de las grandes comunidades se produciría un choque de esta clase más o menos cada tres años. Hay que tener en cuenta que un hábitat de tamaño dado resultaría golpeado con menos frecuencia que una superficie igual sita en lo alto de la atmósfera terrestre: la gravitación de la Tierra es tan fuerte que «barre» meteoroides, atrayéndolos desde una región del espacio mucho más extensa que su propia superficie. Los hábitats espaciales, a distancia suficiente de la Tierra para no verse incluidos en la región afectada y dotados apenas de gravedad propia, serían golpeados con una frecuencia relativamente mucho menor.

Las partes más vulnerables del hábitat serán sin duda sus ventanas; ocuparán una superficie considerable, y siendo de vidrio, serán relativamente frágiles. Naturalmente se las dividirá en numerosos paneles, y por dos razones: para evitar daños de orden catastrófico y para que los armazones sustentadores de aluminio, acero o titanio distribuyan la resistencia estructural por todos los confines del vidrio. Un panel de éstos puede tener un área dos o tres veces mayor que la habitual en las ventanas de los reactores comerciales. Dado ese tamaño, los marcos metálicos portadores de las cargas estructurales pueden ser tan delgados que resulten invisibles desde el suelo del valle, de manera que los ventanales parecerán continuos vistos en la distancia.

En virtud, pues, de las dimensiones individuales, la pérdida de uno de esos paneles no resultará catastrófica para la comunidad. Para el hábitat que hemos llamado Isla Tres, la pérdida total de un panel determinaría la privación de atmósfera sólo al cabo de varios años. Pero la detección de semejante percance sería casi instantánea: se revelaría por una nube de blanco vapor de agua que se condensaría para formar cristales en el vacío, perfectamente visibles desde el hábitat hermano. Si el vaho fuera inmediatamente ocluido, digamos en una hora, la fuga de vapor de agua sería económicamente tolerable (la reposición del oxígeno costaría mucho menos) y, probablemente, nadie sino los miembros de la cuadrilla de reparaciones tendrían conocimiento del suceso.

Incluso para la comunidad más pequeña, Isla Uno, las cifras correspondientes serían absolutamente tolerables. Se estima necesario un intervalo de varios miles de años entre un choque y otro por un meteoroides de tamaño suficiente para romper un panel como los descritos. De estallar éste y precediéndose a su reparación dentro del plazo de una hora, la pérdida de atmósfera reduciría la presión en medida equivalente a la que supondría en la Tierra la ascensión a una colina de unos setenta metros de altura, es decir, insuficiente para que apreciáramos cambio alguno de presión en nuestros tímpanos. En el diseño más reciente de Isla Uno, estos riesgos serían reducidos en grado notable. Estamos estudiando actualmente una disposición en la que una pesada coraza con fines de protección frente a los rayos cósmicos guardaría a su vez las superficies de los ventanales de cualquier «vista» directa del espacio.

En la superficie de la Tierra estamos expuestos a radiaciones procedentes de tres fuentes diversas: emanaciones del suelo, rocas, ladrillos y otras estructuras componentes del medio que nos rodea, radiación de pequeñas cantidades de sustancias radiactivas presentes en nuestro propio cuerpo, y rayos cósmicos que penetran en nuestra atmósfera. La radiación se mide en unidades Roentgen, y con respecto a los daños biológicos, la unidad rem (roentgen equivalent man = equivalente humano roentgen) se tiene en cuenta el diferente efecto nocivo de radiaciones de distinta naturaleza. Para la dosimetría total en un tiempo dado se usa el rad (dosis de radiación) como unidad. En la superficie de la Tierra la cantidad de radiación a que se encuentran expuestas las personas varía considerablemente en función del lugar en que viven.

Curiosamente, la mayor parte de la radiación que recibe una persona le viene de dentro, de trazas de elementos presentes en el cuerpo. La radiación exterior depende, por ejemplo, de si uno vive en una casa de ladrillo (malo) o de madera (bueno), aunque lo más importante es en este sentido la ubicación geográfica; en la región arenosa monacítica de la India, la mayoría de residentes reciben una dosis natural de casi un rad por año^[4].

Comparativamente, nuestra dosis normal de naturaleza cósmica es relativamente pequeña: mínima a nivel del mar en las proximidades del ecuador, y de sólo una fracción de rad por año en una montaña de un clima templado. En los polos es mucho más elevada; esas diferencias vinculadas a la latitud obedecen al hecho de que la Tierra posee un campo magnético que le proporciona un notable grado de protección contra los rayos cósmicos de más baja energía.

Cuando todas las fuentes de radiación natural, internas, externas y cósmicas, se consideran conjuntamente, la dosis normal para el habitante de la Tierra asciende aproximadamente a un tercio de rad por año. Tras numerosos ensayos y años de discusión entre físicos y biólogos, la Comisión de Energía Atómica (antes ERDA) admitió una dosis permisible para sus empleados del orden de cinco rad por año, y de la décima parte de ello para el total de la población estadounidense.

Clínicamente, sólo los más delicados y sensibles ensayos de laboratorio pueden detectar los efectos producidos en los humanos por radiaciones medias de unos veinte rad por año; para que el individuo afectado llegue a experimentar incomodidad o síntomas objetivos es necesario recibir dosis mucho más grandes.

En el espacio, lejos de la capa protectora del campo magnético de la Tierra, el nivel de rayos cósmicos constantes y de gran penetración (la llamada radiación cósmica primaria) asciende a unos diez rad por año. Si fuera ésa la única radiación a considerar no sería descabellado el proyectar una primera colonia espacial desprovista de capa o coraza protectora de cualquier clase.

Pero si una notable fracción de la población mundial tuviera que vivir en esas condiciones durante muchos siglos, no sólo nos preocuparía el ascenso observado en la tasa de cáncer sino la progresiva aparición de mutaciones. Sin embargo, no hay por

qué preocuparse; la construcción de escudos protectores, incluso para los hábitats de grandes dimensiones, llevaría tan sólo una década de años a lo sumo, y en ese plazo de tiempo sólo una fracción mínima de la población podría verse expuesta a niveles de radiación de cierta intensidad.

Otro es, en cambio, el problema cósmico que nos aguarda, generado por un tipo de radiación a la que jamás estamos expuestos en la Tierra: se trata de los rayos llamados «primarios pesados»: núcleos de helio, carbono, hierro y de toda la serie de elementos existentes en la Tierra. Apenas constituyen una fracción mínima de la radiación cósmica total, pero son mucho más nocivos que todo el resto.

Cuando esas radiaciones cósmicas primarias atraviesan la materia, dejan tras sí una densa estela de átomos ionizados; éstos son químicamente muy activos y tan numerosos que causan la muerte de las células. Pero este mismo poder ionizador intenso, responsable del deterioro biológico imputable a las radiaciones primarias, constituye a la vez una protección contra ellas: en nuestra atmósfera pierden su energía con tanta rapidez que son absorbidas a elevadas altitudes, de modo que jamás llegan a alcanzar el nivel del mar.

La única experiencia humana directa con esas radiaciones primarias ha sido la de los astronautas de la operación Apolo, quienes se aventuraron no sólo fuera de la atmósfera, sino incluso de la capa magnética protectora de la Tierra. En esa región abierta observaron ciertos destellos de luz, especialmente una vez que hubieron adaptado su vista a la oscuridad total. La mayoría de los científicos que han estudiado el suceso concuerdan en que tales destellos eran causados probablemente por radiaciones primarias intensas. El vuelo Apolo 17 estudió precisamente este efecto. Cuando le pregunté al doctor Harrison (Jack) Schmitt, que fue a la Luna en calidad de científico astronauta (y luego sería elegido senador por el Estado de Nuevo México), acerca de sus observaciones al respecto, me ofreció una que resulta ciertamente curiosa: aunque los destellos eran visibles con una frecuencia de uno cada varios minutos durante todo el transcurso del viaje, durante un experimento deliberadamente destinado a estudiarlos no se produjo ninguno en una hora o algo así; por el momento a nadie se le ha ocurrido una explicación plausible de su desaparición, aunque fuera solamente temporal.

En el vuelo Apolo 12 los astronautas fueron expuestos a las radiaciones primarias intensas durante unas dos semanas. Las estimaciones efectuadas en base a mediciones directas de la radiación y el conocimiento de las dimensiones de las células del cuerpo, sugieren que durante ese período su pérdida de células cerebrales fue del orden de unas pocas, por millón; una cifra semejante corresponde a las células de la retina, y en el caso de las neuronas (las más grandes del cuerpo) puede que la fracción sea de una en diez mil^[5]. Se trata de cifras bajas, pero que justifican ya cierta medida de inquietud: hablamos de células nerviosas, las cuales no son repuestas ni reparadas por los mecanismos de sustitución existentes normalmente en el organismo. Poseemos, pues, una información de carácter más bien conservador y aplicable a

ulteriores cálculos: la tripulación del vuelo Apolo 12 estuvo expuesta a una dosis conocida de radiaciones primarias intensas y no sufrió daño alguno aparente por ello. Con objeto de ir por lo seguro, nuestro diseño del primer hábitat espacial podría basarse, por consiguiente, en la cumplimentación del requisito de que a lo largo de una carrera de trabajo de varios decenios una persona no fuera expuesta a una radiación total mayor que la recibida en dos semanas por los astronautas del Apolo 12.

Ocasionalmente, y por razones que empezamos lentamente a comprender, el Sol emite súbitos haces de radiación que conocemos por el nombre de erupciones solares. Estos rayos se desplazan a velocidad casi igual a la de la luz y alcanzan la Tierra al cabo de pocos minutos; determinan entonces brillantes auroras en los límites superiores de nuestra atmósfera. Muy raramente, con intervalos de varios decenios, tienen lugar erupciones particularmente poderosas que saturan la Tierra de radiación, anulan temporalmente muchas de nuestras comunicaciones radiofónicas a larga distancia y llegan a afectar incluso el campo magnético del planeta. Semejante evento se produjo por última vez a finales de la década de los cincuenta.^[6] De haber habido astronautas de viaje a la Luna en aquel entonces, su muerte habría sido casi segura. De ahí que la primera colonia espacial deba ser protegida a la vez de las radiaciones primarias y de las erupciones solares. Ello podría lograrse mediante una especie de cobertura pasiva usando materiales de la superficie lunar o escorias de las propias industrias de las primeras colonias. El grosor necesario sería de unos cincuenta centímetros de arena o equivalente, lo cual sería suficiente para aumentar considerablemente la masa prevista para Isla Uno.

El efecto de ese grueso protector, paradójicamente, sería el de potenciar a un nivel inaceptable la radiación de los rayos cósmicos primarios. La razón obedece a que al encontrar materia densa esas partículas se fragmentarían en muchas más, de energía media más baja, pero de número total mucho más elevado.

Así pues, hay que tener en cuenta todos los aspectos del problema, a fin de desembarazarse de los tres componentes de la radiación. Una vez efectuados los cálculos pertinentes, descubrimos que la coraza o protección necesaria es notable: equivalente a unos dos metros de suelo. Comprendido el problema en su plenitud, es obvio que constituye una grave restricción en el diseño de los primeros hábitats. Afortunadamente existe una forma geométrica que satisface plenamente los requisitos de protección sin sacrificio excesivo de las características de diseño deseables.

Las comunidades espaciales subsiguientes, del tamaño de Isla Tres, contarán con subsuelos atmosféricos y espesores estructurales bajo tierra que proporcionarán a sus habitantes una protección contra los rayos cósmicos semejante a la que gozamos en la Tierra. Los materiales de construcción empleados, de origen lunar, son muy parecidos a los terrestres en cuanto a radiactividad natural.

En resumen, con el adecuado diseño tanto las primeras colonias espaciales como los hábitats posteriores, podrán ser protegidos de todo tipo de radiación en grado

parecido al que caracteriza a la superficie de la misma Tierra.

Con objeto de minimizar los costes, es probable que los primeros hábitats cuenten con atmósfera compuesta principalmente por el material más abundante en la Luna: el oxígeno. La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) tiene razón, con todo, al mostrarse algo aprensiva frente a las atmósferas de oxígeno puro. En 1967 tres futuros astronautas del proyecto Apolo murieron en el incendio que se produjo en el interior de un módulo Apolo en Cabo Kennedy con ocasión de unas pruebas en oxígeno puro.

Las condiciones reinantes en una comunidad espacial serán diferentes en varios aspectos. En primer lugar, la presión de oxígeno será de sólo la quinta parte. En la trágica prueba de Cabo Kennedy, el oxígeno se hallaba a presión equivalente a la atmosférica al nivel del mar, la cual viene determinada casi exclusivamente por nitrógeno inerte. En segundo lugar, el volumen de un hábitat será millones de veces superior al de un módulo Apolo, de modo que cualquier fuego que pudiera iniciarse en él no llegará jamás a crear las presiones de gas causantes de la muerte de los tres infortunados astronautas del proyecto Apolo.

Es posible, no obstante, que estas dos diferencias no basten. A fin de aumentar al máximo la seguridad, deseamos contar asimismo con un tercer factor de protección. Un medio de conseguirlo consiste en añadir a la atmósfera un componente especial incombustible o ignífugo. Así, deberíamos considerar primeramente la posible obtención de un gas extintor a partir de materias primas lunares. En la Tierra los fuegos son contrarrestados en cierta medida por la presencia de nitrógeno en la atmósfera. Se sabe que los minerales de la superficie de la Luna contienen cierta cantidad de gases volátiles, de manera que al procesar millones de toneladas de los mismos pueden extraerse algunos miles de toneladas de gas, cuya composición — aunque lamentablemente no nos es conocida con toda exactitud— se cree que consiste principalmente en dióxido de carbono, óxido nitroso y algo de agua. No es descabellado, por consiguiente, pensar que bien pudiéramos obtener una cantidad útil de nitrógeno de tal fuente. Con todo, el nitrógeno no es un ignífugo muy eficaz. Incluso si damos con una fuente barata (lo cual no es muy probable) no nos sería posible introducir mucho nitrógeno en la atmósfera de la comunidad espacial sin elevar la presión lo suficiente como para exigir una reconsideración estructural.

Existen ciertos gases, inocuos para los humanos por lo menos durante algún tiempo, capaces de retardar eficazmente la propagación del fuego; algunos de los freones poseen esta propiedad. Sin embargo, no todos los componentes químicos de estos gases se encuentran en la Luna; por otra parte, carecemos de datos suficientes acerca de sus efectos fisiológicos a largo plazo.

Parece, por ahora, que la solución más sencilla es asimismo la óptima. Para llevar al máximo los placeres de nuestra vida diaria en las colonias espaciales, así como su seguridad, lo más prudente se nos antoja el transportar suficiente hidrógeno de la Tierra para que la atmósfera de los hábitats posea una grata humedad relativa, que

propicie a un tiempo la existencia de una abundante y frondosa vegetación. Por lo demás, habrá estructuras fabricadas de materiales incombustibles, parecidos a los bloques de cenizas prensadas hoy tan comunes; la combinación, por tanto, de una presión atmosférica reducida, gran volumen total y abundancia de agua, parece reducir el riesgo de los incendios a un nivel aceptable. Ello no es óbice para que deba procederse a una profunda investigación del tema antes de dar por buena la respuesta.

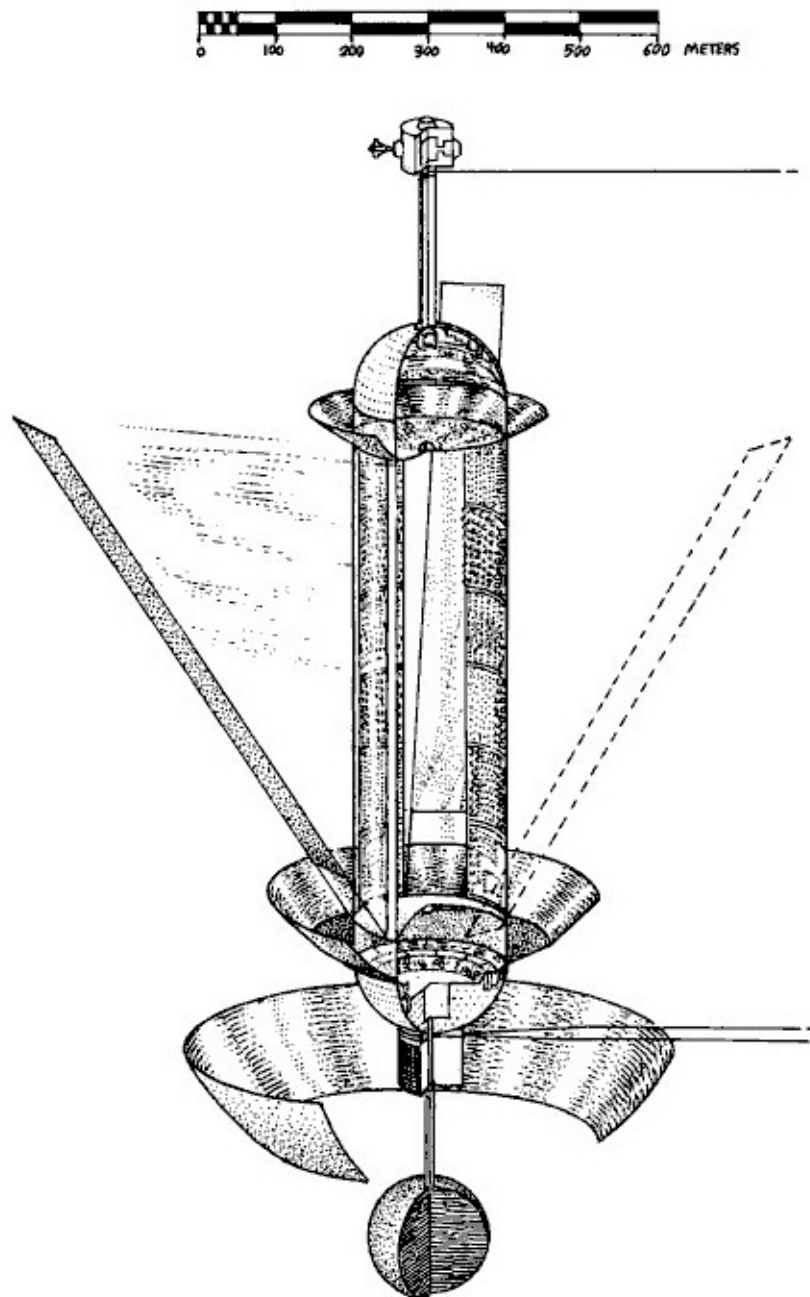
En lo tocante a la guerra no nos cabe sino especular. Vacilo en reclamar para la humanización del espacio la capacidad de resolver uno de los problemas más viejos y crueles de nuestra especie: el dolor y la destrucción causados por las guerras territoriales. Abundan los cínicos que afirman que la humanidad se decantará siempre por el salvajismo incluso cuando las presiones territoriales se vean notablemente reducidas. Cierto es que las maníacas guerras de conquista no siempre han sido básicamente territoriales. Cuando Gengis Kan conquistara la mayor parte de Europa y Asia no tenía plan alguno que aplicar a las tierras obtenidas y se limitó simplemente a destruir ciudades a su paso y a asesinar sin más contemplaciones a sus moradores. Sin embargo, la historia de los años siguientes a la Segunda Guerra Mundial apunta ciertos cambios con respecto al pasado; por de pronto, que los conflictos bélicos en nuestra era nuclear son motivados, si no del todo en gran medida, por cuestiones territoriales: dramáticas pugnas por porciones de terreno limitadas e inextensibles. Diríase, no obstante, que ese impulso territorial de conquistar las tierras de otro ha de resultar bastante inhibido por las propias condiciones de la vida en las comunidades espaciales: éstas se verán libres de las seculares limitaciones que animan las guerras territoriales en la Tierra, serán repetibles de manera que nadie se verá constreñido por límites fijos, serán independientes entre sí en lo tocante a sus necesidades esenciales, y serán móviles. A la larga, cuando sea posible construir nuevos hábitats de manera más barata, en los propios asteroides, sus residentes podrán elegir entre trasladarse a lo largo de algunos decenios, con ayuda de motores de baja impulsión, hacia una zona ocupada ya por otras comunidades culturalmente congeniables, o —si así lo desean— marchar en dirección contraria.

Desde el punto de vista militar, los hábitats espaciales resultan poco prometedores como lugar de emplazamiento de armas o bases militares. En primer lugar, desde un punto de vista estrictamente castrense, serán sumamente vulnerables; así que no es de esperar que a nadie se le ocurra la idea de atacar a otro so pena de incurrir al mismo tiempo en grave riesgo. En segundo lugar, su alejamiento de la Tierra y el hecho de que medien entre ésta y aquéllos por lo menos uno o dos días de viaje, hace que queden descalificados como origen o cabeza de puente de un ataque sobre nuestro planeta. Resumiendo, la probabilidad de que estallen guerras entre los hábitats parece, a mí por lo menos, considerablemente más pequeña que en el caso de las naciones de la Tierra.

En lo tocante al control internacional de las armas, dos motivos de esperanza se me vienen en seguida a la mente. Exista ya un tratado internacional de prohibición de

armas nucleares en el espacio, y las comunidades espaciales pueden obtener toda la energía que necesiten de fuente solar. Las tentaciones representadas por la posesión de productos de reactores nucleares no tienen por qué darse en el espacio.

En el curso de conferencias sobre el tema de las comunidades espaciales, a veces se ha suscitado la posibilidad de que sufran un ataque de procedencia interna, por parte de algún demente o grupo extremista. El evento puede darse, claro está, pero entiendo que muchas comunidades pueden resolver la implantación de algún tipo de «inspección de aduanas» que elimine o reduzca considerablemente la posibilidad de ingreso en ellas de armas o explosivos. En la Tierra, por ejemplo, hemos venido practicando esas medidas de seguridad desde hace algunos años, por ejemplo, en los aeropuertos. Sin embargo, si a pesar de tales precauciones hubiera algún terrorista que lograra importar o fabricar explosivos, lo cierto es que debería hacerlo en gran escala para que le fuera posible producir una catástrofe de grandes proporciones. Como en el caso de los aviones, puentes y barcos, los hábitats serán diseñados de manera que la pérdida de un elemento de soporte o de un solo cable longitudinal determine el inmediato reparto de las cargas a toda la estructura por vía de los elementos más próximos. Como ya he señalado, la destrucción de uno y hasta de varios de los paneles de una ventana provocaría simplemente una fuga de atmósfera lo suficientemente lenta como para que no hubiera dificultad alguna en proceder a una evacuación de urgencia a las comunidades vecinas.

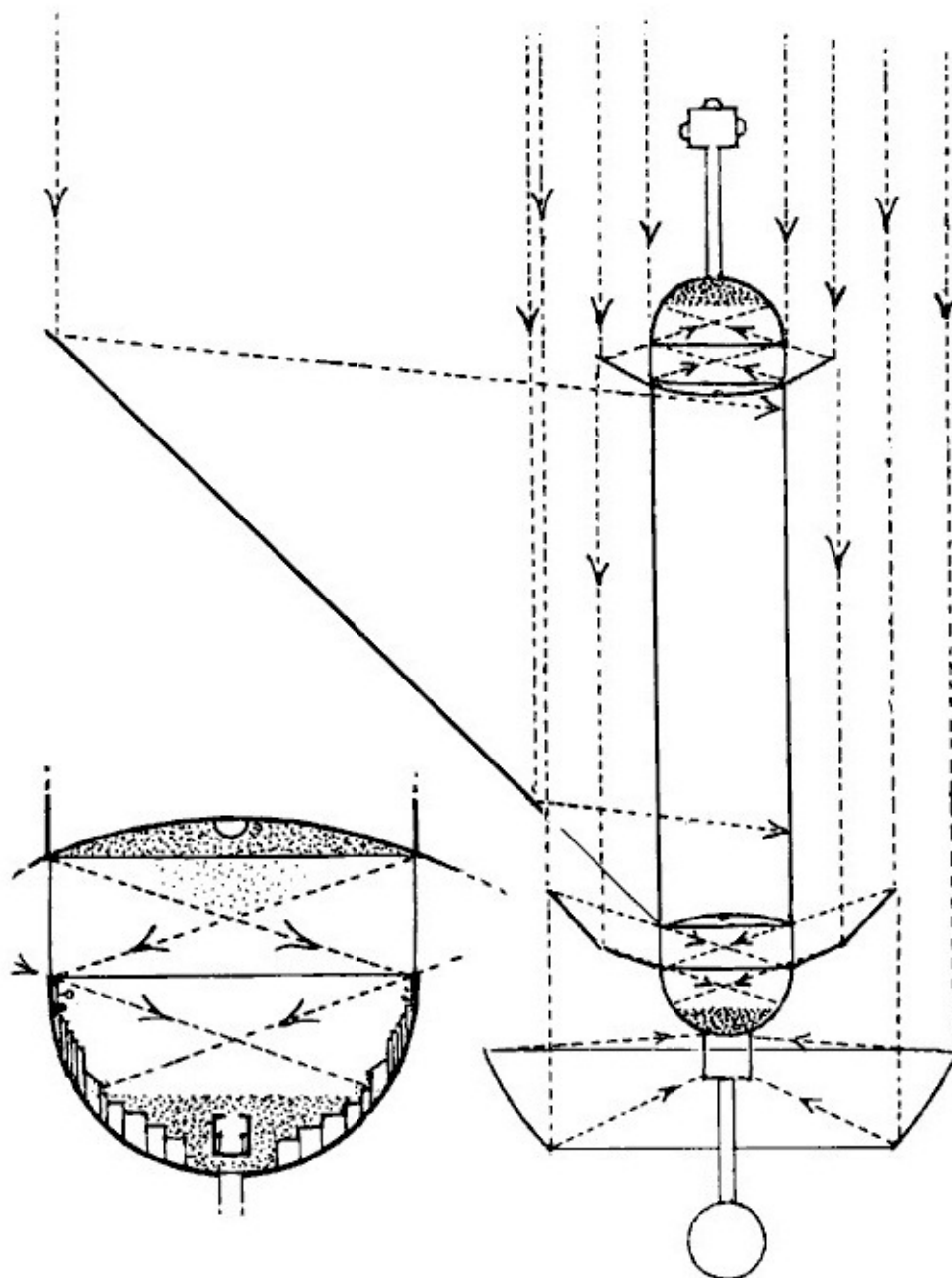


Prototipo protegido "Modelo Uno", hábitat con granjas sobre valles cilíndricos.

Las torres de tensión y compresión externas, que pueden suministrar a cada cilindro las fuerzas necesarias para su precesión alrededor del Sol, no resultarían apenas vulnerables al ataque terrorista estando ubicadas en el espacio, medio para cuyo tránsito sería necesario disponer de un traje y equipo adecuados. Con todo, si una de ellas fuere destruida, accidental o intencionalmente, tampoco ello sería causa de catástrofe para el hábitat. La precesión se vería detenida, de modo que si las reparaciones oportunas llevaran, por ejemplo, un día, los residentes verían la imagen del disco solar oscilando con un margen de dos diámetros, si bien la intensidad de la luz no disminuiría. Completados los trabajos de reparación, el ritmo de precesión podría ser acelerado hasta que la comunidad recuperara su orientación correcta. Semejante evento tendría sólo graves consecuencias si las obras de reposición duraran más de una o dos semanas, de modo que los ángulos del Sol con respecto al

hábitat se alteraran en varios grados, con la consiguiente afectación de los cultivos en crecimiento.

Algunos de los peligros existentes en la Tierra no se darían en el hábitat espacial; entre ellos hay que contar los terremotos y las erupciones volcánicas, capaces de llevar la muerte a menudo a millares de personas, particularmente en las zonas costeras. Tornados, huracanes y tifones imponen también a veces un elevado coste en vidas humanas, y sabido es que numerosos navegantes mueren cada año por causa de la furia de las olas desatadas. Entre los riesgos aportados por la tecnificación de nuestra sociedad, hay que contar los derivados de los accidentes automovilísticos. Gracias a la existencia de buenas carreteras y de leyes de circulación relativamente estrictas, en Estados Unidos registramos por pasajero-kilómetro la tasa de muertos más baja de toda la Tierra; ello no obsta para que de una población de doscientos millones sean cincuenta mil los que mueren cada año por esta causa. Resulta instructiva una comparación de los riesgos presentes respectivamente en nuestro planeta y en un hábitat espacial: incluso considerando el caso extremo de que el impacto de un meteoróide del peso de una tonelada destruyera totalmente la colonia, siendo causa de la muerte de todos sus habitantes, el riesgo letal implícito sería de tan sólo de una sexagésima parte del que nos acecha en Estados Unidos por la simple existencia de nuestros automóviles.



Entrada de luz solar en prototipo protegido "Modelo Uno".

Si la opción hábitat espacial es considerada en la escala de tiempo más temprana posible, el resultado podría ser que en unos pocos decenios todas las naciones del mundo dependieran de la energía solar producida en estaciones satélites construidas en comunidades espaciales. En tales condiciones, la energía nuclear quedaría confinada principalmente a los laboratorios. La dependencia de una fuente energética inagotable, pero relativamente vulnerable, eliminaría una de las causas actuales de tensión internacional y la amenaza de conflicto armado, al tiempo que disuadiría a toda nación potencialmente aventurada de infligir un ataque a su vecino.

Si, por el contrario, para disponer de energía nos vemos forzados a contar con el rápido y extensivo desarrollo de reactores nucleares, dentro de poco no habrá nación industrial ni país en vías de desarrollo que no disponga de ellos. El plutonio será producido en grandes cantidades en cada uno de éstos, y la tentación de canalizar

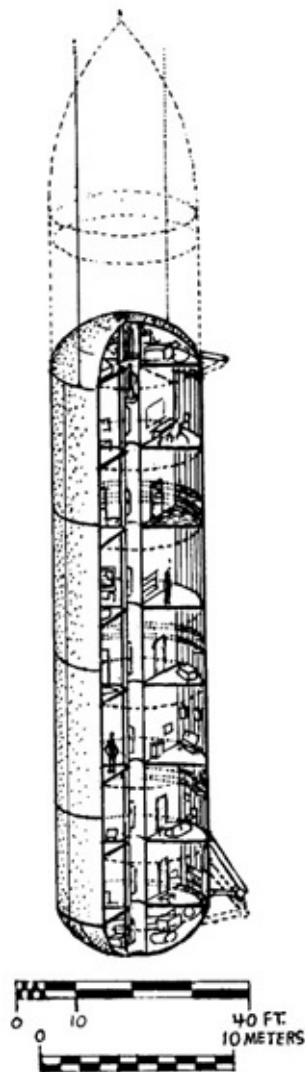
parte de la producción hacia el sector armamentista puede que sea muy fuerte para determinados líderes políticos. Con tanto material fisionable en curso de producción o de envío de un lugar a otro, no es improbable que alguna consignación vaya a parar a las manos de algún grupo terrorista, con lo cual la Tierra puede convertirse en un asentamiento humano mucho más peligroso de lo que lo es ahora^[7].

Hablando, pues, de riesgos, la alternativa parece plantearse entre el desarrollo de comunidades espaciales, relativamente a salvo de catástrofes, en las que una fracción cada vez más crecida de la raza humana se hallaría ampliamente dispersa y, por tanto, libre de una destrucción simultánea, y una Tierra cada vez más masificada, en un espacio habitacional estrictamente limitado, en condiciones donde las probabilidades tanto de guerra como de actos de terrorismo se verían notablemente multiplicadas.

EL PRIMER NUEVO MUNDO

La primera comunidad espacial lo suficientemente grande como para constituir una poderosa base industrial, capaz de elaborar productos de valor en cantidades lo bastante copiosas como para proporcionar beneficios económicos de importancia para la Tierra, requerirá una población de por lo menos algunos millares de personas. Una estación espacial, base sólo de unos pocos astronautas, sería con mucho demasiado pequeña para implantar un verdadero programa de producción. La construcción de un hábitat de cierto relieve requerirá el aprovechamiento de las ventajas que entraña la gran escala. Hasta el momento, la experiencia de la exploración espacial ha revelado que los costes de desarrollo de un nuevo sistema de vehículo tienden a ser subestimados, en tanto que los ahorros vinculados a la escala de producción, cantidad y tamaño suelen ser insuficientemente aprovechados. Más allá de cierto límite inferior, el coste de transporte de mayor tonelaje a determinada órbita queda vinculado exclusivamente al de las operaciones de lanzamiento adicionales, las cuales resultan menos costosas a medida que los sistemas ya desarrollados son reproducidos y se progresa en la curva de aprendizaje de su ejecución. De ahí que no cueste diez veces más el establecimiento en el espacio de una colectividad diez veces mayor. No podemos decir con toda seguridad qué número mínimo de personas será necesario instalar en el espacio para alcanzar el «punto de ignición», es decir, el nivel en que podrán generar nueva riqueza con rapidez suficiente para que su ulterior desarrollo no requiera de subsidio alguno de la Tierra; con todo, los estudios efectuados apuntan que ese llamado momento de ignición se alcanzará cuando la población del espacio alcance la cota de 10.000 personas. Si éstas se revelan tan productivas como otras tantas que trabajen en la Tierra en la industria pesada, el volumen de productos a ellas debidos cada año tendría una masa superior a la de varios transatlánticos.

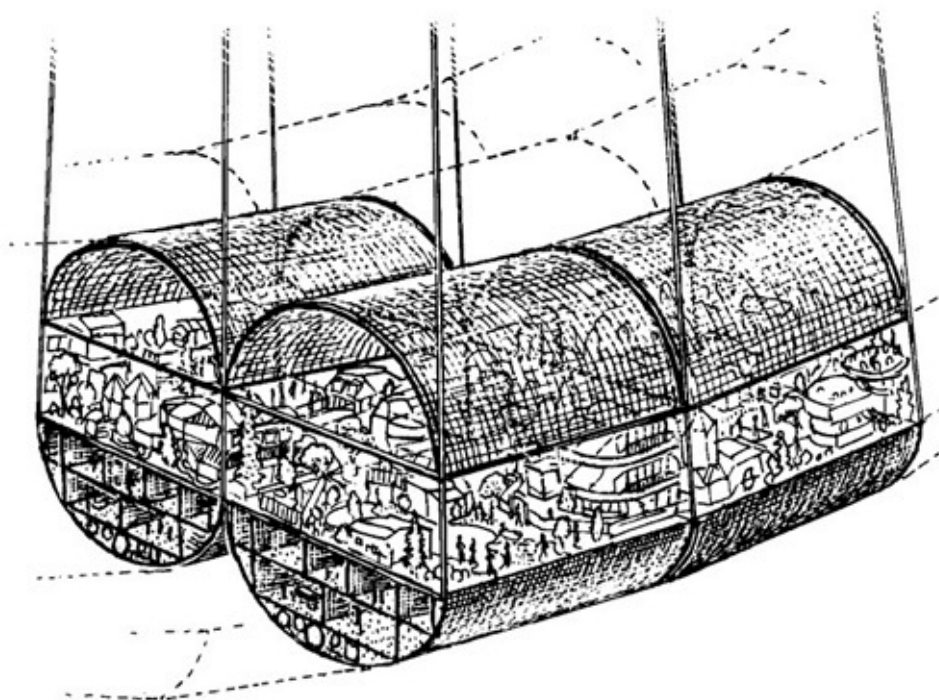
Fijándonos ahora en los detalles prácticos de la construcción de Isla Uno, hemos de tener presente en todo momento la diferencia existente entre ciencia ficción y realidad, el contraste, en suma, entre tecnología práctica e imaginación sin freno. Hemos de depender exclusivamente de los conocimientos técnicos actuales, de máquinas que podemos construir ahora, dentro del límite de nuestros conocimientos y a costes calculados con todo realismo. La escala de tiempo adquiere especial importancia. Isla Uno no nos será útil a menos que su construcción pueda proceder con gran celeridad, lo cual nos sitúa en lo que los profesionales llaman sistemas de lanzamiento de vehículos a «plazo inmediato»; en nuestra labor de diseño debemos restringirnos, por tanto, a consideraciones eminentemente prácticas y económicas.



Reciclado de tanque externo de transbordador para hábitat. Tanque de hidrógeno separado en 7 niveles divididos en compartimentos de tipo cuña, que dan cabida hasta un total de 21 apartamentos.

En los primeros días de un programa de construcción, el capítulo de la acomodación y condiciones de vida será más bien austero y sencillo; las amenidades vendrán más tarde. Hemos visto esta circunstancia repetida en la construcción del ferrocarril transcontinental en el siglo pasado y en la apertura de los campos petrolíferos árabes en los últimos decenios. Para cuando la población establecida ya en el espacio alcance el punto que hemos llamado de ignición, parece lógico suponer que se ejercerán fuertes presiones para pasar de los hábitats modulares de tipo apartamento individual a algo más grande y con condiciones más similares a las de la Tierra. Ofreceré seguidamente una «prueba de existencia», una demostración de que existe ya un diseño viable y práctico para albergar cómodamente y con plena seguridad a una población de 10.000 personas en el espacio. Pero nadie estará más sorprendido que yo si para cuando sea completada Isla Uno resulta semejante a los esbozos que presentamos ahora. Puede que incluso discrepe totalmente en tamaño y población. Y si nos basamos en la experiencia humana casi universal acerca de los

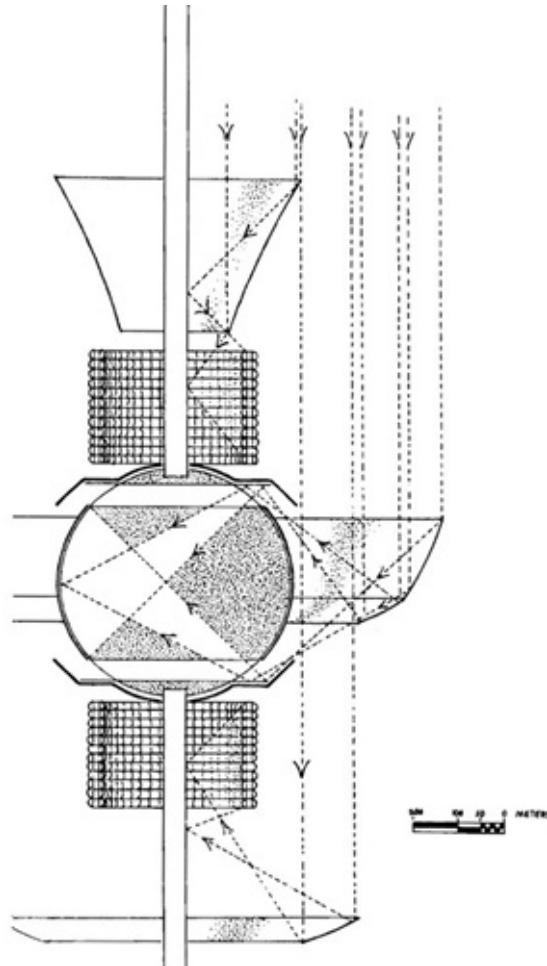
proyectos de construcción a gran escala, lo probable será que resulte más pequeña y de un coste mucho más elevado que el previsto. Conscientes de ello desde el principio, hemos de poner cuidado en desarrollar el diseño de Isla Uno, de manera que eventualmente pueda ser reducido de escala.



“Palacio de Cristal” con cables en el eje de rotación para la obtención de máxima luz solar a gravedad normal.

Para las estimaciones hechas —con gran prudencia— sobre productividad agrícola, necesitaremos una superficie de cultivo aproximadamente igual a un cuadrado de 800 m de lado. No hay razón alguna para que esa zona agrícola sea más espaciosa o más bella: a la planta le da igual estar bajo techado o a cielo abierto con tal de que cuente con luz solar, agua, suelo y nitratos en proporción adecuada.

Las plantas son relativamente insensibles a la radiación, de manera que no será necesario dotar a los campos de cultivo de protección alguna contra la misma. Sin embargo, al principio y antes de que dispongamos de suficiente experiencia, puede que convenga cultivar nuestros productos agrícolas en las propias zonas habitacionales, donde contarán con pleno amparo frente a los rayos cósmicos y posibles erupciones solares.



Paso de luz solar en Isla Uno. El propósito del diseño es que la luz solar pase indirectamente al interior y que los rayos cósmicos no rebasen el escudo de radiación. Los paneles externos permiten separar los ciclos día/noche en áreas habitacionales y granjas.

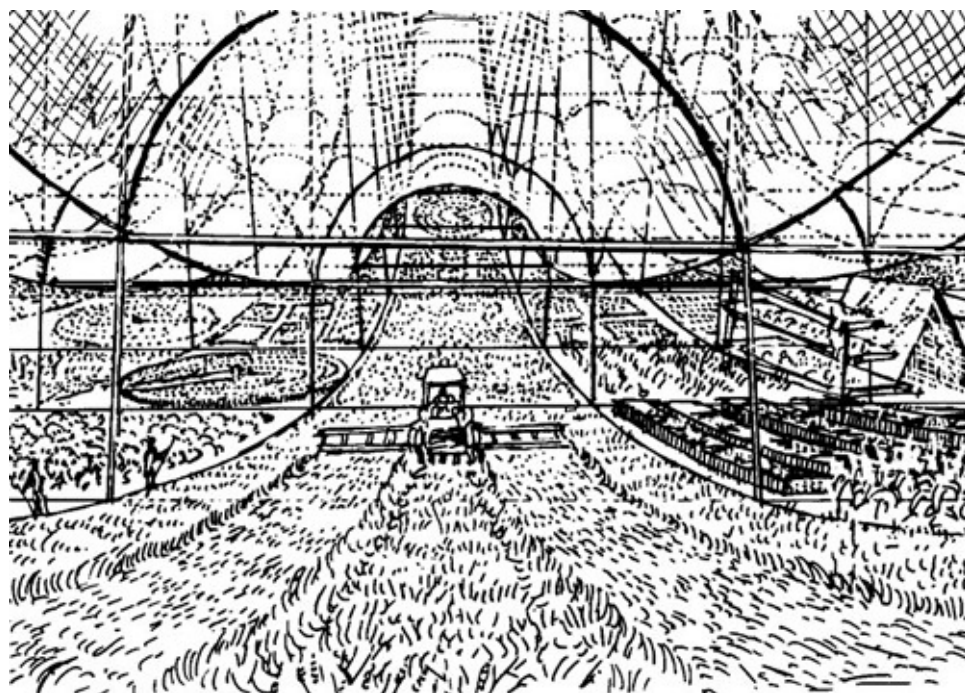
Un diseño muy acertado para las zonas agrícolas, consiste de una serie de segmentos de anillos (toros) unidos para formar extensos campos situados al mismo nivel. Máquinas cosechadoras y sembradoras tan grandes como las mayores que puedan verse en las vastas llanuras del Oeste de Estados Unidos, podrán moverse libremente en semejantes campos. La luz solar penetrará a través de ventanales de vidrio, y el aspecto del conjunto no diferirá gran cosa del de un invernadero. En comparación con otras alternativas, este diseño requerirá tan poca masa estructural que la eficiencia de la productividad agrícola carecerá de importancia: si después de investigaciones adicionales se considera necesario doblar la superficie destinada al cultivo, el cambio apenas contribuirá al total de masa estructural de Isla Uno.

Hace ya más de un siglo que el Príncipe Alberto, consorte de la Reina Victoria, se puso al frente de un distinguido grupo de industriales británicos para el diseño y realización de la Exposición Internacional de 1851. El logro principal de la misma era el llamado Palacio de Cristal, airosa y leve estructura de vidrio sobre módulos de hierro. Tan ligero y bien diseñado era el Palacio de Cristal, que fue montado en un plazo de pocos meses por una cuadrilla de operarios relativamente reducida; contenía una preciosa avenida de árboles y suficiente espacio libre para la exposición de variados productos. Nuestra forma geométrica multitoral para las zonas agrícolas se

parece muchísimo al mencionado palacio, incluso en su techo abovedado de vidrio.

Como en el caso de la agricultura de elevado rendimiento en la Tierra, la mayoría de las tareas agrícolas serán mecanizadas, de manera que la protección antirradiación para los manipuladores de los tractores y cosechadoras puede ser incorporada a las propias máquinas.

La industria ligera, propia de taller artesanal, puede emplazarse en el interior del espacio habitacional; la pesada, en cambio, hará uso ventajoso de las condiciones gravitatorias del espacio libre.



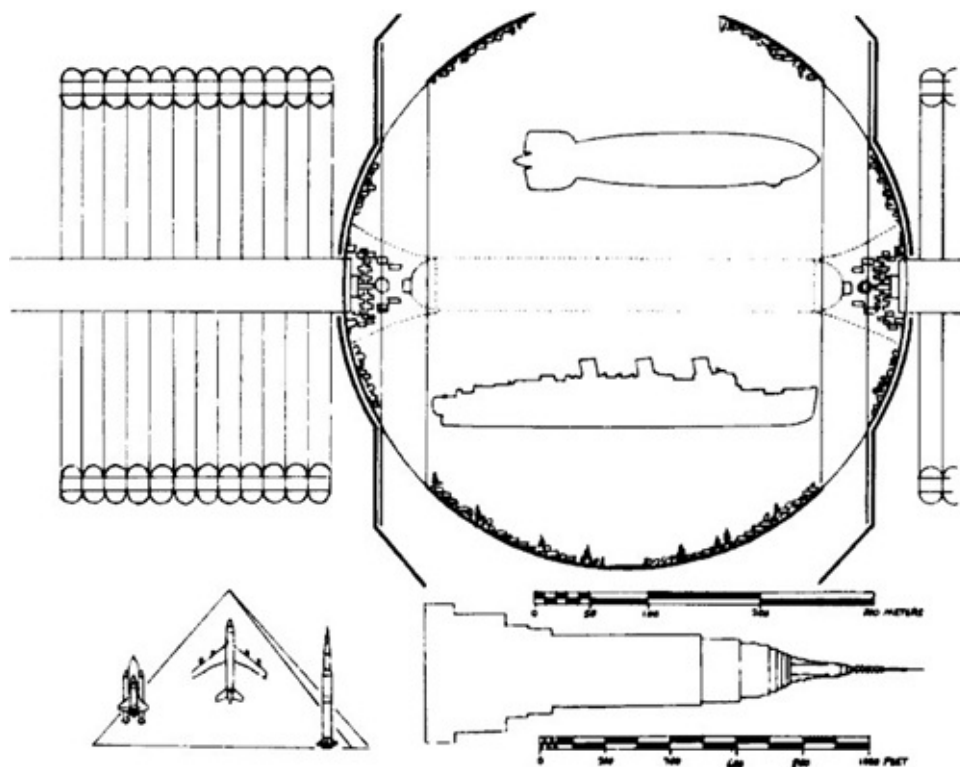
Palacio de Cristal para áreas habitacionales y granjas en Isla Uno.

Los requisitos de diseño relativo a las zonas habitacionales de Isla Uno son muy rigurosos. El hábitat debe poder admitir fácilmente la luz del sol, pero estar debidamente protegido de las radiaciones cósmicas; ha de suministrar vastas perspectivas en un ambiente cómodo y agradable para evitar toda sensación de claustrofobia. Idealmente, tendría que contar con fácil acceso a lugares de gravedad nula, totalmente protegidos de la radiación, donde pudieran practicarse juegos y deportes. Por razones de seguridad no debería depender del transporte mecanizado: en el caso de que sobreviniera una inesperada situación de urgencia habría de ser posible desplazar a la totalidad de la población a los puntos de embarque o evacuación sin asistencia mecánica. Y, por último, el hábitat ha de resultar económico en cuanto a masa, tanto estructural como con fines de protección.

La superficie territorial de un hábitat para 10.000 personas puede ser estimada en base a consideraciones de «espacio individual» y a la experiencia habida en pequeñas ciudades de la Tierra. Una comunidad típica con apartamentos y zonas verdes en Estados Unidos proporciona, con sus piscinas, pistas de tenis y jardines, unos 45 m² de terreno libre por persona. Sirva como comparación el que la ciudad de San

Francisco, promediando sus zonas residenciales y verdes, proporciona a cada habitante la mitad de esa superficie, y algunas de las atractivas comunidades francesas e italianas pintorescamente establecidas en las laderas de colinas sólo la quinta parte como mucho.

Una posible forma geométrica que satisface todos esos requisitos es ciertamente sencilla y estructuralmente robusta: una esfera de un kilómetro y medio de circunferencia, con ventanas que permitan la entrada de la luz solar. Si la esfera gira a razón de dos revoluciones por minuto, la gravedad será terranormal en el ecuador, en cuyas proximidades pueden emplazarse la mayoría de los módulos o apartamentos habitacionales. En las «líneas de latitud» de cuarenta y cinco grados, a mitad de camino, superficie interna arriba partiendo del ecuador, la gravedad sería inferior en treinta por ciento a la normal en nuestro planeta. Esta variación con respecto a las condiciones terrestres puede constituir nuestro «límite de diseño» autoimpuesto hasta que acumulemos más experiencia en lo tocante a la tolerancia fisiológica.



Isla Uno, junto al Queen Mary, el Hindenburg, Empire State Building, Saturno 5, y la Gran Pirámide a escala.

En semejante ambiente cada familia de cinco miembros puede contar con un apartamento propio tan grande como una vivienda espaciosa (230 metros cuadrados de planta) y con un jardín de la cuarta parte de esta área bañado por el sol. Disponiendo los apartamentos de manera escalonada, sólo una pequeña fracción de la superficie esférica total por debajo de la latitud de los cuarenta y cinco grados necesita ser dedicada a jardines privados, quedando libre la mayor parte del resto para parques, comercios, pequeñas glorietas arboladas, arroyuelos y otros espacios asequibles a todos los habitantes.

La luz solar penetrará en el hábitat a lo largo de un día establecido en su duración a gusto de los colonos y siempre con un ángulo fijo. Ello permitirá que cada una de las habitaciones y dependencias de los apartamentos cuenten con luz natural durante toda la jornada. En la Tierra, un pasaje entre edificios recibe sol, por ejemplo, tan sólo durante unos minutos cada día; no será éste el caso en el espacio, donde cada ventana puede orientarse hacia un mini-jardín privado bañado por la luz solar.

El ecuador parece el lugar ideal para el emplazamiento de un río de escasa profundidad y perezosos movimientos, que se ensanche aquí y allá en pequeñas lagunas más profundas indicadas para la práctica de la natación. Las playas pueden ser de arena lunar, y a poca distancia de ellas, rodeados de frondosa espesura, pueden disponerse vericuetos y vías para pasear sea a pie, en bicicleta o a la carrera.

Si examinamos los detalles estructurales observamos que el emplazamiento óptimo de las ventanas se encuentra en las proximidades del eje de rotación, donde sólo adquiere importancia la carga debida a la presión, mientras que la gravedad impondrá pocas demandas a la estructura. La esfera no será, coj todo, una cascara frágil. Su pared de aluminio será semejante a la coraza de un navío acorazado, alcanzando unos veinte centímetros en el ecuador.

Cerca del eje de rotación pueden emplazarse asimismo las piscinas en condiciones de escasa gravedad, así como los «hangares» para las aeronaves a propulsión muscular. El trasladarse a ellas desde el ecuador será equivalente a ascender una colina de suaves laderas, y no llevará más de veinte minutos.

Para un volumen dado, la esfera es la forma geométrica con menos área. Esto es importante para reducir a un mínimo la masa necesaria para la protección anticósmica, que puede construirse, por razones económicas, a base de tierras lunares o escorias industriales contenidas entre delgadas superficies esféricas, a pocos metros de distancia del hábitat en rotación. Con semejante estructura es posible hacer llegar la luz solar natural al hábitat, simplemente con el concurso de espejos estacionarios en el espacio. Sólo mucho más tarde en la historia de las comunidades espaciales se hará necesario que los ingenieros se ocupen del problema más complejo de disponer espejos asimismo giratorios.

En presencia de una cobertura completa tal debe proveerse, naturalmente, a la eliminación del hábitat del calor creado en su interior por la entrada de luz. Una solución fácil podría ser la instalación de grandes corredores axiales dentro de un caparazón cilíndrico. La circulación de aire a través de ellos transmitirá el calor a radiadores externos; al mismo tiempo, estos corredores servirán de cauce a la traslación de personas y carga en condiciones agravitatorias entre las industrias y los muelles exteriores.

Si así se desea, no habrá dificultad alguna en separar la esfera visualmente en tres «pueblos». Esta disposición permitirá establecer un régimen de diurnidad/nocturnidad diferente para cada uno de ellos, lo cual habrá de facilitar asimismo el logro de una eficiencia y comodidad que nos han sido eternamente negadas en la Tierra: para

obtener el máximo rendimiento de nuestras máquinas, plantas de proceso químico y demás instalaciones industriales, su funcionamiento ha de ser continuo. En nuestro planeta ello implica someter a las personas a turnos de noche que nadie, en general, cumple con gusto. En Isla Uno, en cambio, tres pueblos pueden quedar sujetos a regímenes horarios con intervalos de ocho horas entre sí, de modo que las industrias puedan funcionar ininterrumpidamente sin que nadie se vea forzado a someterse a un «turno de noche».

Con miras a lograr la mayor sencillez estructural queremos evitar en nuestro diseño toda compartimentación; el hábitat debe girar como unidad, con el aire circulando en un único continente de presión. Combinando la estructura tipo Palacio de Cristal de las zonas agrícolas con una esfera habitacional central, llegamos al concepto de diseño que llamamos Isla Uno.

La masa estructural de ésta ha sido estimada mediante cálculos muy complejos y rigurosos en el curso de varios estudios al efecto, y se ha llegado a la conclusión de que puede ascender a la de un gran transatlántico como el Queen Elizabeth II, es decir, a unas 100.000 toneladas. Edificios, terrenos y atmósfera supondrán varias veces esta cantidad, e incluso contando con el diseño más simple y eficaz, la cobertura de protección sumará otros tres millones de toneladas.

En suma, Isla Uno será pequeña, pero mucho menos atestada que muchas ciudades de la Tierra, y ciertamente atractiva como lugar de vida. Los habitantes podrán contar con apartamentos de rango palaciego en comparación con los estándares comunes en nuestro planeta; cada uno poseerá su jardín propio, bañado diariamente por la luz del sol, que le llegará con un ángulo similar al de la media mañana. Incluso considerando los límites de Isla Uno, los residentes dispondrán de algún que otro río o lagunas donde bañarse y practicar deportes náuticos. El río permitirá asimismo una posibilidad que algunos no dejarán de explotar: un recorrido en balsa, llevados por la corriente que discurrirá sucesivamente por las presas, filtros, zona de bombeo, etc., en viaje de circunvalación en torno a la circunferencia del cilindro.

Incluso en Isla Uno podrán hacerse reales esas nuevas opciones del vuelo a propulsión humana y de la natación y buceo en condiciones de baja gravedad, mientras que la impresión general será de verdor, exuberancia de árboles y plantas, de aromáticas flores, en fin, de la belleza propia, por ejemplo, del clima hawaiano (de ser éste el que goza del favor de los residentes). La industria pesada puede ubicarse en el exterior, pero a poca distancia, de modo que no será necesario disponer de vehículo alguno de velocidad superior a la de una bicicleta. Isla Uno girará aproximadamente una vez cada treinta y un segundo para proporcionar una gravedad semejante a la de la Tierra en las zonas residenciales. Sólo cuando se trabaja fuera del hábitat se estará en condiciones agravitatorias. Con todo, la rutina de la ocupación diaria hará que el cuerpo conserve su adecuado tono muscular y energía saludable.

El emplazamiento de Isla Uno se hallará a suficiente distancia de la Tierra y de la

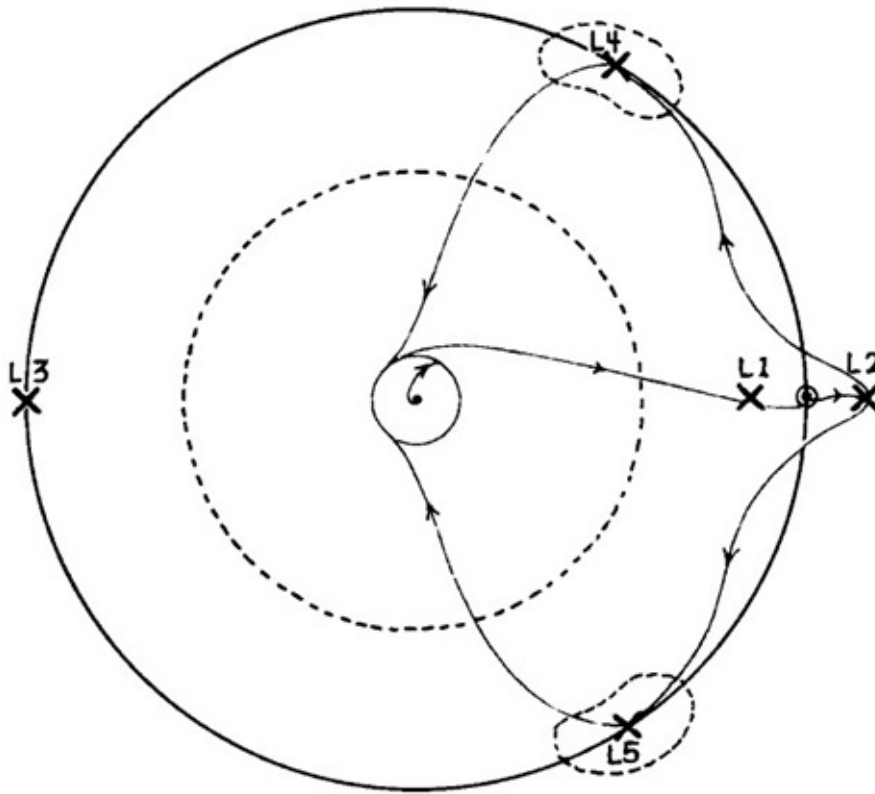
Luna para librarse de eclipses frecuentes; así, la comunidad podrá disponer de su energía solar gratuita continuamente. Por otra parte, es de desear que no se encuentre excesivamente lejos de la Tierra, para que el transporte no resulte oneroso y difícil; pero tampoco tan cerca como los cinturones de radiación de Van Hallen que rodean nuestro planeta. Una vez considerados todos los aspectos logísticos, la mejor situación puede que corresponda a una elevada órbita circular con un período de varios días, a cierta distancia en dirección a la Luna. Pero se presenta asimismo otra posibilidad de elección, atractiva matemáticamente, que ha sido intensamente estudiada durante algún tiempo: se trata de una órbita excéntrica con un período de dos semanas, justo la mitad del de la Luna. Y aun antes, aquellos de nosotros interesados en la respuesta a la cuestión, «¿dónde se emplazará la colonia?», habíamos considerado un punto de la órbita de la Luna llamado L5, la quinta de varias posiciones en el espacio cuyas propiedades fueron descritas en primer lugar por el matemático y físico franco-italiano Joseph Louis Lagrange (1736-1813). En palabras de la *Encyclopaedia Britannica*, edición de 1911:

«Dio prueba del persistente vigor de su capacidad ganando en 1764 el premio ofrecido por la Academia de Ciencias de París para el mejor ensayo sobre la oscilación de la Luna.

»Su éxito animó a la Academia a proponer en 1766 como tema de concurso la hasta entonces no debatida teoría joviana. El premio fue nuevamente concedido a Lagrange, quien obtuvo asimismo igual distinción con sus ensayos acerca del problema de tres cuerpos en 1772, sobre la ecuación secular de la Luna en 1774, y en 1778 sobre la teoría de las perturbaciones cometarias».

Lagrange se sirvió de la teoría de la gravedad desarrollada por Newton para investigar las propiedades especiales de dos puntos únicos en la órbita de Júpiter. Uno de ellos precedía al planeta en sesenta grados en su órbita alrededor del Sol, en tanto que el otro lo seguía a igual distancia. Lagrange llegó a la conclusión de que se trataba de puntos estables, en las proximidades de los cuales cualquier objeto con situación y velocidad iniciales correctas permanecería fijo para siempre. A partir de entonces esos puntos fueron conocidos como L4 y L5, es decir, 4.º y 5.º de Lagrange, y se obtienen como solución de lo que los físicos llaman el problema restringido de los tres cuerpos. Años más tarde diferentes observaciones por medio de telescopios primitivos revelaron que había varios asteroides «atrapados» cerca de los puntos de Lagrange. Se les conoció a partir de entonces como «asteroides troyanos».

Si deseamos valemnos de los puntos de Lagrange correspondientes al sistema Tierra-Luna, bien como ubicación de las colonias bien como posible emplazamiento de materiales útiles que pudieran ser «anclados» en ellos, nos tendremos que enfrentar con unas matemáticas harto más difíciles. Habrá que resolver no un problema de tres cuerpos, sino de cuatro, ya que el Sol, pese a su lejanía, afecta poderosamente las órbitas próximas a la Tierra a consecuencia de su enorme masa.



Los cinco puntos del sistema Tierra-Luna de Lagrange.

Afortunadamente el problema ha sido ya resuelto, ¡justo a tiempo! En 1970, A. A. Kamel, alumno del profesor John Breakwell en Stanford, obtuvo su doctorado en ingeniería publicando una tesis con el impresionante título «Perturbation Theory Based on Lie Transforms and Its Application to the Stability of Motion Near Sun-perturbed Earth-Moon Triangular Libration Points». (Teoría de la perturbación, basada en transformaciones de reducción y su aplicación a la estabilidad de movimiento en las proximidades de los puntos especiales del sistema Tierra-Luna afectado por el Sol). El estudio del doctor Kamel, quien nos proporciona en elegante fórmula matemática la solución ya obtenida por la fuerza bruta de la reiteración del cálculo mediante ordenador, nos dice que en el sistema Tierra-Luna L4 y L5 han dejado de ser puntos estables, aunque han venido a ser sustituidos por algo igual de bueno: regiones estables en órbitas de dimensiones muy grandes en torno a L4 y L5, con un lento ciclo de ochenta y nueve días. Las propiedades de L4 y L5 son tan peculiares que una sociedad ha tomado incluso el nombre de L5, que usamos asimismo a menudo por conveniencia para referirnos a «cualquier órbita por encima de los cinturones de radiación de la Tierra y no más lejos que la Luna». Resulta ya característico del problema mecánico-orbital que los especialistas en la materia se nos presenten con frecuencia armados de numerosas hojas de cálculos para hablarnos entusiásticamente del reciente descubrimiento de una nueva órbita, mejor que las conocidas hasta el momento. Ha ocurrido ya tantas veces que nadie en sus cabales se atrevería a apostar acerca del emplazamiento futuro de Isla Uno. De lo que sí podemos tener suficiente seguridad es de que en órbita elevada hay bastante espacio

libre para albergar a una población muchas veces mayor que la de la Tierra. No hay que temer, dicho sea de paso, que nuestra vecindad local, el sistema Tierra-Luna, resulte un día masificado. Las comunidades espaciales pueden ser situadas en órbitas prácticamente de cualquier región de nuestro sistema solar, donde, mediante una adecuada disposición de espejos, gozarían de la misma intensidad de luz de que disfrutamos (en días soleados) en nuestro planeta.

Podemos establecer una escala de referencia en cuanto al coste económico —de inversión de capital— necesario para Isla Uno, en base al del más ambicioso proyecto espacial hasta el presente llevado a la práctica: el Apolo. La aventura, que con seguridad seguirá siendo recordada mucho después de que la miseria y los horrores de nuestro siglo hayan sido enterrados definitivamente en los libros de historia, costó unos cincuenta mil millones de dólares en moneda de 1978, es decir, una cifra intermedia entre la de los «años Apolo» de la década de los sesenta y la correspondiente a presupuestos semejantes para finales de 1980, fecha probable del nacimiento de Isla Uno. El proyecto Apolo se inició en un momento en que el talante nacional era notablemente diferente de como es ahora: teníamos confianza en nuestra capacidad, éramos testigos del rápido incremento de nuestro nivel de vida, nuestra moneda era fuerte y preciada por doquier y no se nos ocurría pensar en que pudiera haber límites a la continuación de nuestro desarrollo. Aunque el medio ambiente se iba deteriorando progresivamente de resultas de las actividades industriales, cada vez más complejas y desmesuradas, y del efecto de nuestro sistema de transporte, la mayoría de nosotros no nos preocupábamos por ello.

Ahora, esos factores positivos se han invertido. Las décadas de los sesenta y setenta han sido marco de numerosas desilusiones, de deceleración en el desarrollo económico, al que se ha sumado la inflación y de escasa variación meliorativa en los niveles de vida de los pueblos. Poco después del primer alunizaje Apolo, en 1969, atravesamos un período de profunda desconfianza ante todo lo tecnológico, y es posible que jamás volvamos a volcar nuestra fe en la técnica de manera tan libre de reservas como hiciéramos en los años cincuenta. Puede que ello sea para bien. Nuestro poder físico ha crecido tanto que deberíamos examinar cuidadosamente y con ánimo extremadamente crítico toda nueva opción técnica, no sea que entrañe riesgos imprevistos.

Para tener éxito en estos tiempos de grave inquietud económica todo nuevo programa ha de ser productivo; no sólo ha de conllevar la amortización segura de la inversión inicial, sino que debe generar nuevas riquezas. Tal como estimamos ahora, el primer beneficio del desarrollo de las comunidades espaciales consistirá en la posibilidad de suministrar energía eléctrica de bajo coste a la Tierra. De ahí que proceda analizar la escala de inversión propia de toda industria productora de electricidad, la estimación de cuánto costaría la implantación de un programa de producción en el espacio y, sólo entonces, el considerar comparativamente las cifras respectivas.

En 1975 la capacidad generadora total en los Estados Unidos alcanzaba unos quinientos Gw (quinientos gigavatios = quinientos mil megavatios)^[1]. Cuando en 1974 se produjo la primera carestía leve de energía, fueron emprendidos varios trabajos de investigación con objeto de estimar en qué medida tendría que aumentar dicha capacidad durante el cuarto de siglo restante. En la mayoría de esos estudios se partía del supuesto de que los gastos de conservación y los de coste, crecientes éstos, limitarían los incrementos de consumo y producción eléctrica a menos del siete por ciento anual, tasa corriente en la década de los años sesenta.

Un equipo formado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos resumió en un informe especial doce de dichos trabajos o predicciones. Conforme a sus conclusiones la capacidad generadora instalada en el país debe cuadruplicarse, para alcanzar la cuota de los 2.000 Gw para finales de este siglo^[2], lo que viene a significar un incremento anual de más del cinco por ciento.

Para satisfacer esta demanda, las instalaciones eléctricas nacionales deberán invertir en este cuarto de siglo unos ochocientos mil millones de dólares, es decir, a razón de 5,30 dólares por kilowatio^[3], en el caso de tratarse de plantas generadoras alimentadas con carbón; las nucleares costarían mucho más. Ochocientos mil millones de dólares es casi equivalente al producto nacional bruto por año; representa casi veinte veces más que el coste de la totalidad del proyecto Apolo en su decenio de existencia.

Si efectivamente el establecimiento de una instalación generadora en el espacio es posible, si en verdad pueden ser procesadas las materias primas extraídas de la superficie lunar, ¿qué inversión sería necesaria para llevar a cabo semejante proyecto? Contamos ya con algunas estimaciones de presupuesto. Una de ellas, progresivamente revisada y puesta al día, se la debemos al Centro Marshall de vuelo espacial dependiente de la NASA. Otra, basada en cálculos realizados por ésta en cuanto a costes de lanzamiento, pero independiente en todo lo demás, ha sido publicada por un grupo de estudio ocupado en un programa conjunto de la NASA, la American Society for Engineering Education y la Stanford University^[4]. Un año más tarde otro grupo, auspiciado enteramente por la NASA, procedió a una investigación aún más detallada en cuanto a tiempos y costes de construcción.

Todas esas estimaciones respondían a unos cálculos relativamente directos, es decir, sin hacer uso de las ventajas inherentes a la posibilidad de construir en el mismo espacio, con los consiguientes ahorros. Con todo, la concordancia fue prácticamente general en torno a un total de cien mil millones de dólares, es decir, una fracción tan sólo de la inversión que deberán efectuar las compañías de energía eléctrica para satisfacer las demandas futuras.

Esos diferentes presupuestos han concordado porque no se ha tenido en cuenta la eventualidad de que se produzca paso alguno importante en el progreso tecnológico. Una vez quedó establecido el tonelaje que debía ser enviado al espacio, la inversión

total fue calculada en base a costos de lanzamiento ya conocidos, así como los inherentes a la gerencia y administración, sobre los cuales se ha acumulado sobrada experiencia en el curso de los programas espaciales de estos últimos años.

El coste implicado sería, por lo tanto, de unas dos veces el correspondiente a la totalidad del proyecto Apolo. ¡Y no hemos hablado aún de otras posibilidades existentes en lo tocante a disminución de costes! Aunque retrospectivamente el proyecto Apolo se nos antoja una misión de exploración vitalmente necesaria, esencial para cualquier propuesta seria sobre explotación de los recursos lunares, parece claro que el establecimiento de una planta productora en el espacio proporcionaría rendimientos mucho más cuantiosos: hablamos de unas instalaciones de fabricación con una plantilla fija y autónoma de hasta 10.000 personas, no de una breve serie de audaces iniciativas científicas a cargo de menos de una docena de hombres. La razón de que se contemple dicho incremento de beneficios obedece a determinados avances pos-Apolo en los sistemas de transporte y, fundamentalmente, al llamado «bootstrap process», consistente en la utilización de los materiales y recursos energéticos del propio espacio para construir capacidad productiva.

Podemos darnos cuenta inmediatamente de que si fuera necesario llevar desde la Tierra los materiales para la construcción de Isla Uno el coste de semejante operación sería prohibitivo. Un cohete Apolo, que cuesta varios centenares de millones de dólares y que debe ser totalmente desechado tras su utilización, podría poner en órbita cargas diversas, es cierto, pero a un coste de varios miles de dólares por kilogramo. Para alcanzar L5 con tales medios habría que gastar varias veces más (cada kilogramo enviado a la Luna en los días de Apolo vino a costar tanto como un lujoso automóvil deportivo, unos 20.000 dólares).

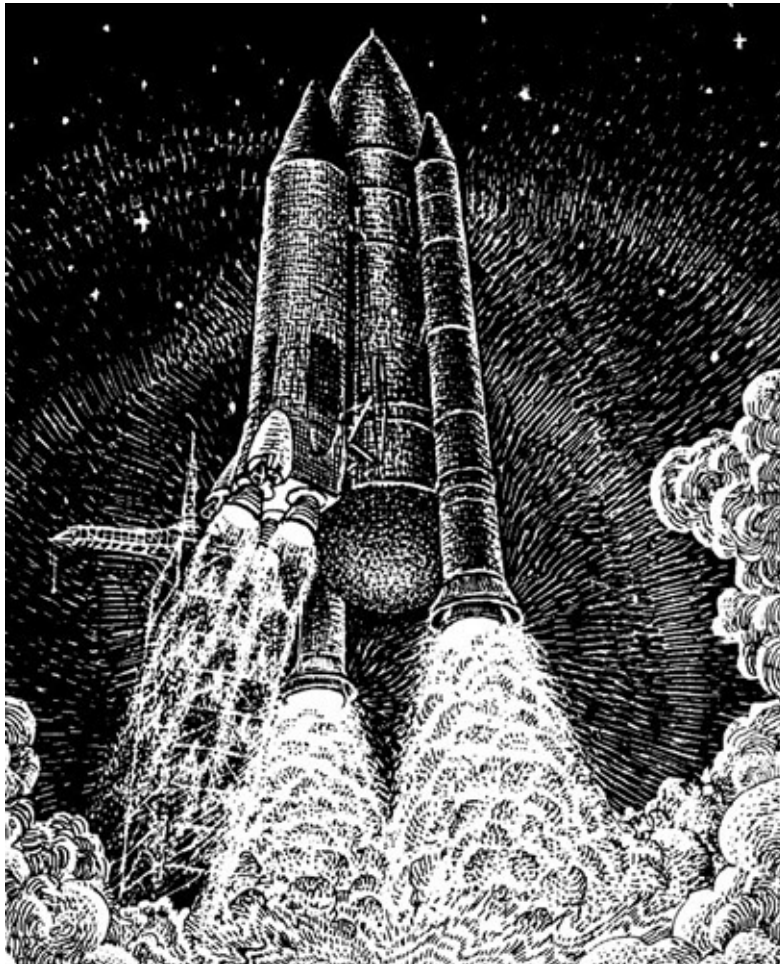
Incluso haciendo un alarde de optimismo y pensando que con los años y mediante inversiones de miles de millones de dólares nos habría de ser posible lanzar cohetes a cien veces menos del coste de los viejos Apolo, el transporte de los materiales necesarios para construir una colonia espacial a partir de la Tierra seguiría siendo prohibitivo. Sólo para la coraza de protección los costes de transporte representarían una gran porción de nuestro producto nacional bruto. Está claro, pues, que el pensar siquiera en ello es absurdo.

El proyecto Skylab de principios de la década de los setenta proporcionó una considerable cantidad de información científica y técnica, avanzando notablemente nuestros conocimientos sobre los efectos de la permanencia e ingravidez consiguiente de los humanos en el espacio. Los componentes propulsores eran básicamente, no obstante, iguales a los usados para el proyecto Apolo, de modo que no supuso gran cosa en cuanto a progreso en el sentido de cómo desplazar grandes cargas a bajo coste. Actualmente la NASA dedica sus mayores esfuerzos a un proyecto que llevará la cohetería de propulsión química a un grado de enorme complejidad: se trata del programa del Transbordador Espacial. Este vehículo no es sino una nave alada, de ubicación orbital, destinada principalmente a misiones científicas en órbita baja

alrededor de la Tierra. Ha sido diseñada de modo que sea posible su reutilización, por lo menos en parte, y de manera que sea posible el envío y recuperación de instrumentos científicos pesados a y desde el espacio. En el curso del desarrollo de dicho transbordador, la NASA dedica especial estudio y varios miles de millones de dólares al ensayo y perfeccionamiento de los llamados «SSME» o motores principales del transbordador espacial (space-shuttle main engines). Estos no son descomunadamente grandes, como fueran los del Saturno 5 que impulsara los vuelos Apolo, pero sí mucho más eficaces. Operan a la presión interna máxima que permiten los materiales modernos y a temperaturas próximas al límite soportable por cualquier material. Pasará algún tiempo antes de que la cohetería química pueda rebasar las cifras de rendimiento de semejantes SSME.

Dicho transbordador espacial ha sido concebido como vehículo de dos fases, la primera de las cuales la componen dos cohetes de combustible sólido que una vez agotados habrán de descender suavemente con paracaídas al océano, donde serán recuperados para su ulterior reutilización (sólo la experiencia nos dirá en qué medida será ello posible).

La NASA ha venido estudiando ya desde hace algún tiempo diferentes vehículos de carga concebidos a partir del diseño de los motores del transbordador. Se trata del HLV, en la jerga de los especialistas, o vehículo de elevada carga derivado del transbordador (High-Lift Vehicle). No necesariamente tripulado, que cumpliría una función impulsora, y podría situar hasta cien toneladas de carga en órbita baja alrededor de la Tierra. No sería un gran vehículo: su altura en la pista de lanzamiento sería de aproximadamente la mitad del Saturno 5 usado para el proyecto Apolo. Dados los adelantos que se presumen, su rendimiento sería mayor que el del Apolo, componiéndose su primera fase de motores de combustible sólido y la segunda de SSME. Se ofrecen, no obstante, algunas alternativas. En la situación actual los motores de la primera fase podrían ser activados mediante combustible líquido: petróleo o amoníaco y oxígeno líquido. Especialmente en el segundo caso, la descarga de contaminantes en la atmósfera sería más bien escasa; por otra parte, el combustible sería más barato que en el caso de recurrir a materiales sólidos. En cualquier caso, el HLV puede ser construido a bastante corto plazo, aprovechando los grandes esfuerzos ya invertidos en el desarrollo de los SSME.

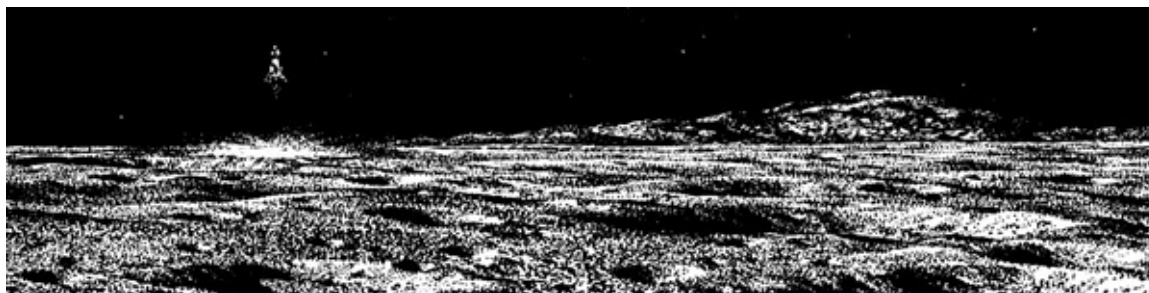


Lanzamiento del vehículo de elevada carga derivado del transbordador (HLV).

La NASA habla actualmente de un coste de aproximadamente 20 millones de dólares para el lanzamiento de un transbordador, incluyendo la recuperación completa y reutilización del material. Los SSME costarían ya varios millones de dólares cada uno, de modo que sería necesario lograr su recuperación de la propia órbita. Los últimos diseños de HLV muestran los SSME montados en la coraza de reingreso, de modo que una vez situada la carga en la órbita establecida, los motores pudieran ser recuperados por frenado atmosférico seguido del disparo de paracaídas, tal como ya se hiciera felizmente con el módulo de mando del Apolo con los astronautas de vuelta en su interior.

Dos diseñadores profesionales de cohetes presentaron en mayo de 1975, en el curso de una Conferencia sobre Instalaciones Productivas celebrada en la Universidad de Princeton, una serie de estimaciones sobre la clase de vehículo necesario bien para alcanzar una órbita baja bien para llegar hasta L5 o a la superficie lunar. Hubert Davis, del Centro Espacial Johnson de Houston, presentó algunos datos sobre diferentes estudios de la NASA y de la industria privada en torno a diseños de HLV^[5]. A. O. Tischeler^[6], retirado ahora tras muchos servicios a la NASA, discutió el concepto y posibilidades de un «remolcador» de propulsión química, un motor y un sistema de control suficientemente pequeño para ser instalado en órbita por un HLV para efectuar seguidamente el traslado de diversas cargas desde una órbita baja a L5.

Para desplazarse desde una órbita lunar a la propia superficie de la Luna será necesario contar asimismo con un «alunizador», pequeño vehículo semejante al remolcador mencionado. Los primeros presupuestos sobre Isla Uno y sus sucesores inmediatos se basaron precisamente en la existencia de esos pequeños vehículos: el transbordador espacial, que realizó su primer vuelo libre en 1977, el HLV derivado de aquél, el remolcador y el alunizador, los dos últimos propulsados químicamente y de características perfectamente comprendidas en nuestros actuales conocimientos de ingeniería.



Envío de equipamiento a la superficie lunar.

En la Conferencia de Princeton de 1975 se confirmó que el coste de situar una tonelada de carga en la superficie lunar sería de aproximadamente dos veces el de ponerla en L5, y que éste último equivaldría a colocar una carga en órbita geosincrónica, es decir, sobre un punto fijo en relación con la superficie de la Tierra. En estudios posteriores auspiciados por la NASA y más detallados, realizados en 1976 y 1977, estas estimaciones fueron analizadas a conciencia. Ha sido verdaderamente notable el hecho de que a medida que los aspectos de ingeniería han ido quedando más perfilados, con lo que los cálculos económicos han podido efectuarse de manera más profesional, los costes del establecimiento de Isla Uno han venido descendiendo.

El trabajo más reciente consideraba un programa en el que Isla Uno era precedida de otros hábitats más pequeños, a partir de una minúscula estación espacial. Estos hábitats, los primeros que serían transportables por un transbordador como los descritos, no serían sino estacionamientos temporales para una fuerza de trabajo cuya labor prioritaria sería la de iniciar la producción en el medio espacial, de manera que el programa pudiera empezar a rendir beneficios a la mayor brevedad y, así, amortizar la inversión efectuada. Sólo cuando el programa hubiera quedado sólidamente establecido en régimen de rentabilidad sería dirigida la productividad hacia la construcción de Isla Uno. En tales circunstancias podrían pasar uno o dos decenios desde la iniciación de la producción en el espacio hasta que la construcción de Isla Uno y demás colonias fuera completa. Adoptando este curso, la inversión requerida para llegar al «punto de ignición», tras el cual los beneficios de la producción en el espacio sostendrían ya el crecimiento ulterior, se vería reducida a una fracción de la cantidad presupuestada para la construcción de Isla Uno como proyecto inicial.

Estimo que vemos ya con claridad las distintas etapas de nuestro programa de

fabricación en el espacio. Podemos barajarlas de manera diversa, y con objeto de obtener el máximo rendimiento con el mínimo gasto procederemos a estudiar seguidamente cada una de las posibilidades que se ofrecen hasta que llegue el momento final de decidir la planificación última. Consideremos pues esos bloques uno a uno porque lo probable es que se hallen presentes en mayor o menor grado el programa definitivo.

Con ocasión de la Conferencia de Princeton de 1975 y en el Seminario de Verano del mismo año se efectuaron diversos cálculos acerca del tema «repostación de combustible», los cuales revelaron que cuando sea asequible en L5 oxígeno líquido derivado de materias lunares tanto el coste como el número de lanzamientos procedentes de la Tierra pueden reducirse considerablemente. De hecho, cuando se disponga de oxígeno procedente de las actividades industriales en L5 las operaciones del remolcador verán tan abaratado su coste que éste funcionará a un nivel de otro modo sólo asequible mediante el concurso de un cohete nuclear avanzado. Esta circunstancia puede que imponga que la primera industria de procesado de materiales lunares se dedique exclusivamente a la obtención del oxígeno encerrado en ellos. El ahorro potencial entrañado por el empleo de este método no ha sido incluido aún en las estimaciones de coste.

La idea de servirse del oxígeno lunar para los cohetes químicamente propulsados no es nueva, por cierto. Robert Goddard pensó ya en ella hace medio siglo, y Arthur Clarke volvió a ponerla en el candelero algunos años más tarde.

Si consideramos en detalle los aspectos económicos de la producción en el espacio, vemos que en el curso de unos pocos años deberán ser procesados varios millones de toneladas de material lunar. Con objeto de mantener acotado el coste de la inversión y para que el número de vuelos del transbordador y el HLV se mantenga dentro del «modelo de tráfico» establecido por la NASA, interesa que las instalaciones no pasen de unos cuantos millares de toneladas.

Por consiguiente, las instalaciones lunares deben lanzar en el curso de algunos años mil veces su propio peso. Con la tecnología actual ningún cohete propulsor podría conseguirlo. Habrá que diseñar, en cambio, un dispositivo de transporte capaz de lanzar cargas desde la Luna sin necesidad de abandonar él mismo su superficie.

Antes de entrar en pormenores acerca de ese transportador, procede considerar cómo el llamado principio «bootstrap» para situar un lanzador en la Luna puede aportar un incremento en el número de hábitats espaciales y de sus productos sin más agotamiento de los recursos de la Tierra. Está claro que el primero de esos lanzadores debe ser construido en nuestro planeta, ensayado y perfeccionado aquí, y enviado a la Luna, donde deberá tener lugar su nuevo montaje. Su presencia en ella permitirá la construcción de la primera instalación productora espacial a un coste admisible. Una vez el primer hábitat haya sido colocado correctamente en L5, uno de sus primeros productos será, lógicamente, una serie de dispositivos de transporte adicionales. El coste de llevarlos desde L5 a la Luna será sustancialmente más bajo que el de hacer

otro tanto desde la Tierra; como quiera que el coste total de instalación vendrá dominado por el de transporte, Isla Uno resultará el emplazamiento ideal para su producción.

A fin de librarnos de lo que Isaac Asimov llama nuestro «chauvinismo planetario» tenemos que considerar por qué la Luna, aunque necesaria como fuente de recursos materiales, es menos indicada que L5 como sede de la industria y de la colonización espaciales. Podemos incluso abonar cuantitativamente algunas razones.

En primer lugar el coste del transporte de obreros y de sus familias, al igual que de las máquinas y herramientas necesarias, de hidrógeno líquido, plantas químicas y una estación suficientemente grande para iniciar la construcción de un hábitat, resultaría aproximadamente el doble de lo que supondría si el punto de destino fuera L5; en consecuencia los costos de amortización serían mucho más elevados en la Luna, lo cual a su vez elevaría el precio de todos los productos de la industria lunar.

En segundo lugar, todos los objetos que la Luna pudiera construir tendrían que ser enviados desde ella mediante el concurso de cohetes, lo cual limitaría sus dimensiones de manera notable; por el contrario, las comunidades de L5 podrían construir objetos de hasta decenas de millares de toneladas de masa, podrían probarlos en su forma final, y trasladarlos por último a cualquier emplazamiento espacial libre para su utilización práctica. Los costes de expedición por cohete desde la Luna serían muchas veces más elevados que el transporte en el espacio mediante simples impulsores.

En tercer lugar, la eficacia de todas las operaciones de construcción que he asignado a L5 dependen de la disponibilidad de energía solar constante y manejable. En la Luna, ésta quedaría interrumpida dos semanas de cada cuatro. Aunque en última instancia sería posible contar con energía eléctrica en la Luna, en cualquier punto, gracias al tendido de líneas desde la zona «diurna», la electricidad resultaría bastante más cara que en L5 dado que en nuestro satélite sería necesario instalar por lo menos dos o tres estaciones solares a fin de asegurar un suministro de energía constante. El problema de proveer a la agricultura del equivalente de la luz solar y del calor necesarios para los procesos químicos durante la noche solar aumentaría, qué duda cabe, los costes operacionales en la Luna.

La gravedad representa en la Luna un problema múltiple. No puede ser eliminada, de modo que todas las posibilidades de proceso en ausencia de continente, de construcción de grandes estructuras frágiles, de fusión de elevada pureza y demás atractivos de la gravedad cero le serán negadas a la industria lunar.

La ineludible gravedad lunar presenta además otro problema a la fuerza laboral allí destacada: es demasiado leve para mantener los músculos y huesos en buenas condiciones sin que medie una rigurosa y regular tanda de ejercicios, y al mismo tiempo es suficiente para impedir la fácil obtención de gravedad por rotación. En el espacio libre y para un hábitat de tamaño modesto, el coste de la rotación necesaria

para imitar la gravedad de la Tierra constituiría sólo una pequeña fracción del coste de confinar una atmósfera. Sin embargo, para lograr el mismo resultado en la Luna habría que construir una estructura relativamente pesada, sustentada sobre masivos soportes.

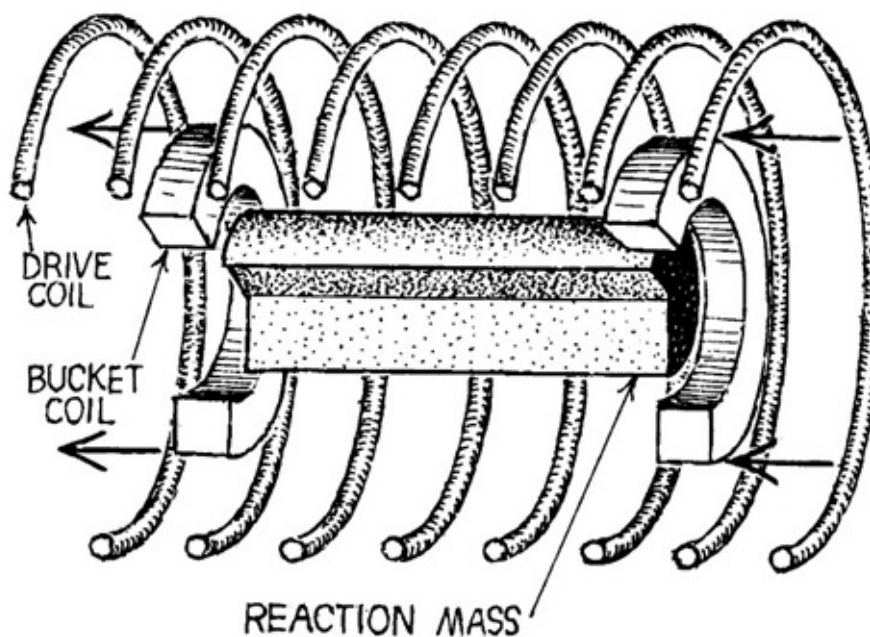
Cuando consideramos que todo empleado lunar tendrá que cargar con la ausencia de luz solar o con luz artificial dos de cada cuatro semanas, que el coste de su transporte a la superficie lunar desde la Tierra será de aproximadamente el doble, y que probablemente tendrá que dedicar una considerable cantidad de tiempo al duro ejercicio físico a fin de no perder tono muscular, está claro que la industria lunar lo tendrá difícil para competir con éxito con la establecida en L5. Presentará ventajas solamente para productos especializados tales como impulsores de masa y sus instalaciones de energía solar. A todas luces, pues, la Luna seguirá siendo un «confín en el espacio», similar en muchos aspectos a las colonias científicas del Ártico.

A la larga, a medida que las colonias sigan creciendo en número y tamaño, es de presumir que se extienda asimismo la estación lunar. No podrá competir con las industrias establecidas en L5 con referencia a la mayoría de productos debido a las desventajas de contar con energía solar directa de manera intermitente, a su condicionamiento a gravedad no nula para la construcción y a su mayor alejamiento en términos de transporte por medio de cohete. Contará, no obstante, con una notable ventaja para una clase concreta de productos: los destinados a ser utilizados en la propia Luna. Es probable que los primeros de tal clase sean los transportadores, seguidos de las plantas de energía solar para uso local. Es razonable pensar que a la larga esas estaciones de energía solar estarán situados en varios puntos a lo largo de la circunferencia del satélite, unidas por cables de conducción, de manera que la energía/helio/eléctrica se dé sin interrupción. Puede que se opte asimismo por localizar algunas estaciones en un elevado pico próximo a uno de los polos lunares, donde la luz solar sería asequible casi constantemente. Todas esas posibilidades quedan, sin embargo, para una etapa ulterior: al principio, las operaciones lunares se circunscribirían a un emplazamiento único, del que mineros e ingenieros no se alejarán demasiado.

A medida que se va completando nuestra imagen económica observamos que el éxito o el fracaso de todo ese concepto de producción espacial depende del principio que ha sido llamado «bootstrap» (cordón de bota) y, por consiguiente, del dispositivo de transporte que debe transferir materiales lunares a la planta procesadora y el complejo industrial sitios en L5.

Por comodidad llamo a este dispositivo «impulsor de masa». En su concepción presente^[7] se trata de una especie de cinta transportadora sin fin. Por la acción de impulsos magnéticos inducidos mediante energía eléctrica puede acelerar un pequeño «cestillo» que contiene un compacto paquete de material lunar hasta alcanzar la velocidad de escape del satélite, 2,4 km por segundo. Seguidamente, tras las debidas correcciones finales y orientación definitiva, el cestillo liberará su carga, decelerará a

una velocidad relativamente lenta y será devuelto a origen para recibir una nueva carga. La principal característica del método es que nada de valor será jamás desechado. Un cestillo puede ser muy caro y, sin embargo, gravar muy poco los costes de lanzamiento. De acuerdo con los cálculos efectuados cada uno de ellos será reutilizado con un intervalo de dos minutos. Incluso si costaran un millón de dólares por unidad, semejante coste, amortizado a lo largo de unos pocos años, añadiría tan sólo unos céntimos por kilogramo al coste de lanzamiento de material lunar al espacio.



Impulsor de masa.

El impulsor de masa es un dispositivo que bien podría haber sido imaginado hace un siglo, es decir, tan pronto como los físicos hubieron adquirido un conocimiento adecuado de la acción y efecto de los campos electromagnéticos. Una variante temprana aparece descrita en una publicación de hace ya veinticinco años por ese decano de los escritores de ciencia ficción (y por entonces científico activo) Arthur C. Clarke^[8]. En el Journal of the British Interplanetary Society, Clarke expuso los aspectos mecánicos básicos de un lanzamiento electromagnético desde la Luna, comparando a la vez el problema con la investigación militar a la sazón en curso acerca del lanzamiento de aviones desde los portaviones.

Tres logros han llevado la idea del impulsor de masas desde el terreno de la ciencia ficción al de la viabilidad práctica. El primero es el concepto de esos cestillos de circulación continua, lo cual podía haberse considerado en cualquier tiempo, de modo que no cejo en mis estudios a fin de hallar alguna referencia sobre el tema en el pasado. El segundo es el desarrollo, justo en el decenio pasado, de alambre superconductor a escala comercial. Sólo actualmente nos es posible construir un imán a partir de superconductores, y hacer que funcione constantemente con un elevado

campo magnético en ausencia de suministro de energía. Para los cestillos, la bobina superconductorá vendrá a constituir «el asa», puesto que creará una corriente constante que campos magnéticos intermitentes externos pueden captar.

El tercer logro necesario es más bien curioso: hace años que habría sido posible acelerar un objeto por medio de campos magnéticos, pero en el caso del problema del lanzamiento lunar la dificultad estriba en cómo guiarlo. A la elevadísima velocidad requerida, las ruedas se desharían en pedazos en una fracción de segundo; la fricción derrocharía excesiva energía y generaría un calor indeseado. La solución se encuentra en una idea expuesta en primer lugar por el ingeniero francés Emil Bachelet hace ya más de sesenta años. Se trata del concepto de «levitación magnética dinámica», basado en la observación de que si un imán permanente se mueve rápidamente en la proximidad de una guía conductora (que puede consistir simplemente en una especie de canaladura curva de aluminio) su campo magnético genera en dicha guía corrientes inducidas^[9]. Estas corrientes producen a su vez campos magnéticos que reaccionan repeliendo el imán y, por tanto, dan lugar a una fuerza de elevación. A mayor velocidad, más grande la fuerza de elevación inducida y menor el frenado. En el curso de los últimos años los estudios de diseño de semejante dispositivo han sido varios y cada vez más complejos, habiéndose establecido sistemas de guía con modelos de «magneplano» en diferentes países. La idea del magneplano o «vuelo electromagnético» ha surgido en el momento oportuno para su aplicación al impulsor de masas.

Si proseguimos con la construcción del impulsor lo veremos en espectaculares operaciones de pruebas en la misma Tierra. Será un tubo delgado y ligero rodeado de un devanado, de diámetro no superior a un plato de sopa, pero de muchos kilómetros de longitud. Habrá a intervalos acumuladores para el almacenamiento de energía eléctrica, y cada vuelta del devanado estará conectada a un dispositivo transistorizado que le enviará dicha energía al paso del cestillo.

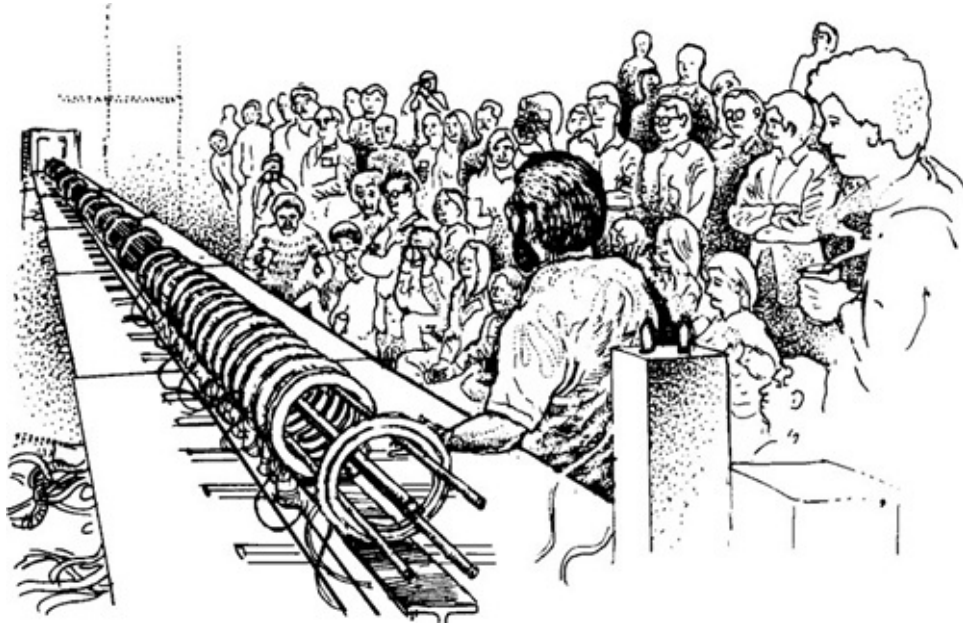
Puede que nos sea dado contemplar el impulsor de masa sólo a través de una ventana, ya que habrá sido diseñado para operar en el vacío casi perfecto de la superficie lunar; así, en la Tierra sólo podrá ser sometido a sus pruebas finales en el interior de una cámara de vacío. Cerca del extremo de «inyección» el cestillo frenará su recorrido y se detendrá en una fracción de segundo; una cinta transportadora mecánica lo extraerá de la guía con fines de examen, inspección automatizada y recarga, tras de la cual tendrá lugar su equilibrado y nueva puesta en acción. Entretanto la misma cinta o banda transportadora que lo extrajo de su puesto habrá reinsertado otro idéntico, previamente cargado. Se activará la primera vuelta del devanado, y a medida que el cestillo vaya trasponiendo cada vuelta sucesiva, una luz que interrumpirá con su paso activará la espira siguiente para ir dotándolo de creciente velocidad. Ese mecanismo de haz luminoso interceptado no es otro que el que se usa para abrir y mantener abiertas las puertas de los ascensores mientras los pasajeros van acomodándose en ellos. Cuando el castillo alcanza plena velocidad

empieza a frenarse un poco para liberar su carga; sufre luego una retención súbita por la acción de un devanado de deceleración y, una vez se halla ya a velocidad moderada, se le imprime una suave curva que lo devuelve al punto de partida. La carga que transporta y las sucesivas someterán al «receptor» a un esfuerzo notable, equivalente cada vez a una fuerza de más de cuatro toneladas.



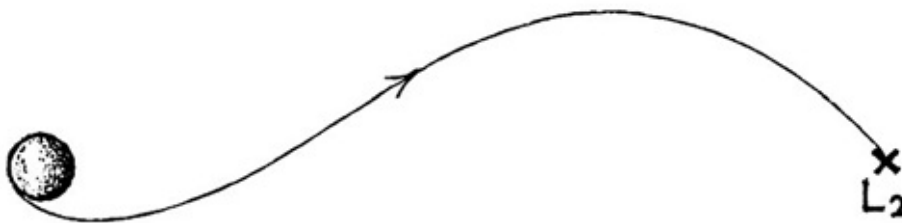
Minería lunar.

Para suministrar electricidad al impulsor de masas cabe recurrir bien a una serie de células solares o a una pequeña instalación de energía nuclear. No necesitaremos gran cantidad de energía: aproximadamente una décima parte de la de un generador normal en las instalaciones energéticas de la Tierra. Los últimos estudios al respecto indican que una batería de células solares resultaría tanto más ligera que la otra alternativa, que la elección no ofrecerá dudas, pese a que sólo podría operar durante el día. Por lo que sabemos actualmente, ésa es la única ocasión y lugar, en todo el proyecto de actividad productiva espacial, en que una planta nuclear puede resultar justificada desde el punto de vista costeefficacia.



Modelo de trabajo para impulsor de masa.

Con sus primos los aceleradores lineales de partículas en física de elevada energía en los laboratorios de la Tierra, el impulsor de masa puede seguir actuando incluso si algunas de sus espiras sufren una avería. Se ha planeado añadir algunas suplementarias a lo largo del recorrido del sistema, de manera que si bien normalmente estas vueltas extranumerarias permanecerán inactivas, de producirse el fallo de alguno de los componentes una o más de las reservas resultará inmediatamente puesta en acción, de modo que el impulsor de masas pueda, seguir operando con plena fiabilidad. Durante el período de mantenimiento, probablemente durante la noche lunar, la cuadrilla encargada del mismo inspeccionará el sistema y repondrá, de ser preciso, los elementos defectuosos.



Envío de material lunar al segundo punto de Lagrange.

En todo el proyecto de producción espacial cada uno de los factores integrantes, excepto el impulsor de masas, no es sino una variación de algo ya conocido. Los cohetes son convencionales, y las operaciones de producción resultan novedosas sólo a causa de su ubicación en el espacio; por lo demás no se diferencian mucho de la ingeniería civil de construcción de puentes y demás obras de envergadura en la Tierra. Si los hábitats espaciales resultan peculiares en su forma ello se debe tan sólo a que se encuentran localizados en condiciones agravitatorias y de vacío casi perfecto; aparte de esas circunstancias no hay en ellos mucho que los distinga de los

criterios habitacionales aplicados a las aeronaves, la náutica y hasta la construcción común. Con todo, no ha habido nadie todavía que haya construido un impulsor de masas, por lo cual es preciso revisar con cierto detalle sus fundamentos teóricos. Luego vendrá la preparación de modelos operables a título de ensayo, correspondientes a cada una de las fases de su desarrollo y construcción.

Después de haber publicado un artículo sobre este tema concreto, hecho que tuvo lugar en 1974, poco fue lo que se hizo al respecto hasta 1976, fecha en que dirigí un estudio suspciado por la NASA para investigar posibles obstáculos en el proyecto de producción espacial. Por entonces tuve el placer de trabajar con el doctor Henry Kolm, del MIT, y con el doctor Frank Chilton, de Science Application, California. Uno y otro habían sido pioneros y dirigentes de grupos que habían estudiado las aplicaciones del vuelo magnético mediante motores eléctricos al tránsito de superficie a elevada velocidad. Sus respectivos grupos habían desarrollado varios modelos operativos, así como una gran parte de la teoría básica pertinente, que había visto la luz pública en numerosos artículos e informes especializados. No deja de ser triste exponente del declive del sentido americano de la audacia y de la iniciativa el hecho de que ambos proyectos fueran abortados por la Oficina de Gestión y Presupuesto del Gobierno a primeros de la década de 1970. En ese momento el liderazgo en esa línea pasó a Alemania y Japón, que, con más de cien millones de dólares anuales de presupuesto para la investigación sobre el vuelo magnético, contaban en 1977 con vehículos de ensayo a escala normal perfectamente operativos. Si tardíamente decidimos que necesitamos de semejante técnica para resolver nuestros problemas de tránsito a gran velocidad, será con desafortunado efecto sobre nuestra balanza de pagos que deberemos comparar en el extranjero la tecnología que, de haberlo pensado mejor, podríamos haber llamado fácilmente nuestra.

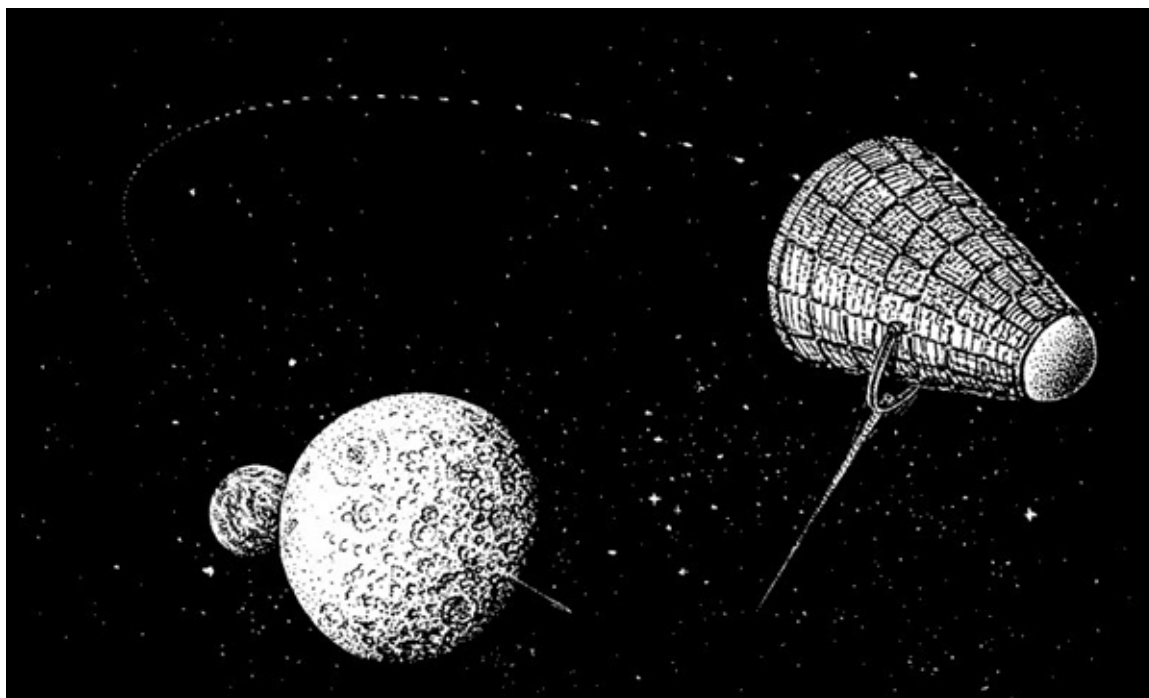


Con la experiencia y conocimientos profesionales de Kolm y Chilton en 1976 nos hallábamos en situación de dar respuesta a la pregunta principal que cabía formularse acerca de los impulsores de materia: ¿era la idea fundamentalmente práctica y acertada? Ambos expertos estaban convencidos de que sí. Kolm sugirió incluso la conveniencia de que pasáramos a considerar una geometría «axial» para el sistema; en este caso todas las espiras serían circulares y las fuerzas de impulsión podrían ser más elevadas. Ambos estaban seguros de que mis viejos cálculos sobre aceleración del cestillo eran demasiado prudentes, de modo que en su opinión se podían lograr aceleraciones de varios centenares de unidades gravitatorias, hecho que contribuiría a acortar, por tanto, la longitud de los aceleradores del impulsor de masas.

A finales de 1976 y principios de 1977 me fue posible dedicar una gran cantidad de horas al estudio del tema y en las mejores condiciones posibles. Disfrutaba de mi permiso de excedencia sabática en Princeton y había aceptado una invitación amablemente formulada por el Instituto de Tecnología de Massachussets para ejercer como profesor Hunsaker de Temas Aeroespaciales durante aquel año. Era la ocasión de gozar de la estrecha colaboración de Henry Kolm, que naturalmente aproveché al

máximo, pues nuestras residencias respectivas en el MIT distaban sólo unas manzanas.

Mi tema de elección giraba en torno a la teoría del impulsor de masas. Al completar los artículos pertenecientes al estudio de la NASA de 1976 había calculado ya la optimización de masas, de manera que había profundizado considerablemente en el diseño de un dispositivo capaz del mayor rendimiento con el peso mínimo.



Durante el primer semestre de 1977 y por invitación del profesor Rene Miller, director del Departamento Aeroespacial en el MIT y presidente del Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica, tuve ocasión de organizar una serie de seminarios sobre temas tales como aceleración, dirección, diseño y aplicaciones del impulsor. Estos seminarios formaron la base de un estudio realizado en el verano de 1977 bajo los auspicios de la NASA, para el cual Henry Kolm, Stewart Bowen, varios estudiantes excelentes y yo mismo trabajamos concienzudamente a una forma de programa procesable mediante ordenador, al tiempo que ampliábamos considerablemente nuestros respectivos conocimientos sobre el tema.

Entretanto habíamos llegado a un nuevo y avanzado estudio: la construcción del primer modelo operable. Durante el invierno de 1976-1977 Kolm y yo diseñamos un impulsor de masas axial de longitud aproximadamente igual a la de un esquí de fondo. La comparación es apropiada por otra razón adicional: ese invierno resultó el más duro del que tengo memoria, y las imágenes que de él guardo aparecen siempre llenas de nieve y hielo. No dispusimos de presupuesto de construcción hasta transcurridos varios meses, de manera que en enero de 1977 recluíamos la asistencia no remunerada de varios estudiantes^[10], y de un joven postdoctorado, Bill Wheaton. Nuestros materiales procedían de la pila de desechos del laboratorio de Kolm, con el suplemento de elementos tan variados como tubos de cobre, escobillas de una dinamo

de coche y acumuladores como los que usan los fotógrafos en sus *flashes*.

El modelo quedó terminado a primeros de mayo y fue mostrado con ocasión del último de nuestros seminarios. Seguidamente fue llevado a Princeton y no fue poco lo que viajó en el curso de los meses siguientes. En mi universidad se convirtió en la estrella del momento y fue filmado en acción por varios equipos de televisión. Por último fue enviado a California, donde culminó con su presencia una conferencia celebrada por la NASA en 1977, en el Centro Ames de Investigación como resumen de un estudio sobre producción en el espacio. De ahí pasó a Los Angeles, donde tuvo lugar una demostración (impecable) ante un millar de espectadores invitados por el gobernador Jerry Brown para celebrar la efemérides titulada «California en la Era Aeroespacial», precisamente el día antes del primer vuelo libre del transbordador orbital del espacio.

En el modelo el cestillo aceleraba de 0 a 120 kilómetros por hora en una décima de segundo. Significativamente, la aceleración obtenida con este primer modelo era ya mayor que la que yo había estimado algunos años antes para el «más avanzado» lanzador lunar. Dos estudiantes, Kevin Fine y Bill Snow cuidaron del montaje y operación en todo momento. Avanzado ya el año 1977, Kevin prosiguió la labor y completó su propia tesis magistral sobre impulsores de masas.

Por entonces contábamos ya con cierta ayuda de la NASA que dedicar a la investigación y desarrollo del tema, de modo que iniciamos un programa de trabajo conjunto en Princeton y en el MIT con miras a fabricar un modelo de gran aceleración. Ya a principios de 1977 estaba tan convencido de la viabilidad de los impulsores de masas y de la corrección de los cálculos efectuados sobre su rendimiento, que el concepto fue seguidamente aplicado no sólo a un lanzador de materiales lunares, sino de cualquier tipo, en el marco de una versión puesta al día, de bajo coste y máximo rendimiento en un plan de producción espacial (más adelante entraremos en detalles). Sigamos ahora el itinerario del mineral desde la Luna hasta y a través de una planta procesadora sita en el espacio.

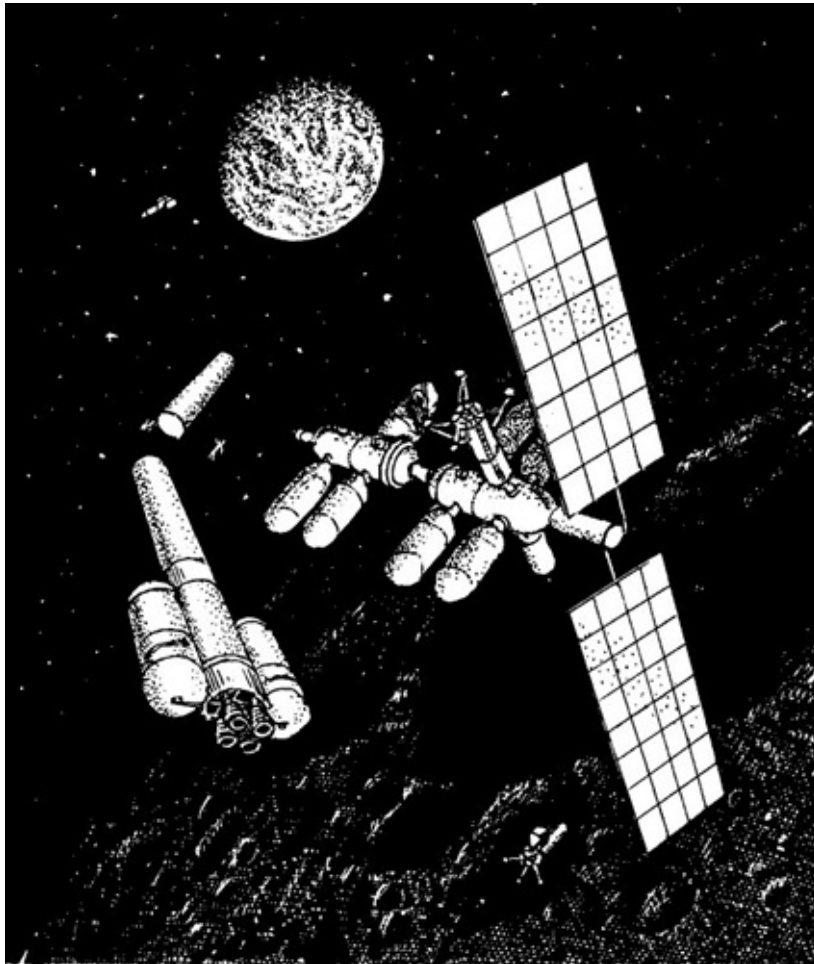
La minería lunar no tiene por qué ser una operación a gran escala. El procesado químico puede tener lugar en L5 y las escorias industriales que puedan producirse han de servir como sustrato o matriz para el crecimiento de los cultivos agrícolas, como protección frente a los rayos cósmicos o como masa de reacción para ingenios de transporte de masas en el espacio libre. Por esta razón no habrá necesidad alguna de proceder a la separación inicial de los minerales de la superficie lunar mediante procesos a gran temperatura. Los expertos en el tratamiento comercial de gangas que han estudiado el problema creen que valdrá la pena el «reducir» el mineral lunar efectuando la separación mediante criba o por medios magnéticos para incrementar la fracción de elementos útiles. Una vez realizadas esas operaciones básicas el mineral puede ser compactado, envasado y preparado para su expedición.

El doctor David Criswell ha estudiado el problema del envasado del mineral lunar para su traslado al espacio y ha elaborado los detalles de una instalación en la Luna

que produciría fibra de vidrio, consiguiendo tejida en forma de saco. Afortunadamente abunda el vidrio en la Luna, en forma de arena que puede ser fácilmente fundida en hornos solares.

Al oír la expresión «minería en la Luna» uno piensa inmediatamente en grandes hondonadas o excavaciones abiertas, máquinas gigantescas y operaciones a escala semejante a las que se dan en las mayores explotaciones de la Tierra. La realidad será mucho más modesta. Si la superficie es excavada en profundidad semejante a la de una fosa y se extrae un millón o más de toneladas al año, al cabo de varios la operación habrá alcanzado tan escasa extensión, que uno podría recorrer a pie toda su longitud en unos pocos minutos. Los expertos en minería, que han estudiado el problema, estiman que la minería lunar será de escala tan modesta que apenas si podrá ocupar plenamente una sola excavadora.

En tanto la demanda se centre en elementos que no son raros en la Luna, no habrá necesidad de someter su superficie a una explotación intensiva. El suelo lunar promedio (por ejemplo, los llamados «finos» recogidos por Apolo 12) se compone en su tercera parte de metales y en casi su quinta de silicio, útil para fabricar células solares para la conversión de luz en electricidad^[11]. El oxígeno es el elemento más abundante en la superficie de la Luna, de modo que podrá contarse con un «subproducto» generoso y muy útil de resultados de las actividades de tratamiento industrial en el espacio.



Suministro energético mediante paneles solares.

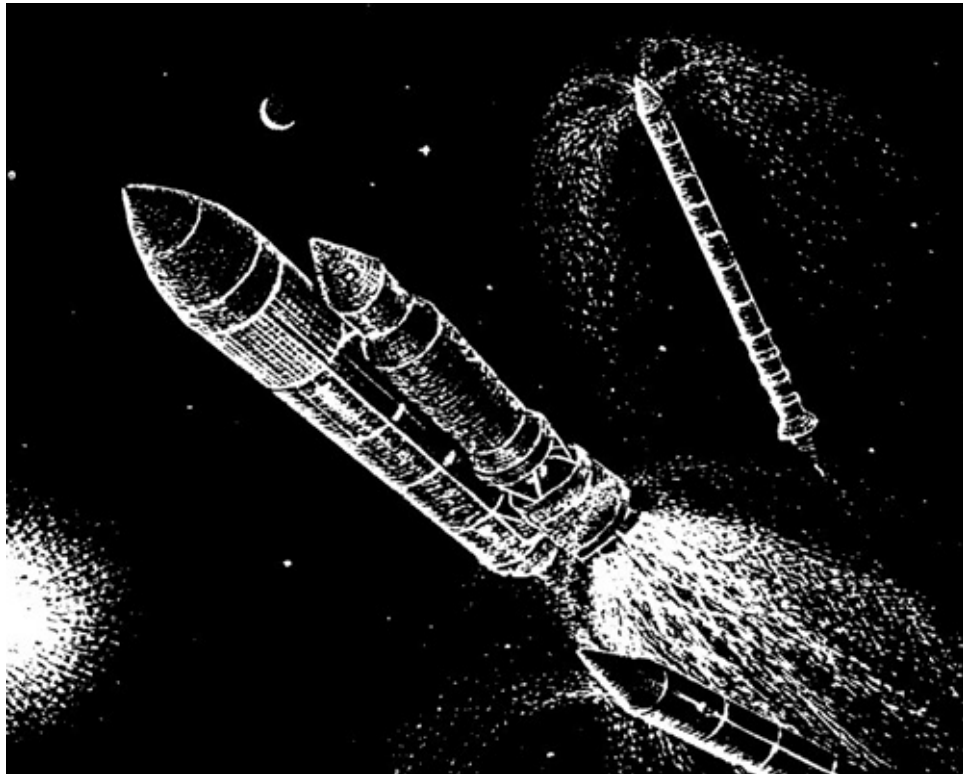
Tanto la televisión como los propios informes personales, nos han demostrado que los hombres pueden trabajar en nuestro satélite debidamente provistos de trajes atmosféricos, pero de manera muy lenta y poco eficiente; si el destacamento lunar ha de llevar a cabo su misión rápida y eficazmente, tendremos que planificar las actividades de forma que las tareas que requieren el concurso de trajes espaciales queden reducidas a un mínimo. La labor más onerosa en tiempo puede que sea el ensamblaje y ajuste del impulsor de masas. Circunscribiéndonos a un presupuesto de acción modesto, un cilindro de aluminio de diámetro suficiente para servir como túnel de ensamblaje podría ser enviado a la Luna en secciones con las primeras cargas. En ese túnel cilíndrico, cubierto de suelo lunar a efectos de protección anticósmica, tendría lugar seguidamente el montaje y prueba del impulsor de masas.

Para cuando se sumen a los destacados los cocineros, médicos, expertos en comunicaciones y demás personal necesario para los diversos servicios, la plantilla de trabajo apostada en la Luna puede que ascienda a un total de aproximadamente cincuenta personas. Terminada ya la construcción y presto el destacamento lunar a un régimen de actividad estable y regular, las estimaciones más generalizadas señalan como dotación suficiente la de una cuadrilla de ocho a diez hombres. En un típico turno de trabajo puede que uno se dedique a controlar la función automatizada del impulsor de masas, en tanto otro atiende mediante radio y televisión a las actividades

de un vehículo minero. Puede que ambos se encuentren en la misma habitación frente a sus respectivas consolas de mando y que, mientras discurren las operaciones, vayan intercambiando relatos y ofreciéndose recíprocamente café.

En muchos aspectos, la base lunar será el punto más remoto y difícil de alcanzar entre todos los atendidos por partidas de trabajo. Con todo, no es probable que quede defasado con respecto a los demás. Los científicos la visitarán de vez en cuando bien para efectuar ensayos y mediciones varios, bien para proseguir sus análisis e investigaciones. Cuadrillas de constructores tendrán que acudir allí cada vez que el impulsor de masas deba ser renovado o potenciado con nuevos adelantos. Conforme a nuestra estimación actual, ese dispositivo será capaz de enviar al espacio más de un millón de toneladas de mineral lunar cada año. Su sistema de suministro energético será mucho más pesado que la propia máquina, de manera que parece prudente conferirle al principio sólo una fracción de su potencia final, para ir añadiendo series de células solares a medida que va ampliándose la industria espacial.

Una vez instalado y operando en la Luna, el impulsor de masas liberará sus cargas casi horizontalmente. Pero la velocidad será tan grande que se elevarán antes que caer, y después de un vuelo libre de aproximadamente un minuto de duración, se encontrarán ya a muchos kilómetros de distancia. Pasarán entonces por una estación correctora que medirá exactamente sus respectivas posiciones y corregirá apropiadamente ángulos y velocidades, de igual modo que se hace con el haz de electrones del tubo catódico de la televisión mediante la aplicación de fuerzas electrostáticas. Los últimos cálculos muestran que, efectuada la corrección direccional, las cargas podrán alcanzar un punto de destino concreto en el espacio con un error de tan sólo unos metros.



Momento de separación.

Ascendiendo contra el arrastre de la gravedad de la Luna, las cargas escaparán finalmente de su atracción para enfilarse el espacio abierto con una velocidad relativamente baja. ¿Cuál es el mejor destino? La meta óptima parece ser el segundo punto de Lagrange, L2, más allá de la cara oculta de nuestro satélite. Un colector-receptor será mantenido allí en posición, maniobrando de manera que siga las pequeñas variaciones de trayectoria de la sucesión de cargas enviadas desde la Luna conforme a las oscilaciones que ésta experimenta en función del mes lunar. Cuando se hayan acumulado varios miles de toneladas de material en L2 se procederá a su traslado a L5 por un remolcador de baja velocidad, el cual puede ser activado asimismo por una pequeña versión del impulsor de masas lunar.

Las leyes de Newton nos dicen que una máquina que puede acelerar y despedir material con gran velocidad puede ser usada como motor a reacción, como cualquier cohete. El impulsor, con sus toneladas de fuerza potencial, será verdaderamente eficaz para el acarreo de grandes cargas en el espacio libre. Su rendimiento, en términos de velocidad de expulsión, será similar al de los cohetes de combustible sólido usados en el transbordador espacial.

La máquina lunar no ha sido diseñada como motor de cohete, de modo que en el curso de la intensa labor teórica realizada en torno a los impulsores de masas, llegó a interesarme sobremanera cuál sería el rendimiento de un dispositivo semejante, especialmente adaptado para la generación de un impulso propulsor, apto por ejemplo para accionar un remolcador de arrastre de cargas en el espacio libre alimentado por energía solar. Los cálculos se me antojaron tan atractivos que en 1977 los incluí en un artículo que expresa nuestro actual enfoque del problema de la producción

espacial^[12].

Seamos realistas en lo que concierne a la eventual humanización del espacio. En primer lugar, no es probable que a nadie le dé por subvencionar la construcción de hábitats espaciales porque sí ni por lo fascinante que resulte la idea. Si se construyen será por la misma razón que proliferan las nuevas urbanizaciones en la Tierra: hay una industria, o varias, que necesitan obreros, de modo que existe asimismo un mercado de viviendas para alojar a esos obreros y a sus familias.

Si se da una necesidad de productos en grandes cantidades para su aplicación en órbita elevada o aún más allá, es necesario que investiguemos la forma más eficiente de instalar los sistemas de fabricación y transporte de los mismos. ¿Cómo podemos reducir al mínimo la inversión necesaria? Recurriendo en la medida de lo posible al único sistema vehicular ya en desarrollo: el transbordador espacial. En el curso del decenio que ha visto su gestación se ha planificado con miras a un modelo de tráfico que supone una frecuencia de 60 a 120 vuelos al año. Si un determinado vehículo orbital debe permanecer en vuelo durante un largo período de tiempo, a fin de llevar a cabo una serie de complejos experimentos o investigaciones científicas, está claro que sólo podrá ser reutilizado un número escaso de veces al año. Para cubrir no sólo el actual programa de lanzamientos de la NASA (muy reducido), sino también un programa de producción espacial, puede que sean necesarias algunas adiciones a la flota prevista de cinco vehículos orbitales. Con respecto al transbordador, la idea inicial era que sirviera como vehículo capaz de elevar componentes a una eventual estación espacial. Más recientemente, a medida que los presupuestos han venido siendo recortados y de la estación espacial apenas queda el proyecto de un pequeño taller suspendido en el vacío, el plan global de tráfico ha sido asimismo modificado. Se estima que esos orbitales pueden, de hecho, cumplir una función doble: propiciar la práctica de experimentos en el espacio, al tiempo que permanecen en él a modo de estaciones o laboratorios temporales. Buscando una imagen más corriente, podríamos decir que se trata de algo así como fletar un 747 para pasar una semana de vacaciones en Europa y mantener el aparato allí a guisa de hotel. A la NASA no le cabe otra alternativa dadas las actuales restricciones presupuestarias; pero si los orbitales pudieran ser usados verdaderamente como transbordadores, es decir, si se pudiera establecer con ellos una especie de «puente aéreo» que colocara material en órbita y tendiera una rápida y constante comunicación con la base terrestre, una flota de tres o cuatro sería más que suficiente para doblar el cupo previsto de sesenta vuelos anuales.

En el artículo «The Low (Profile) Road to Space Manufacturing» (Una vía realista hacia la producción en el espacio), señalé la forma de conseguir un elevado nivel productivo en el espacio en un plazo de pocos años dentro de un modelo de tráfico de unos sesenta vuelos de transbordo al año. En los últimos años de semejante plan, muchos de esos vuelos corresponderían ya al HLV derivado del transbordador, quedando éste principalmente destinado al transporte de personal. Su

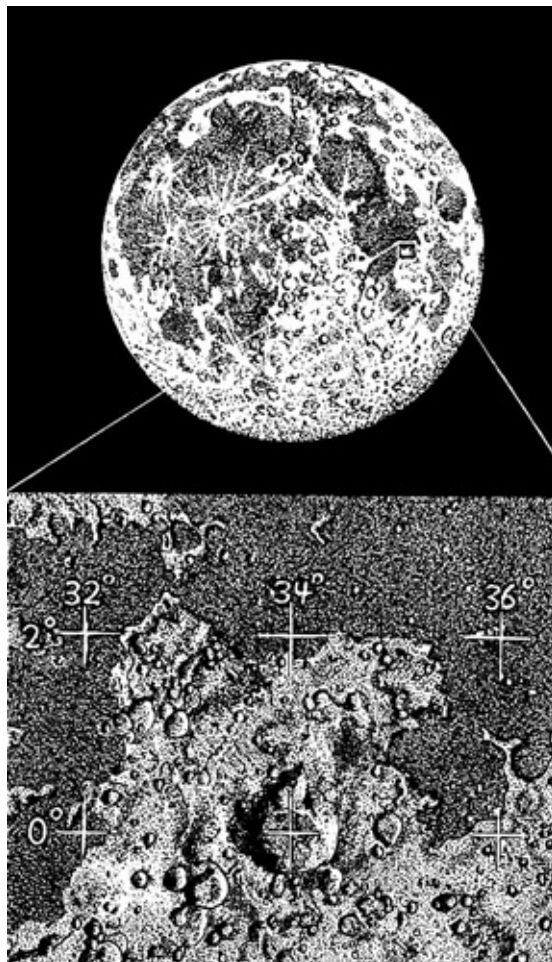
capacidad de carga corresponde aproximadamente a la de un DC-9, de manera que convertido en habitáculo temporal podría llevar un número de pasajeros aproximadamente igual al de dicho avión.

El artículo «Low Profile» se basaba en gran medida en los resultados de un estudio efectuado en 1976 por la NASA en torno a la viabilidad y posibilidades de la producción espacial. Por primera vez calculamos los datos numéricos pertinentes a dimensiones y pesos de las plantas elaboradoras en el espacio, así como sobre el número de personas necesarias para llevar a cabo un programa de producción con miras al logro de unos objetivos concretos por año. En 1977, y con ocasión de una labor de investigación de mayor alcance, un grupo dirigido por John Shettler de la General Motors Corporation amplió las líneas trazadas en «Low Profile», llegando a calcular la carga de equipo y personal en cada uno de los vuelos emprendidos. Se trata, pues, de los primeros pasos de una labor que sin duda habrá de continuar de manera cada vez más pormenorizada y exhaustiva con el fin de hallar los procedimientos óptimos desde el punto de vista coste/rendimiento para el establecimiento definitivo de la industria del espacio. De ahí que carezca de sentido publicar una lista con detalles y resultados numéricos habidos hasta el presente; expondré, en cambio, las grandes líneas de nuestra futura empresa.

Todo el equipo que ha de ser instalado en la superficie lunar debe ser llevado primeramente a una órbita en torno al satélite junto con el combustible necesario para lograr su alunizaje suave. El transbordador no es apto para tal fin, y si fuéramos a valemos de un remolcador accionado por cohetes, el transbordador tendría que cargar con el combustible necesario para éstos. Se ha planeado un procedimiento más económico recurriendo a un pequeño impulsor de masas de gran eficacia que permita esas transferencias interorbitales. El impulsor de masas sería situado en una órbita baja alrededor de la Tierra con el concurso del transbordador, para ser luego ensamblado *in situ* antes de pasar al transporte de utillaje y equipo a las proximidades de la Luna.

Pero ¿dónde hallar la masa de reacción que pueda ser expulsada por el dispositivo? Este, cómo sabemos, tiene que impulsar algo con objeto de desarrollar su propia fuerza de propulsión. La respuesta parece hallarse en el empleo de algo que, de todas formas, debería ser desechado: los depósitos externos del transbordador. El vehículo orbital posee motores (los SSME), pero carece de depósitos de combustible para ellos. Cuando accede a la órbita señalada lo hace montado sobre un objeto mucho más grande: un gran recipiente en forma de cohete propio de la pirotecnia recreativa, el cual contiene depósitos de hidrógeno y oxígeno, de los que los SSME obtienen el carburante necesario; cuando el transbordador se halla próximo a su altitud orbital y velocidad máxima, el combustible está prácticamente agotado. El impulso final es proporcionado por cohetes de maniobra mucho más pequeños instalados en el mismo vehículo orbital; en el momento de su ignición el tanque externo se hace superfluo, tras una breve pero gloriosa vida de unos veinte minutos.

Ocurre, sin embargo, que el peso de ese depósito vacío es superior a la totalidad de la carga del transbordador, de modo que parece improcedente dejar que esa masa se pierda.



Posible emplazamiento de impulsor de masa en la luna.

El plan Low Profile contempla el acarreo de los tanques hasta la órbita a expensas de una ínfima parte de la carga útil. La idea consiste, por tanto, en establecer una especie de almacenamiento de depósitos vacíos en órbita; algunos serían adaptados a modo de alojamiento, en el que podrían habitar cómodamente hasta veinte personas en sus respectivos compartimentos individuales. De acuerdo con el plan de Shettler, tales apartamentos modulares salpicarían el espacio en los inicios de esa nueva era de la producción: en órbita baja para el adiestramiento y selección última de los operarios en el mundo especial de la ingravidez; en órbita alta para el personal al cuidado de las instalaciones productivas; en L2 para aquellas ocasiones en que deban efectuarse reparaciones en el receptor de masas; por último, en la superficie lunar. Tan pronto como se hicieran disponibles los minerales de la Luna, éstos se aplicarían a proveer de coraza protectora anticósmica los habitáculos establecidos; antes, no obstante, se habría previsto al efecto una cobertura mínima, suficiente para resguardarse de las erupciones solares, a base de los alimentos deshidratados destinados a ulterior consumo.

La mayoría de los depósitos externos acabarían como masa de reacción en forma pulverulenta o comprimida. En una operación de transporte (automático) típica, varios centenares de toneladas de equipo acumuladas tras sucesivos viajes del transbordador, se aproximarían en espiral a la órbita lunar a lo largo de varios meses, a expensas de una cantidad de masa algo mayor que la de cada uno de los tanques, pues cada pella comprimida que abandonara el motor del remolcador accionado por el impulsor de masas lo haría con una velocidad mucho mayor que la de los gases de escape de un cohete. Tras descargar el equipo en órbita lunar, el impulsor de masas regresaría, en un tiempo mucho más corto, a la órbita baja circunferencial para hacerse con nueva carga para su siguiente viaje.

En el marco de nuestros conocimientos actuales consideramos varios estadios en el establecimiento de la producción industrial en el espacio, y si se presenta un problema irresoluble en cualquiera de ellos, la totalidad de la empresa tendría que ser cancelada. En realidad no pensamos que tal cosa pueda ocurrir, pero es mucho más fácil disponer la financiación cuando se cuenta ya con una serie de objetivos concretos a alcanzar, cada uno de los cuales debe ser verificado antes de que se llegue a la meta última.

El primer estadio consiste en la instalación del impulsor de masas lunar y en la iniciación del traslado de los minerales de nuestro satélite al espacio, empresa que requiere, al parecer, dos años tan sólo de vuelos del transbordador. Una vez haya sido superada esta fase, seremos capaces de llevar a la órbita una cantidad de carga diez veces mayor que la transportable mediante el transbordador. Ya a partir de ese momento se contará con masa suficiente para atender a las necesidades de cobertura protectora, así como de «combustible» adecuado para el motor a reacción constituido por el impulsor de masas.

La segunda etapa corresponde al comienzo de la elaboración química de los minerales lunares para obtener metales puros, vidrio y oxígeno, lo cual representa asimismo un año de vuelo del transbordador destinado a elevar equipo y utillaje vario para el proceso, baterías solares que lo alimenten y otros instrumentos esenciales. Alcanzado ya ese estadio, el número de trabajadores destacados en el espacio ascenderá a uno o dos centenares.

Viene ahora una nueva aplicación del método «bootstrap». Las piezas de equipo más complicadas y elaboradas que puedan necesitarse en el espacio —elementos como impulsores de masas e instalaciones de proceso químico— resultan más bien ligeras. Tiene sentido, por tanto, construirlas y probarlas aquí, en la Tierra, elevándolas luego a la órbita prescrita por medio del transbordador. Las piezas más pesadas parecen ser las baterías de energía solar que deben alimentar tanto al impulsor de masas como a las propias industrias elaboradoras. Ahora bien, la primera de éstas producirá ya anualmente en el espacio varios miles de toneladas de metales, silicio y oxígeno, de los que pensamos valemus para afianzar («bootstrap») nuestro camino hacia un nivel de productividad más elevado.

Los metales y el silicio serán destinados a las baterías de energía solar, las cuales nos servirán para aumentar el tonelaje enviado cada año por el impulsor de masas y para equipar nuevas versiones de la planta procesadora espacial original. El oxígeno será usado de manera diversa: como parte principal del combustible quemado por los remolcadores propulsados por cohetes y por los vehículos que tomen tierra; como la parte asimismo más importante del agua necesaria al personal laboral destacado en el espacio; y como masa de reacción ideal para el creciente tráfico de remolcadores que arrastren carga a través del espacio.

Parece que con esta aproximación ahorrativa podemos alcanzar el nivel de procesar un millón o más de toneladas de mineral lunar cada año, durante un período de siete u ocho, sin sobrepasar en momento alguno la capacidad elevadora del transbordador. Pero ¿y la cuestión económica? En el modelo de tráfico considerado estaríamos pagando aproximadamente mil millones de dólares al año en concepto de costes de lanzamiento, y ello a lo largo de unos siete años. Finalizado este plazo estaríamos produciendo aproximadamente un tercio de millón de toneladas anuales de productos acabados, para situar bien en una órbita geosincrónica o doquiera del espacio donde hallen empleo. Una estimación acertada y prudente nos lleva a asignar a estos productos acabados un valor de unos cien dólares por kilogramo; sólo los costes propios de la colocación en órbita elevada de un kilogramo son ya de este orden, incluso con el concurso de nuevas concepciones en materia logística, técnica y organizativa, aun con el paso de los años y el logro de cohetes reutilizables.

En base a esos cálculos, las instalaciones productivas del espacio crearán valor del orden de treinta mil millones de dólares al año. Ciertamente un gran negocio.

¿Cuándo ocurrirá? Tanto en 1976 como en 1977 fueron realizados diversos estudios independientes de la NASA, pero auspiciados por ésta, que prestó al efecto una estrecha colaboración, con el fin de elaborar diversos programas, basados en pautas de decisión rápidas y lentas. Parece haber acuerdo general en que son muchas más las incertidumbres discernibles en las áreas decisoras políticas que en las simplemente técnicas. De darse resoluciones prontas, tanto el estudio de 1976 como el de 1977 llegaban a la conclusión de que el primer envío de equipo con destino al espacio podría tener lugar ya en 1985 y que el primer retorno apreciable en forma de productos obtenidos en órbita elevada podría acaecer tan pronto como 1991. Atendiendo a esta escala de tiempo, la construcción de Isla Uno, como hábitat duradero y más cómodo para el personal operario y sus familias, podría darse hacia mitades de la década de los noventa, de modo casi marginal y con una inversión mínima de tan sólo un escaso porcentaje de la productividad ya en curso en el espacio por entonces. No hay respuesta al interrogante «¿Qué tiempo máximo habrá que esperar aún?», eliminando, claro está, la de «Nunca». Los planes más moderados contemplan la existencia de Isla Uno hacia el año 2001 más o menos. Para quienes creemos que la producción en el espacio ofrece un enorme potencial en beneficio del hombre, semejante retraso se nos antoja poco menos que criminal; con todo, en la

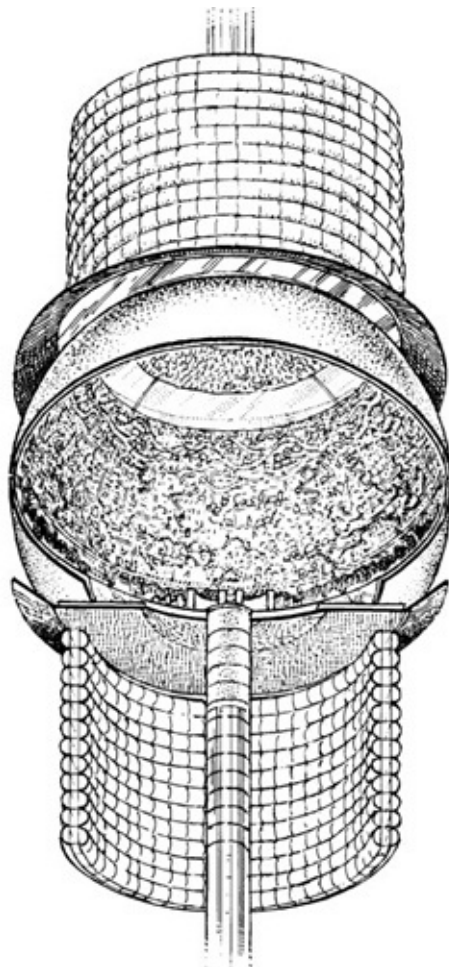
escala temporal de la existencia humana la insignificancia de quince años representa apenas un parpadeo.

9

PRIMEROS OBJETIVOS EN ISLA UNO

A medida que en el curso de varios años va adquiriendo forma ese primer nuevo mundo en el espacio, y se acerca el día de su «sellado» definitivo, la efemérides será sin duda planeada y debidamente celebrada. El oxígeno durante largo tiempo almacenado en forma líquida recibirá al fin entrada en la esfera y la presión en las zonas habitacionales y agrícolas, irá creciendo paulatinamente hasta alcanzar su valor final. Muchos de los obreros de la construcción trasladarán acaso su actividad a los nuevos pueblos, donde gozarán de un espacioso entorno donde ir completando apartamentos y demás edificaciones.

Un pequeño motor eléctrico del tamaño del que mueve un automóvil aplicará su energía a imprimir rotación al hábitat hasta que, por último, transcurridos algunos meses, la gravedad en el ecuador será terranormal. Para entonces, el suave verde de las plantas en crecimiento habrá convertido el valle en algo muy parecido a cualquier porción de tierra de cultivo en la primavera de nuestro propio planeta.



Vista de sección de Isla Uno.

Con el reverdecimiento de Isla Uno y la recolección de sus primeras cosechas llegarán los primeros residentes duraderos y se presentará a los obreros allí

destacados el momento de la gran decisión: regresar a la Tierra o quedarse para contribuir al crecimiento de las nuevas comunidades en el primer mundo humano permanente más allá de la Tierra. Muchos optarán por regresar a nuestro planeta para gastar y disfrutar de sus ahorros; otros puede que piensen que nada de lo que tenemos aquí les ofrece perspectivas tan estimulantes y originales como las que encierra la empresa de construir en L5. Si la naturaleza y la historia de los hombres pueden servir de guía, lo probable es que muchos vuelvan de visita a la Tierra, para partir nuevamente hacia la aventura.

Isla Uno, aunque de tamaño modesto, puede ser un lugar atractivo donde vivir y trabajar; la verdad es que serán pocas las comunidades que acumularán pobladores de tanto y tan variado talento y firme resolución. Pero, sean cuales sean los atractivos de Isla Uno, si ésta ha de ocupar definitivamente su sitio como parte del vasto mundo de los hombres, habrá de producir más y mejor que cualquier otro emplazamiento los productos urgentemente necesarios al resto de la familia humana.

Isla Uno contará con una notable ventaja económica en relación con una clase concreta de productos: aquellos cuya aplicación última se encuentran en el espacio libre o en una órbita alta en torno a nuestro planeta. Si pretendemos fabricarlos en éste y proceder seguidamente a su lanzamiento con destino extraterrestre, el coste implícito en términos de energía es verdaderamente enorme. Aquí en la Tierra adolecemos de «handicap gravitatorio», situados como estamos a los pies de una montaña gravitacional de casi 6.500 km de altura.

Para todos aquellos productos cuyo uso último ha de tener lugar en el espacio libre, es obvio que su producción en L5 nos ahorraría, por lo menos, los costes de su elevación al mismo; en suma, muchos dólares por kilo. Un obrero de L5 que rinda al nivel propio de sus colegas en la industria pesada (más de veinte toneladas por año), generará un valor de varios millones de dólares anuales, aparte el valor intrínseco de los bienes producidos, sólo por el hecho de eliminar los costes de transporte desde la Tierra. La estimación a lo «banquero suizo» es la más prudente que al efecto se nos puede ocurrir: valórense los bienes producidos, considerando para una industria competidora que debiera elevar sus productos desde la Tierra los costes más bajos posible de la operación; abstengámonos de suponer que pueda darse mayor productividad en el espacio, pese a que sabemos que las condiciones de ingravidez y la automatización han de favorecer por fuerza un mayor rendimiento; habiendo procedido así, y considerando que sólo la mitad de la población de Isla Uno se ocupa en trabajos fabriles, los productos de esta colonia espacial resultan aún de enorme valor: muchos miles de millones de dólares anuales, lo suficiente como para amortizar la inversión en unos pocos años.

A la larga es posible que muchas materias primas o productos acabados puedan ser devueltos útil y económicamente a la superficie de la Tierra. Sin embargo, no me parece algo muy factible —por lo menos durante algún tiempo—, porque si las industrias emplazadas en L5 empiezan a fabricar bienes de aplicación en la Tierra,

habrán renunciado a esa ventaja única de que gozan: el hallarse en la cumbre de esa montaña gravitatoria de 6.500 km, en cuya falda nos encontramos los demás. Por igual razón no veo el interés de producir bienes de gran valor y escaso peso en L5 en industrias beneficiadas por la ausencia de gravedad. En este caso me parece más sensato llevar las materias primas desde la Tierra a una órbita baja mediante el transbordador, devolviéndolas al planeta como productos acabados y por la misma vía, una vez haya tenido lugar su transformación a gravedad cero. Disponemos ya de varias estimaciones sobre el mercado total de productos de esta clase: vacunas, cristales puros y otras especialidades, y han llegado a la conclusión de que en el plazo de veinticinco años a partir de hoy será tan escasa la demanda de semejantes exotismos que apenas si hará necesario el establecimiento de unos pocos vuelos del transbordador al año para satisfacerla plenamente.

Antes de considerar las principales industrias de L5, podemos preguntarnos si alguno de los beneficios que reporte la propia construcción de Isla Uno se hará evidente en el curso de la misma. Pueden ser, ciertamente, muchos, y en mi opinión mayoritariamente de carácter científico. Una vez hayan quedado establecidas la base lunar y la estación de construcción en L5, con todos los medios necesarios para el sostenimiento de su personal, para el transporte y las comunicaciones, se revelarán asimismo ideales para numerosos trabajos ajenos a la construcción de Isla Uno. La investigación científica, por ejemplo, puede llevarse a cabo a coste muchísimo más bajo que con el recurso forzado de esas delicadísimas y exquisitamente complejas piezas de «joyería orbital» que ahora nos vemos obligados a mandar al espacio para que las funciones puedan desarrollarse de manera automática. Me imagino que entre las ocho o diez personas al servicio de la minería y transporte del destacamento lunar habrá varios geólogos y científicos varios. Estos especialistas podrían dedicar la mitad de su tiempo a tareas prácticas, como muestreo de la superficie lunar, valoración e identificación de minerales y planificación de nuevas prospecciones; el resto de sus horas puede invertirse en trabajos teóricos e investigación pura. Al igual que ocurre en la Tierra, entre ambas actividades sólo habría una diferencia de matiz, y además se potenciarían mutuamente, pues los conocimientos ganados en una área pueden revelarse eminentemente útiles en la otra. En L5 y para cuando el personal destacado haya adquirido un censo de varios millares, incluso antes de que sea construida Isla Uno, no es difícil que se encuentren de cincuenta a cien científicos principal o enteramente dedicados a la investigación pura. Puede que los haya interesados en la recogida y puesta al día de información proveniente de enormes telescopios espaciales, sitios a suficiente distancia de la estación como para no verse afectados por el ajetreado tránsito a que dará lugar, pero lo bastante cerca para ser accesibles en pocos minutos.

Sería sorprendente que del aluminio y demás metales producidos en la estación no se dedicara un pequeño porcentaje a fines estrictamente científicos, el primero de los cuales bien pudiera ser la construcción de grandes telescopios ópticos o

radiofónicos. No creo que tales proyectos científicos, aunque se beneficiarían considerablemente de ser incluidos de alguna manera en el programa general de construcción, gocen jamás de un presupuesto suficiente como para poder contribuir a mitigar los dispendios de la operación global; pero sus objetivos científicos podrían conseguirse a coste mucho más reducido precisamente por la propia existencia de la estación constructora de Isla Uno.

Para los científicos, Isla Uno constituiría una auténtica bonanza. Los programas de investigación espacial, incluso aquellos en los que intervienen satélites no tripulados, cuestan varias decenas o centenares de millones de dólares. Por contra, el coste de enviar un científico a L5 podría ser de tan sólo unos pocos centenares de miles. En este sentido calculamos el «precio del billete», considerando como transporte de pasajeros el transbordador espacial existente, atendiendo a la cifras publicadas por la NASA sobre el coste de sus vuelos y suponiendo que la transferencia desde una órbita baja hasta L5, se efectúe por medio de un remolcador a cohetes convencional cuyo más importante combustible es oxígeno líquido obtenido en L5 como subproducto del procesado de las tierras lunares.

Con los años, cuando se hayan desarrollado vehículos más eficientes, cabe esperar que el pasaje de la Tierra a L5 se abarate notablemente, llegando a valer tan sólo unos pocos miles de dólares.

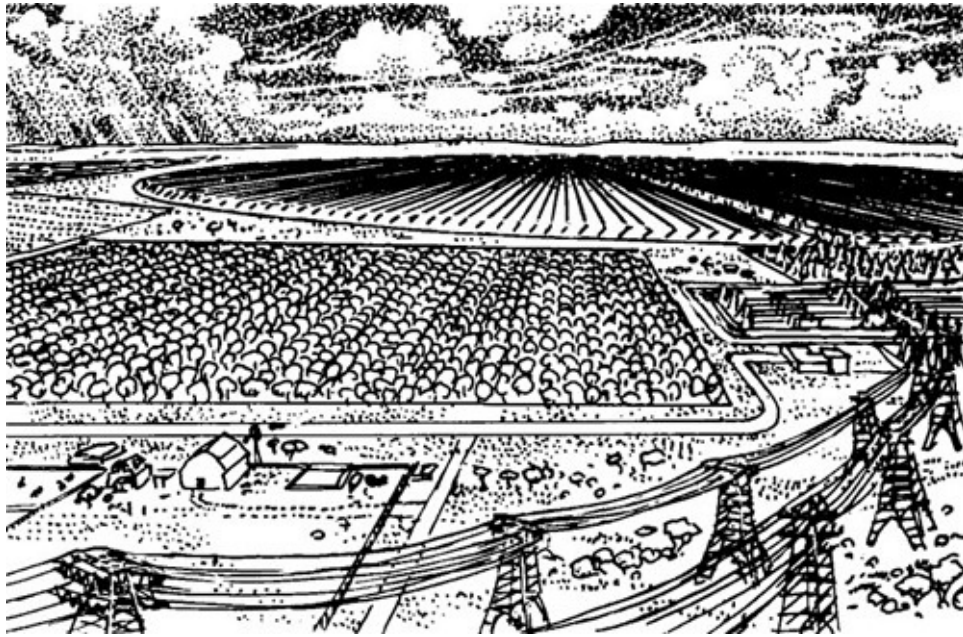
Los estudios más recientes concuerdan en que en los primeros días de la formación de la capacidad productiva en L5 resultará más económico importar alimentos de la Tierra que la implantación de una agricultura. Con todo, para cuando la fuerza laboral ascienda a varios millares de personas, su sustento desde la Tierra empezará a forzar la capacidad del HLV derivado del transbordador, dada la frecuencia de vuelo ajustada al «modelo de tráfico» contemplado. De ahí que se haya calculado el balance entre mantenimiento terrestre y recursos agrícolas propios, los cuales han sido objeto de detallados estudios. Parece, pues, seguro que para cuando exista Isla Uno los habitantes del espacio obtendrán por sí mismos la mayor parte de sus alimentos. Argumentos muy similares son los que se esgrimen cuando los planificadores fijan los turnos de trabajo de los primeros obreros de la construcción espacial. Se estima que empezaremos por residencias de unos meses hasta un año, que gradualmente serán ampliadas a dos o tres y, en este caso, en compañía de los familiares. Está claro que el cómputo de permanencias, el lujo o comodidad de la estación y los salarios abonados deberán establecerse con gran cuidado tras mucho más estudio.

Los problemas con que nos enfrentamos ahora en la Tierra, debido al rápido agotamiento de los combustibles convencionales, han sido descritos ya en los primeros capítulos. Existen fuentes naturales de energía que ahora no explotamos plenamente y que podrían beneficiarnos en el sentido de ampliar las reservas que aún nos restan. Se trata de la energía geotérmica, hidroeléctrica, cólica, de las mareas y de la solar. Todas esas «exóticas» fuentes de energía presentan, no obstante, serias

limitaciones. Bien no cabe depender plenamente de ellas, bien el coste en capital de su utilización es demasiado elevado, o (como ocurre particularmente con la energía hidroeléctrica) su ulterior explotación sólo puede llevarse a cabo a un grave coste desde el punto de vista ambientalista y ecológico.

Dos fuentes de energía para el futuro son actualmente objeto de intensivo estudio: la fisión nuclear, particularmente en forma de reactores rápidos líquido-metálicos, y la fusión de hidrógeno, bien por contención magnética de un plasma, bien por implosión de pequeños comprimidos de deuteriotritio mediante rayos láser. Sería temerario intentar siquiera adivinar las probabilidades de que uno u otro de estos métodos se revelan económicamente viables. Los reactores rápidos ejercerían ciertamente impacto en el medio ambiente y afectarían a la vez las tensiones políticas existentes en el mundo de una manera que sólo nos cabe vislumbrar. Mejor que tratar de acertar cuán aceptables, cuán útiles o cuán económicos pueden ser uno de esos métodos o ambos, me limitaré a decir que se trata de nuevas vías abiertas por una tecnología muy elevada y compleja a la sazón en curso de intensiva investigación. Por el momento, al menos 700 millones de dólares federales son invertidos anualmente en trabajos de investigación nuclear sólo en nuestro país^[1]. De esta cantidad la mayor parte se dedica a la fisión; menos a la fusión. Una de las dificultades entrañadas por el reactor rápido estriba en que el «tiempo de duplicación» necesario para convertir elementos no fisionables en combustible nuclear útil se estima de por lo menos diez o doce años, en tanto que la necesidad mundial de nuevas fuentes de energía se duplica en un plazo mucho más breve. En lo que se refiere a la fusión nuclear, la mayoría de científicos responsables que trabajan en ese campo vacilan a la hora de proclamar su viabilidad económica, incluso si se logra que funcione, antes de treinta y cinco años. No me parece muy probable (y expreso ahora mi punto de vista estrictamente personal) que ninguna de las dos opciones consiga reducir de manera importante el coste de la energía eléctrica; los defensores de ambos planes suelen aducir, a lo más, que un día se encontrarán a la par —económicamente— con los combustibles fósiles actualmente en uso^[2].

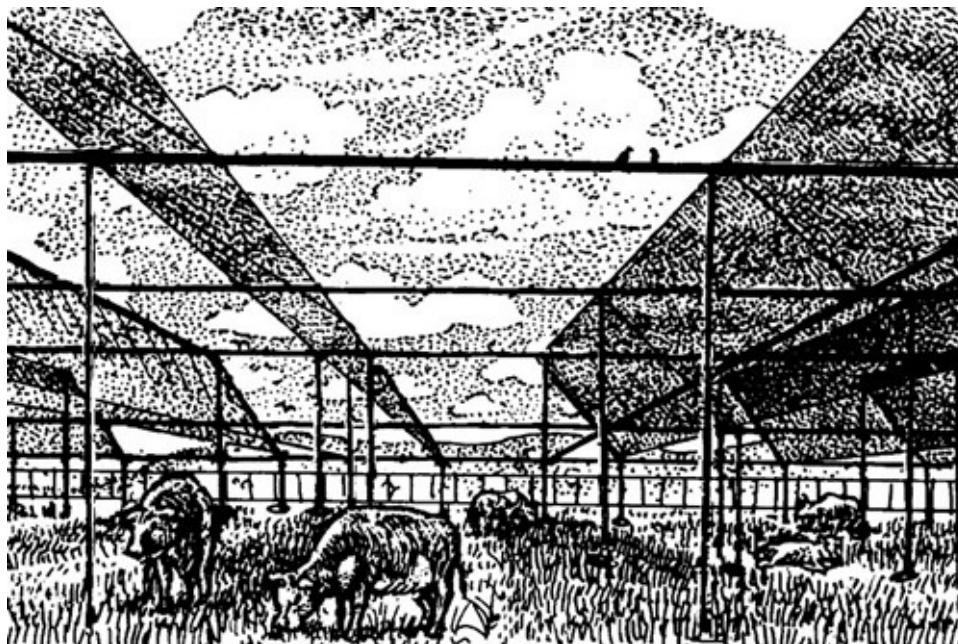
Acaso de manera sorprendente, parece ser que Isla Uno puede hallarse en una particular situación, muy favorable, para proporcionarnos a los terrestres una energía alternativa que puede ser más sencilla, más barata y más aceptable desde el punto ambientalista que cualquiera de las otras dos. La instalación productora espacial lo podría conseguir mediante la construcción de Estaciones Satélites de Energía Solar (Satellite Solar Power Stations: SSPS). Se trata de un concepto originado en la década de los sesenta, cuyo más activo paladín ha sido el doctor Peter Glaser, de la Arthur D. Little Company, Cambridge, Massachusetts^[3]. El plan consiste en situar en órbita geosincrónica, por encima de un punto fijo de la Tierra, una gran estación de energía solar; dicha energía podría ser convertida en microondas, que serían dirigidas seguidamente en denso haz a una antena fija en la superficie del planeta.



Electricidad en Estaciones Satélites de Energía Solar.

A primera vista, el plan parece poco práctico. Sin necesidad de proceder a cálculos complicados, la mayoría de ingenieros estimarían que la ineficiencia inherente a los procesos de conversión, transmisión y reconversión sería tan elevada que semejante estación no podría ser jamás económicamente viable. Curiosamente, el problema de la transmisión parece perfectamente soluble. La investigación en el terreno de la transmisión de microondas de elevada energía ha demostrado experimentalmente que la transferencia puede efectuarse con una eficacia global rayana en el 55 por ciento^{[4], [5]}. La cifra necesaria para garantizar la viabilidad no es mucho mayor, de modo que con algo más de progreso —al cual estamos ineludiblemente abocados—, la meta es del todo alcanzable. Los problemas ecológicos de la transmisión de energía por microondas deberán ser cuidadosamente estudiados, aunque se nos antojan mucho más leves que los relativos a la generación de desechos radiactivos en las plantas nucleares, sean de fusión o de fisión. El haz de microondas llegaría a la Tierra con una anchura de aproximadamente siete kilómetros. Su intensidad sería modesta, menos de la mitad de la luz del sol, y a diferencia de ésta, sería constante, día, noche, con cielo claro o lluvioso; vendría, además, en una forma lista para su conversión en corriente continua con una pérdida de sólo un 10 por ciento. La zona de antenas de la Tierra estaría debidamente delimitada y vallada, de modo que por fuera de ella la intensidad de la corriente de microondas apenas sería mayor que la que desprende uno de esos hornos modernos que la utilizan, con la puerta cerrada. Uno o dos kilómetros más lejos apenas sería perceptible. Aunque dicho haz distaría de ser un «rayo de la muerte», procede efectuar estudios que nos aseguren de la inocuidad del mismo a largo plazo para las aves que aniden en la antena o en las proximidades de la misma, y también de que no va a afectar las comunicaciones radiofónicas de los aviones que involuntariamente atraviesen el espacio aéreo afectado.

La energía solar procedente de satélites presentaría notables ventajas con respecto a sus posibles competidores, aparte de la fundamental, ya mencionada, de no generar desechos radiactivos. Dado que la conversión de la energía de las microondas en corriente continua no representa problema alguno y puede llevarse a cabo con gran eficiencia, sólo una mínima cantidad de la energía total resultaría liberada como calor en la biosfera. Por contra, las estaciones de energía que utilizan combustible fósil o nuclear liberan hasta una vez y media más de la energía útil producida.



Antena transparente a la luz solar y la lluvia, absorbe microondas.

El mercado abierto a las nuevas estaciones de energía para cuando Isla Uno pueda revelarse productiva, ha sido estimado por varios especialistas. Considerando únicamente Estados Unidos, y suponiendo que rijan aún criterios conservacionistas, se necesitarán 65.000 megavatios anuales, en términos de nueva capacidad generadora, para el año 1990, y mucho más aún cada año del decenio siguiente. A título de comparación, pensemos que la red energética más grande que nos cabe ver recorriendo las carreteras del país es del orden de unos 1.000 megavatios. El coste de nuevas instalaciones activadas por carbón asciende aproximadamente a medio millón de dólares por megavatio; y las plantas nucleares son mucho más caras. En consecuencia, el mercado potencial para nuevas instalaciones generadoras, sólo en Estados Unidos y considerando precios propios de las activadas por carbón, será de unos 33 mil millones de dólares para 1990. Una estación satélite de energía solar no requiere combustible, de manera que su valor en el mercado puede ser similar al de una estación hidroeléctrica de tamaño semejante. Una de las más grandes y modernas de esta clase en el mundo occidental es la Quebec Hydro en Churchill Falls, Canadá. Su precio por kilovatio es de aproximadamente tres veces el de una termoeléctrica de carbón, pero dado que no requiere combustible puede suministrar electricidad a precio muy bajo. Sobre esta base, el mercado para nuevas estaciones satélites de

energía solar en Estados Unidos hacia finales de siglo se estima fácilmente en más de 100 mil millones de dólares anuales. Tratándose de una fuente de energía que requiere de una considerable inversión para su puesta en marcha, el potencial de crecimiento a largo plazo resulta muy importante. La idea de las SSPS (Satellite Solar Power Stations: Estaciones Satélites de Energía Eléctrica), resulta bien calificada también bajo ese concepto. En el caso extremo (ciertamente no realizable en la práctica) de que la energía SSPS fuera la única disponible en Estados Unidos para el año 2000, la superficie necesaria para la instalación de las antenas ascendería a tan sólo un 0,2 por ciento del área continental del país; es decir, aproximadamente un quinto de la ya dedicada a las carreteras. A diferencia de éstas, no obstante, las antenas SSPS podrían ser colocadas en zonas remotas, donde no constituyeran desdoro alguno visual. Serían casi totalmente transparentes a la luz solar y bloquearían las microondas dirigidas contra el terreno a sus pies, de modo que éste podría ser utilizado para el pastoreo.

Por contra, si fueran usadas baterías solares en la superficie de la Tierra a fin de suministrar toda la energía que necesitamos, tendríamos que cubrir con ellas una superficie cuarenta veces mayor con pantallas opacas, es decir, el 8 por ciento de la superficie continental de Estados Unidos. La razón estriba en que la eficiencia de conversión eléctrica de las células solares es de aproximadamente el 16 % (en lugar del 80 %) y que el promedio anual de intensidad solar en Estados Unidos es de sólo una octava parte del existente en el espacio.



Satélites de energía en órbita 24 horas.

Si la producción de energía por medio de estaciones satélites resulta tan atractiva como indica lo descrito, ¿por qué no se promociona y apoya con más vigor? La respuesta puede resumirse en una frase: debido a los costes de elevación.

He discutido las cifras estimadas para dichos costes en relación con el transporte desde la Tierra a L5, basándome en los vehículos actualmente existentes propulsados por cohetes y en aquellos que posiblemente puedan desarrollarse en un futuro próximo y a bajo coste a partir de los motores actualmente disponibles. Las estimaciones de la NASA giran en torno a los doscientos dólares por kilogramo, con el HLV derivado del transbordador espacial. Si no «vamos a por la Luna» y traemos tierras lunares como masa de reacción para los impulsores de masas, nos veremos

obligados a elevar desde la Tierra todo el combustible necesario para ascender desde órbita baja a geosincrónica. En este caso, el coste de elevación hasta la ubicación final de la estación satélite productora de energía será varias veces mayor que el correspondiente a una órbita baja. (El cambio de velocidad necesario para llevar una carga desde la Tierra a una órbita geosincrónica es aproximadamente igual que para L5, de manera que los costes serán similares para uno u otro destino.)



Montaje de paneles solares y espejos.

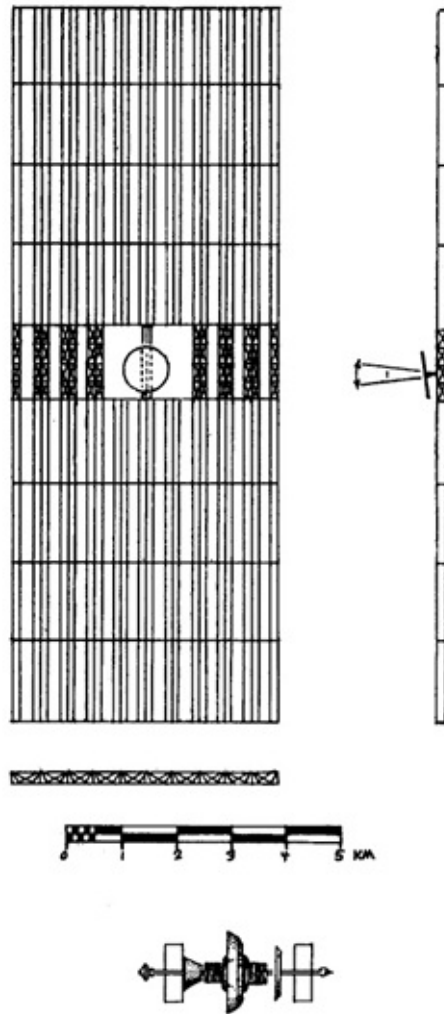
Las grandes plantas generadoras podrían ser de dos clases: estaciones turbogeneradoras, como las que existen ya actualmente en la Tierra, o series de baterías solares que convirtieran la luz directamente en electricidad.

Para una estación satélite, la variedad de turbogenerador más adecuada corresponde al sistema «Brayton de ciclo cerrado», donde el gas helio circula ininterrumpidamente entre un calefactor, una turbina y un radiador^[6]. Tratándose de turbinas, esos sistemas son relativamente ligeros y compactos. Afortunadamente, una máquina semejante ha sido instalada ya en Oberhausen, Alemania Occidental, donde ha venido operando desde principios de 1976^[7]. Cuenta con una gran complejidad de instrumentos y proporcionará sin duda una valiosa experiencia que permita ajustar mejor las estimaciones futuras. Diversos estudios realizados por la Boeing Aircraft Company, auspiciada por la NASA, señalan que una estación satélite basada en una

turbina del tipo Oberhausen (es decir, tecnología actual) poseería una masa de aproximadamente diez toneladas por megavatio de salida. Existe la esperanza, aunque por el momento sólo quede en eso, de que, llevando más arriba la temperatura y con el concurso de materiales más «exóticos» en lugares críticos, esa cifra puede verse reducida.

Podemos valorar el actual nivel de la célula solar de silicio por el hecho de que semejantes proveedores de energía fotovoltaicos, utilizados en los satélites operacionales del último decenio, han venido pesando aproximadamente diez veces más que el turbogenerador de Oberhausen^[8]. Para la prueba del Sistema de Propulsión Eléctrico Solar de vuelo programado mediada la década de 1980, la NASA espera llevar la masa de las baterías solares, en lo tocante a toneladas por megavatio, a un orden semejante al del generador de Oberhausen^[9].

Si se considera la cifra Oberhausen como referencia de rendimiento, junto con un grado de eficiencia de transmisión de aproximadamente dos tercios y costes de elevación como los que caracterizan al HLV derivado del transbordador más remolcador subsiguiente, necesarios para una traslación a órbita geosincrónica, descubrimos que el transporte por megavatio de capacidad generadora instalada asciende a 13 millones de dólares. Y eso es mucho más de lo que puede pensarse ahora en la Tierra para una planta generadora de precio máximo.



Estación energética en Isla Uno. Antena central envía energía a un receptor situado en la Tierra.

Quienes propugnan la energía por satélite son conscientes del hecho, lo han analizado con precisión en el curso de numerosos debates y han tratado de soslayar el problema estimulando el pronto desarrollo de baterías solares de silicio muy ligeras. La investigación en el terreno de los circuitos impresos e integrados procede a pasos agigantados, y es posible que en última instancia se puedan lograr esas enormes y necesarias reducciones de peso. Con todo, ni siquiera la estimación más optimista contempla la posibilidad de que puedan llevarse a cabo en medida suficiente para hacer viable el concepto SSPS (Estaciones Satélite de Energía Solar) con lanzamiento desde la Tierra, a menos que se produzcan dos nuevos logros: en primer lugar, que la masa de la célula solar por megavatio de energía sea reducida a una fracción de la actual, y que su coste se reduzca en proporción aún mayor. Además de estos avances, los costes de elevación a una órbita geosincrónica deben pasar a ser de una décima parte o algo así de los implícitos en el uso del HLV. Y para conseguir semejante propósito sería necesario desarrollar sistemas de transporte espacial para los que sería precisa la inversión de varios miles de millones de dólares y de no pocos años.

Al ofrecer esas cifras no me mueve la intención de negar la posibilidad de que dichos factores de mejora puedan conseguirse. Sencillamente, no lo sé. Tampoco deseo desanimar o retrasar con ello el desarrollo de un prototipo de SSPS; toda nueva tecnología reclama cierto período de aprendizaje, y si la idea básica es utilizable, ese camino debe ser recorrido. Mi propósito es más bien el de explorar un método alternativo para la producción en cantidad de unidades SSPS económicamente competitivas.

Contando con la existencia de Isla Uno, se podría construir una estación satélite de energía solar a partir de materias primas lunares dentro de los límites tecnológicos del momento actual; se podrían construir, simplemente, grandes turbogeneradores. Una estación generadora completa construida alrededor de una turbina de ciclo Brayton empezaría contando con espejos solares que concentrarían la luz del Sol sobre calderas. El helio llevado a elevada temperatura en el interior de las mismas pasaría a través de una turbina, luego a un radiador y, por último, sería reciclado por un conducto al efecto. La turbina accionaría un generador eléctrico del tipo convencional, común ahora en numerosas plantas generadoras de la Tierra.

Si se acepta este proyecto, una estación compuesta de varios grandes turbogeneradores sería conectada a una antena transmisora en forma de disco. La conversión desde una baja frecuencia a energía de microondas puede efectuarse por un gran número de pequeños tubos de vacío, similares a los existentes en los hornos modernos de esa clase. Operando en el vacío del espacio, dichos tubos no necesitarán de envoltura alguna de vidrio.

Si reparamos en las cifras actuales concernientes a la masa requerida, una estación capaz de suministrar 5.000 megavatios a una red nacional instalada en la superficie de la Tierra totalizaría unas 80.000 toneladas. Puede ser montada y comprobada como unidad completa en gravedad cero, fuera de Isla Uno. La cuadrilla de trabajadores encargados del montaje podrá regresar al ambiente cómodo y parecido al terrestre de sus propios hábitats al final de cada jornada de trabajo.

Los estudios efectuados por el Centro Espacial Johnson de la NASA, basados en una proyección de la tecnología más que en la actualmente disponible, son doblemente optimistas en lo tocante a masa necesaria por megavatio. Si son correctos, Isla Uno podría producir anualmente dos veces el valor que yo he estimado.

La industria espacial se hallará emplazada a cierta distancia de la órbita geosincrónica. Los costes de transporte en el espacio se miden, no obstante, no en distancia, sino en intervalo de velocidad; según este criterio incluso L5, el lugar más alejado entre todas las posibles ubicaciones, queda más cerca de la órbita geosincrónica que de la superficie lunar. Para mover una masa tan grande a la distancia requerida será necesario recurrir al impulsor de masas, el cual podría ser idéntico al que ya se hallaría en uso en la Luna. La fuerza continua de cuatro toneladas producida por dicho impulsor será del todo suficiente, a lo largo de varios

meses, para situar la estación de energía en su lugar, cénit de un punto fijo de la Tierra. La energía eléctrica necesaria para el impulsor de masas procederá de la propia estación. Y la masa de reacción necesaria para proceder a la transferencia puede ser escoria industrial, polvo de rocas trituradas u oxígeno líquido, todos los cuales serán asequibles en L5. El retorno del impulsor de masas a L5 para su reutilización puede efectuarse con ayuda de una pequeña planta de energía solar. Una de un tamaño aproximadamente mil veces menor que el de la propia SSPS será más que suficiente para devolver el impulsor de masas a L5 con miras a su reutilización al cabo de un mes, de manera que el impulsor que se destinara al remolque de cargas de SSPS podría realizar varios viajes de ida y vuelta al año.

Un joven economista de Harvard, Mark Hopkins, me hizo observar que los aspectos económicos de la construcción de SSPS en L5 requieren la aplicación de nuevos puntos de vista. En la empresa no se requerirán apenas materiales ni energía procedentes de la Tierra. Una vez establecida, Isla Uno será autónoma y sus residentes serán pagados principalmente en bienes y servicios producidos en la propia comunidad espacial.

La inversión económica en un programa combinado comunidad espacial/SSPS será la suma de los costes de desarrollo y construcción de Isla Uno, de elevación desde la Tierra de los materiales necesarios para comunidades subsiguientes y de aquellos componentes de las SSPS que no puedan ser producidos en L5 económicamente, de los pagos en la Tierra en la cuenta de las personas que vivan en L5 (abonos que representan la porción de salario convertible en bienes y servicios en nuestro planeta, para su subsiguiente empleo en viajes o, si así se desea, al retirarse), y una carga acumulativa de interés pagado en el balance pendiente en cada año del programa.

Si Isla Uno y sus colonias hermanas se convierten en la principal fuente de nueva capacidad generadora que suministre electricidad a la Tierra, la cuestión de la propiedad legal de las SSPS queda incluida en el marco económico. La órbita geosincrónica está mucho más abajo que L5, y tengo la impresión de que cualquier nación de la Tierra que use energía SSPS deseará contar con un claro dominio legal sobre la instalación generadora una vez haya sido completada su construcción. A partir de ese momento esa nación ejercerá el control sobre la instalación y las operaciones de mantenimiento pertinentes; fijará, además, la estación sobre un punto concreto de su territorio nacional en el cual se instalará la antena receptora.

Si Isla Uno fuera a ser independiente de la Tierra, o para los trabajadores del espacio, sería económicamente más ventajoso vender estaciones generadoras completas que energía eléctrica. De ese modo se conseguiría una rápida amortización. Desde el punto de vista de la nación, consorcio de naciones o de compañías que pudieran proveer el capital de inversión para construir Isla Uno, es más prudente pensar, en todo caso, que el único beneficio económico provendrá de la venta de energía eléctrica a las líneas de transmisión de la Tierra. Por muchas razones, entre

ellas la existencia de tratados legalmente vinculantes que han sido firmados ya por varias naciones, parece más acertado suponer que inicialmente Isla Uno permanecerá unida a la Tierra en cuanto a su gobierno.

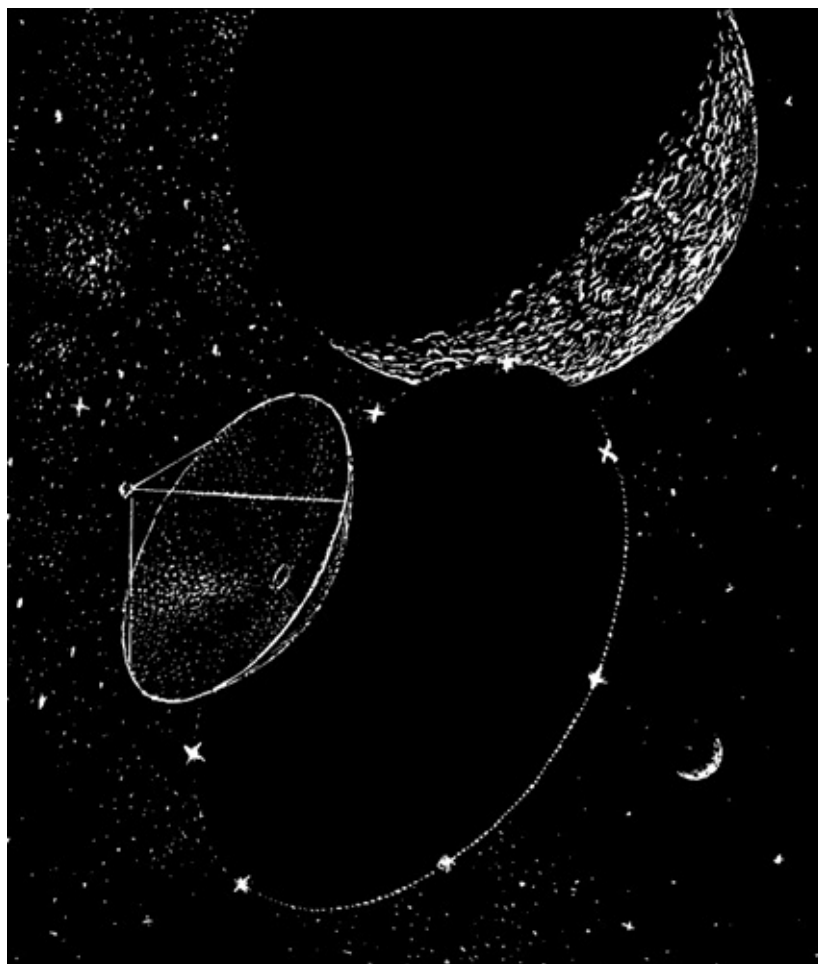
Los aspectos económicos de la construcción de SSPS en las instalaciones industriales del espacio han sido discutidos ya en un artículo técnico^[10], y en diferentes deposiciones ante el subcomité del congresista Donald Fuqua de la Cámara de Representantes^[11], ante el subcomité del Senado presidido por el senador Wendell Ford^[12], y en sendos testimonios ante la Comisión de Energía del Estado de California y ante la Administración de Investigación y Desarrollo de la Energía del gobierno federal. Dichos estudios económicos han sido siempre de carácter más bien conservador, dando por supuesto que han de ser muy elevados los costes de elevación del equipo necesario para la industria espacial, que será enorme la masa de las instalaciones SSPS, relativamente baja la productividad en el espacio, y enormes los intereses sobre el capital de inversión inicial; a todo esto hay que sumar el supuesto de que sean bajas las tarifas aplicables al suministro eléctrico enviado a la Tierra. Sin embargo, todas las estimaciones concuerdan en el hecho de que las estaciones productoras de energía, a partir de la radiación solar, resultarán hartamente competitivas, si se construyen con materiales no terrestres, frente a cualesquiera otras instaladas en la Tierra de otro carácter, sea el que sea.

Los últimos estudios, basados en el programa o plan que hemos llamado Low Profile, concierne a las posibilidades y viabilidad de la producción industrial en el espacio, se revelan aún más atractivos, porque señalan y subrayan el hecho de que habrá producción útil antes incluso de que se haya terminado de construir Isla Uno, y en un momento en el cual la inversión total efectuada será de mucho menos que los 100 millones de dólares originalmente estimados para aquélla.

Actualmente nuestro grupo de planificación cuenta con el asesoramiento de importantes directores en la industria eléctrica y compañías de financiación, quienes nos han hecho reparar en realidades que permiten precisar mejor la orientación y alcance de nuestras investigaciones. De un lado, parece casi seguro que no debe esperarse iniciativa alguna por parte del capital privado en cuanto al establecimiento de la producción en el espacio, por lo menos no hasta que los riesgos implícitos se hayan reducido prácticamente a cero. La financiación gubernamental, posiblemente a través de un consorcio de varios estados, tendrá que atender, pues, a la prosecución del programa, al menos hasta que una planta SSPS piloto, no necesariamente construida con materiales lunares, suministre energía a la Tierra. Al mismo tiempo habremos tenido que demostrar que podemos utilizar minerales de la Luna y procesarlos en el espacio para obtener los mismos elementos utilizados en la SSPS. Y, desde luego, los estudios económicos concomitantes tendrán que dejar fuera de toda duda que la energía producida gracias a las SSPS resulta mucho más barata que la obtenida de cualquier otra fuente. Una vez cumplidos estos requisitos, es lógico

suponer que el capital privado se hará asequible y que el programa podrá potenciarse hasta su capacidad plena.

Actualmente, la energía eléctrica más barata disponible en Estados Unidos cuesta aproximadamente dos centavos por kilovatio/hora en origen, es decir, en fábrica. Nuestro objetivo es ofrecerla incluso a menor precio tanto si la tarifa actual se mantiene como si se eleva en el curso de los años venideros.



“Cyclops”, propuesta de SETI de un vasto telescopio para la búsqueda de inteligencia. Antena de varios kilómetros de ancho, con cobertura metálica bloquea interferencias de ondas de radio de la Tierra. Este panel orbital ofrece la ventaja de poder ser direccionado libremente a cualquier punto en cualquier momento.

Cuando se examina con más detalle la posibilidad de construir Isla Uno, los pormenores de ingeniería y los aspectos económicos aparecen bajo una nueva luz. El punto más importante en esa discusión es, precisamente, el hecho de que pueda plantearse ya a nivel de ingeniería y economía. No se depende básicamente de ninguna nueva física ni hay que pro-ceder a una extrapolación fantástica de los actuales recursos de ingeniería.

Una de las gráficas preparadas para la evaluación de las plantas SSPS producidas en el espacio fue presentada frente al Congreso (Apéndice II); de acuerdo con la misma, en breve plazo, dentro de trece años desde el inicio de las fuertes inversiones en la construcción de Isla Uno, el ritmo de instalación de nueva capacidad generadora en el espacio podría superar plenamente el crecimiento de la demanda experimentada

en Estados Unidos. No mucho más tarde, la energía total suministrada desde el espacio podría exceder el total existente en la ladera norte de Alaska con sus reservas de petróleo^[13]. El contraste es elocuentísimo: para entonces, en Alaska no quedarían más vestigios del célebre oleoducto que alguna mancha perdida en las aguas del lugar y unos cuantos alces molestos, mientras que la energía espacial de los satélites podría seguir suministrando electricidad a la Tierra durante mil millones de años más, la vida estimada del Sol.

Para una empresa que requiere de una fuerte inversión de capital inicial con la perspectiva de obtener rendimientos a plazo largo, los economistas suelen calcular lo que llaman «razón beneficios/coste». Considerando las cargas impuestas por los intereses y el fenómeno de la inflación, esa relación beneficios/coste epitomiza la viabilidad de la operación, incluso sin recurrir al esquema ahorrativo expuesto en Low Profile, dicha razón es mucho mayor que la unidad, lo cual significa que a pesar de unos intereses elevados y de unos precios de suministro energético baratos, el programa Isla Uno constituye una propuesta rentable. Pero para conseguir ese resultado favorable parece adquirir especial importancia el crecimiento exponencial de la capacidad productora en el espacio; un crecimiento lineal, más lento, no rinde con la rapidez suficiente para compensar las cargas impuestas por los intereses sobre la inversión inicial.

Una vez se haya logrado la plena amortización de las plantas generadoras, el coste de la energía producida debiera descender considerablemente, dado que las estaciones satélites apenas requieren de mantenimiento y serán alimentadas de energía libre, proporcionada por un reactor termonuclear limpio convenientemente situado a la cómoda distancia de 150 millones de kilómetros.

Si el desarrollo que anunciamos se produce, en la Tierra nos encontraremos con una fuente de energía limpia, y además mejoraremos notablemente nuestro medio ambiente al ahorrar cada año más de mil millones de toneladas de combustibles fósiles actualmente perdidos en calor y humo para hacer funcionar nuestros generadores eléctricos. Considerando un mercado mundial que puede alcanzar varios centenares de millones de dólares para el año 2000, es probable que las industrias ubicadas en L5 crezcan rápidamente en número y tamaño, a fin de satisfacer demanda tan urgente.

Si las estaciones energéticas satélites son construidas en L5 en vez de en la Tierra, las consecuencias ecológicas serán notables. Por cada SSPS que tuviera que ser elevada desde la Tierra, habría que volcar en la atmósfera una cantidad muchas veces mayor en cuanto a peso, en forma de gases expelidos por los cohetes propulsores. Las cifras totales al respecto son del orden de centenares de millones de toneladas al año, siempre que la energía SSPS se convierta en la dominante en la economía mundial. Nadie sabe qué efectos podría tener esa descarga en el medio ambiente, pero lo seguro es que la cumplimentación del apartado relativo a «incidencia ecológica» no sería nada fácil. Por contra, el establecimiento de la producción industrial en el

espacio requiere sólo aproximadamente la centésima parte del tonelaje elevado desde la Tierra, y es perfectamente compatible con el modelo actual de tráfico para el transbordador espacial ya existente.

Una importante cuestión por resolver es, desde luego, la que se refiere a qué fracción de la masa de una planta energética SSPS no podría ser obtenida a partir de materiales no terrestres y, por tanto, tendría que ser elevada inevitablemente desde la Tierra. Si pudiéramos emplear minerales asteroidales tendríamos la seguridad de contar, con abundancia, con todos los minerales existentes en nuestro planeta. La Luna, sin embargo, es pobre en hidrógeno, nitrógeno, carbono y algunos metales pesados. Afortunadamente, la NASA ha empezado ahora a estudiar esta circunstancia, y es posible que en los próximos años seamos testigos del desarrollo de estaciones generadoras de energía en el espacio, de condiciones óptimas en cuanto al uso de materiales lunares más que terrestres.

Empezamos, pues, a percibir una posible ramificación en el desarrollo de la energía mediante satélite. El mejor camino parece ser el de mantener abiertas todas las opciones: construir pequeñas plantas piloto, mejorar las células o baterías solares y, entretanto, promover la investigación y desarrollo de los impulsores de masa y procesadores de tierras lunares. Al cabo de varios años de estudio, cuando las cifras sean más claras y precisas, se habrá llegado a un punto en el que tendremos que tomar una decisión racional, bien en el sentido de construir los enormes cohetes necesarios para elevar un sistema energético orbital fabricado en la Tierra, bien en el de invertir una cantidad semejante de dinero en el desarrollo de la «alternativa no terrestre».

Si la eficiencia de la industria espacial progresa en la medida predicha por algunos estudiosos del tema, el coste de la energía eléctrica de origen solar y transmisión mediante satélites hasta la Tierra podría descender a menos de un centavo por kilovatio/hora en punto de destino (la antena terrestre). De suceder así (no deseo afirmar aún qué tal será el caso, porque la investigación todavía no ha sido llevada con detalle suficiente), las consecuencias sobre la política internacional serían profundas. Con tarifas eléctricas bajas sería posible proceder a la síntesis de combustibles artificiales limpios, que fácilmente competirían con la gasolina, haciendo que las naciones que dependen de ese suministro se independizaran del mismo.

Quedaría sin duda dentro de las posibilidades de Isla Uno el construir un gran telescopio óptico compuesto de numerosos espejos individuales. La gran resolución podría conseguirse situando los elementos del telescopio en una serie o batería de gran longitud, en vez de combinarlos de manera agrupada^[14]. Al diseñar semejante sistema es natural que se considere la vinculación de los elementos especulares mediante una estructura mecánica, aunque ello constituiría la peor solución. Una conjunción mecánica se dilataría y contraería con los cambios de temperatura alterando consiguientemente la separación respectiva de los espejos. Sería preferible

aprovechar las particularidades que ofrece una ubicación en gravedad cero construyendo un gran número, acaso varios millares, de espejos individuales, cada uno de ellos de un diámetro del orden de un metro y provisto de un pequeño módulo posicionador equipado con propulsores de gas accionables en caso de deriva. Las partes pesadas de semejante estructura podrían ser construidas en la comunidad espacial, en tanto que las más ligeras, complejas y laboriosas desde el punto de vista de mano de obra necesaria serían elevadas desde la Tierra.

Si los elementos estuvieran conectados tan solo mediante haces de luz, su espaciamiento correcto podría lograrse estableciendo un determinado número de longitudes de onda entre cada par. Esta unión no física, controlada por un ordenador, poseería la ventaja adicional de que los espejos podrían ser programados para que se separaran y reorganizaran, como bailarines de un *ballet* de pausados movimientos, conforme a las necesidades de cada experimento astronómico en particular.

Si los espejos estuvieran dispuestos en forma de cruz, con los elementos individuales espaciados de diez en diez metros, un telescopio de este tipo poseería la capacidad teórica de resolver algo tan pequeño como un cambio en un sistema climatológico de mil kilómetros de lado en un planeta solidario de una estrella situada, ¡a diez años luz de distancia!

Una vez Isla Uno se encuentre en pleno funcionamiento, es casi seguro que los científicos discutirán la posibilidad de que parte de su producción se dedique a la construcción de naves. Incluso un mínimo porcentaje de la producción de aluminio, magnesio, titanio, hierro y otros metales útiles en L5 bastará, al cabo de algunos años, para construir una gran nave investigadora que en muchos aspectos podría ser el equivalente espacial de la Beagle de Darwin. Equipada con un motor que podría ser una versión más estrecha y larga del impulsor de masas lunar, esta nave de investigación podría viajar hasta un asteroide utilizando como masa de reacción polvo rocoso compactado. La Beagle II llevaría posiblemente una tripulación bastante más numerosa que la del H. M. S. Beagle, que contaba con cincuenta tripulantes, y constituiría una pequeña comunidad científica autónoma. La «botadura» de esta nave no requeriría nada de fuego, truenos y humaredas, acompañantes indefectibles de las operaciones semejantes en la Tierra, sino que, flotando grácilmente en el espacio, a la entrada del muelle de embarque de Isla Uno, la nave se limitaría a cerrar sus compuertas y a soltar amarras silenciosamente. Imaginémos el viaje, como si los detalles que siguen fueran verdaderamente ciertos:

Cuando se conecte el motor la nave empezará a moverse, al principio casi imperceptiblemente, apenas un metro en el transcurso del primer minuto. Sin embargo, al día siguiente será sólo un minúsculo punto de luz en el telescopio, y al cabo de un mes se encontrará a una distancia diez veces mayor que la que nos separa de la Luna.

Cuando muchos meses más tarde la tripulación desembarque en un pequeño asteroide, los científicos presentes a bordo se tomarán todo el tiempo que necesiten y

gusten para examinar con detalle el planetoide, midiendo su contenido en minerales, estimando sus recursos en cuanto a carbono, nitrógeno e hidrógeno y recogiendo toneladas de muestras. Gran parte de su labor tendrá uso directo en «geología aplicada», enfocada al potencial empleo posterior del asteroide como material para la construcción, lo cual habrá de ser, a la postre, lo que probablemente pagará los costes del viaje. Otros trabajos, de duración efímera, parecerán carecer de toda aplicación práctica; el juicio que merezcan al cabo de unos años puede ser totalmente diferente.

Mientras los científicos siguen con sus trabajos, los ingenieros usarán la propia maquinaria de a bordo para prospeccionar y recoger varias toneladas de roca y polvo con miras a constituir masa reactiva: combustible para la etapa de viaje siguiente. Para cuando los viajeros decidan soltar nuevamente amarras, sea para regresar a su base de origen o para proseguir su singladura, la mayor parte de la información científica recogida habrá sido ya radiada a L5 y a la Tierra. Durante los largos meses de su nuevo periplo, las muestras reunidas se examinarán en los propios laboratorios de la nave y serán objeto de numerosas comunicaciones científicas para ulterior discusión y publicación. Enviados desde la profundidad del espacio, estos documentos pueden llevar títulos como: «Análisis Carbono 12/Carbono 13 en Asteroide 2.655, por - Laboratorio de Investigación de la nave Beagle II en ruta hacia Ceres».

A medida que prosigue el viaje, una planta trituradora de rocas instalada en la nave producirá ininterrumpidamente polvo destinado a convertirse en masa reactiva para el motor. A menos que la tripulación encuentre excesivamente frustrante el permanecer en semejante confinamiento en un pequeño pueblo en continuo movimiento, un crucero así entre los asteroides podría extenderse a lo largo de varios años. Lo probable es que viajen familias completas, y los jóvenes, amén de visitar la escuela establecida en la propia nave, compartirán las horas de ocupación y descanso con sus mayores. Más tarde, en los días de Isla Dos e Isla Tres, será posible construir naves muchísimo más grandes, capaces de transportar a las regiones más alejadas del sistema solar secciones completas de universidades y complejísimos y multifacéticos institutos de investigación.

Es probable que Isla Uno se convierta en lugar favorito de los científicos en excedencia de la Tierra. Especialmente para los más jóvenes, no preocupados aún por el matrimonio y los deberes de la familia, las oportunidades que encierra la investigación del espacio en astronomía óptima y radioastronomía serán insuperables en cualquier otro lugar. Puede que se establezca un ciclo tal que un científico se desplace para un año de recogida constante de datos, tras lo cual ceda su sitio a otro recién llegado de la Tierra, mientras el primero vuelve a ésta para analizar la información obtenida y escribir un comunicado para el mundo de los especialistas.

Para la investigación radioastronómica, la mayoría de las antenas se disponen formando figuras geométricas, sean cruces o círculos. Un tipo especial de antena, sin embargo, podría ser el formado por una enorme parábola. Confieso abrigar ciertas

reservas acerca del empleo que pudiera darse a esa enorme antena; sin embargo, nadie puede negar que Isla Uno sería un emplazamiento ideal para el proyecto que se ha dado en llamar «Cyclops» (Cíclope) —el gran ojo—, destinado a la búsqueda de civilizaciones extraterrestres.

Hace ya más de quince años que permanece vivo el interés general sobre la cuestión de la posible existencia de otras especies inteligentes en nuestra galaxia, las cuales podrían formar parte de lo que algunos han venido llamando la «Red galáctica»^[15]. Es difícil decir, basándose en una teoría conocida, si cabe o no la existencia de tales civilizaciones. La idea de que nosotros, como vida (en cierto grado) inteligente, somos únicos es, desde luego, absurda: cuanto más sabemos de los orígenes de la vida, más nos convencemos de que las condiciones que la hicieron viable inicialmente en la Tierra tienen que haberse dado repetidamente en muchos otros rincones de la galaxia.

Nuestra galaxia tiene forma de disco, con un volumen de un billón de años luz cúbicos. Muchas de las estrellas que contiene pueden permanecer estables durante miles de millones de años. Desde el punto de vista moderno, puede que una de cada diez estrellas entre los cien mil millones que constituyen nuestra galaxia tenga planetas, es decir, lugares «adecuados» donde podría existir vida. En 1959, Phillip Morrison y Giuseppe Cocconi discutieron la posibilidad de investigar la existencia de vida extraterrestre con el concurso de los sensibles receptores usados en radioastronomía^[16]. Poco después fue Frank Drake quien llevó a cabo la primera exploración del espacio con la idea concreta de descubrir si se percibían señales inteligentemente dirigidas. Su «proyecto Ozma», capaz tan sólo de examinar las estrellas más cercanas, sólo dio con señales naturales^[17].

Los científicos especialmente interesados en la búsqueda de vida extraterrestre inteligente reconocieron ya hace tiempo la importancia de dos magnitudes vitales: la probabilidad de que semejante vida se desarrolle en un planeta de una estrella «adecuada» y la cantidad de tiempo que una civilización invertirá activamente en la radiocomunicación. La importancia de esas dos magnitudes puede ilustrarse mejor mediante ejemplos: si la vida es muy abundante en la galaxia, puede que hasta una de cada diez estrellas provistas de planetas hayan sido cuna de nuevas civilizaciones en un momento u otro de su historia evolutiva. De ser así, puede que sean más de 100.000 las estrellas de esta clase existentes en un radio de 1.000 años luz desde nuestro Sol, cada una de las cuales es potencialmente el lugar de nacimiento de una civilización. ¿Qué probabilidad nos cabe, buscando en el millón de estrellas con planetas incluidos en nuestra gran esfera, de dar por lo menos con una que nos esté dirigiendo señales? Ello depende en gran medida de la segunda magnitud crítica: la duración de la comunicación. Incluso si la civilización media considerada interviene activamente en esa labor de comunicación durante 100.000 años, y aun si dedica a ese propósito un esfuerzo suficiente en el sentido de no cesar en su emisión de haces de señales en dirección a cada estrella «adecuada» existen dentro del radio de 1.000

años luz de su «esfera de interés», las probabilidades dependen, ante todo, de que nos encontremos en escena en el momento adecuado para captar una señal inteligente. La razón es que para una civilización dada el período de comunicaciones corresponde, en nuestro ejemplo, a un breve lapso de tiempo que representa sólo una cienmilésima parte de la historia evolutiva de la estrella en cuestión^[18].

Las incertidumbres relacionadas con esas magnitudes son tan grandes que dejan abiertas dos posibilidades extremas: en primer lugar, que la vida capaz de comunicarse es escasa, que la duración de la comunicación es fugaz en la escala de tiempo galáctica (por fugaz quiero decir de 100.000 años o menos) y que, en este momento, por consiguiente, nos hallamos solos en un radio de 1.000 años luz, o hasta en la galaxia entera.

El otro caso extremo, abierto aún con posibilidad, es que la galaxia esté pletórica de comunicación, que la duración del «período de atención» de las civilizaciones sea de miles de millones de años y que, por consiguiente, tan pronto llevemos nuestro oído a tierra oiremos el distante retumbar de tambores.

Con tanto margen para la imaginación, encuentro irresistible añadir mis propias especulaciones a las de los demás. En mi opinión, que por supuesto no es sino mera conjetura, sucede así:

Primero, creo que poco después de que una civilización alcanza nuestro modesto nivel de competencia tecnológica, se hace inmortal en sentido físico; la razón no es otra que el tema de este libro: el movimiento de la vida hacia el espacio. Como ha escrito R. N. Bracewell:

«Cuando hayamos colonizado el espacio interplanetario, lo cual podría ocurrir a principios del siglo XXI, según el físico de Princeton, Gerard K. O'Neill, habremos logrado una clara independencia de las catástrofes terrestres del futuro. La supervivencia del más apto, en una escala de tiempo de magnitudes geológicas, puede significar que las comunidades más perdurables serán aquellas que hayan tenido éxito en la colonización del espacio^[19]».

Yo añadiría una observación al comentario del profesor Bracewell. Freeman Dyson ha señalado que bien puede haber civilizaciones muy inteligentes que no tengan interés alguno por la tecnología. Estoy de acuerdo, pero me imagino que cualquier cultura que se haya interesado lo suficiente en las ciencias naturales como para haber desarrollado la radioastronomía conseguirá, casi al mismo tiempo en su historia evolutiva, la liberación de su planeta de origen. Lógicamente, pues, no creo que la guerra o catástrofes naturales constituyan, en muchos casos, los límites de la duración de una civilización capaz de comunicarse.

Albergo serias reservas acerca de la probabilidad de que una civilización capaz de comunicación, y suficientemente estable para contar con una vida prolongada a escala galáctica, opte de hecho por comunicarse. Admito que mis razones tal vez sean excesivamente antropomórficas. Se hallan muy vinculadas a mis temores acerca del proyecto Cíclope en conjunto.

Hemos visto una y otra vez en nuestro planeta el efecto del contacto entre una cultura primitiva y otra más avanzada. Casi invariablemente, la primitiva es aniquilada. La destrucción puede que no sea intencionada; y a menudo no es siquiera física. Sin embargo, tiene lugar porque los valores y conocimientos adquiridos por la civilización primitiva en el transcurso de muchos siglos resultan de golpe fútiles en comparación con los existentes en la más adelantada.

Cuando he considerado las consecuencias de nuestro eventual descubrimiento de señales de una civilización mucho más avanzada que la nuestra (obsérvese que con casi plena seguridad lo sería en milenios, debido a nuestra propia posición en el umbral de la comunicación), me ha parecido enormemente probable que el primer efecto, tan pronto como la excitación y la novedad hubieran cedido un poco, sería la destrucción de nuestra ciudad y nuestro arte. ¿Qué objeto tendría estudiar ciencias naturales? Ya sabemos que son universales, de modo que si una civilización que nos envía señales de radio se halla miles de años por delante de nosotros en cuanto a conocimiento, tanto como lo estamos nosotros en relación con el hombre de Neanderthal, ¿por qué seguir estudiando e investigando la verdad científica por nosotros mismos? Habrá desaparecido, pues, la posibilidad de nuevos hallazgos, de sorpresa y, sobre todo, de orgullo en los logros; me parece horriblemente probable que como científicos quedaríamos convertidos simplemente en adictos a la televisión, sin aportar ya nada de nuestro esfuerzo a nuevos descubrimientos.

En las artes, música y literatura el caso puede presentarse de manera menos clara; sin embargo, la consecuencia casi invariable en la Tierra del contacto entre una civilización primitiva y otra más avanzada es el estancamiento de las artes de la primera. En la mayoría de casos aquélla sólo sobrevive como forma destinada al «comercio turístico».

Si esta secuencia de eventos tiene más importancia que la meramente local, como yo creo que sería el caso, ello ha de resultar obvio para la civilización más adelantada que la nuestra. Añadiría, por tanto, otro supuesto: que esas mismas características que hacen a una civilización inmune al estancamiento y al declive, si existen, se acompañan de una repugnancia a causar daño a otros, en particular a otras civilizaciones «emergentes» más primitivas. En tal caso: «Puede que estén ahí, pero son lo suficientemente amables como para mantenerse quietos».

Si existen civilizaciones donde se dan a la vez una gran antigüedad, gran estabilidad social y continuado y activo interés intelectual, y si estas características se acompañan de una positiva preocupación por el desarrollo de primitivos como nosotros, ¿hay alguna clase de señal que pudiera sernos enviada y que fuera potencialmente beneficiosa y no entrañara peligro? Puede que sí: el destello de un faro, un sencillo mensaje infinitamente repetido, que llevara justo la cantidad necesaria de información para que supiéramos que había sido modulado por otra inteligencia. El mero hecho de su existencia, proclamando «no estáis solos», podría ser de gran ayuda para nosotros en momentos de oscuridad. Nos estimularía y

propiciaría nuestro desarrollo; después de todo, no nos gustaría aparecer como patanes cuando, finalmente, se establezca el verdadero contacto. Y al mismo tiempo, tras diez mil repeticiones del mismo mensaje, veremos totalmente claro que debemos seguir ganando nuestro conocimiento del universo paso a paso, por nuestro propio esfuerzo, y que será necesario el desplazamiento físico a grandes distancias antes de que demos con la respuesta a la cuestión: ¿siguen allí o se trata tan sólo del eco de una civilización desaparecida hace tiempo?

Procediendo ahora con el supuesto más audaz, considero que esta era de ciencias naturales en que se encuentra actualmente nuestra civilización, puede que no sea sino una época relativamente breve en la historia de una vieja especie. Nos hallamos en medio de una explosión de saber, y si el ritmo de adquisición de nuevos conocimientos continúa acelerándose, como sucede, me parece muy posible que en un plazo de mucho menos de mil años sabremos, si no todo lo que concierne al mundo físico, por lo menos tanto que la ciencia dejará de encerrar interés y estímulo. En este caso, pienso que nuestros individuos más dotados, algunos de los cuales se dedican ahora al estudio de las ciencias naturales y biológicas, dirigirían su atención a las artes o al máximo problema intelectual que me es dado ahora imaginar: la incógnita de la consciencia. Mi imagen de una civilización avanzada es aquella en que la ciencia, asistida de computadoras con una inteligencia muy superior a la de cualquier ser vivo, habrá dado respuesta ya a todos los interrogantes meramente físicos. Algunos individuos puede que tomen parte en la exploración directa y explotación consiguiente de nuevos sistemas estelares, extendiendo gradualmente la cultura de su especie a modo de esfera que va aumentando su radio a partir de la estrella de origen. Considero probable, con todo, que en los estadios avanzados de una civilización muy vieja el mundo físico vendrá a ser una especie de sobrentendido, algo que se conoce y domina ya desde tiempo inmemorial. La mayor parte de la actividad e interés, diría yo, será intelectual, artístico y social.

Después de tanto suponer y especular resulta casi penoso volver al «humilde» mundo de nuestro propio sistema solar y a los decenios inmediatos en nuestro futuro. Pero lo hacemos para considerar la cuestión práctica subsistente todavía, cuando el debate sobre el proyecto Cíclope lleva ya largo tiempo en el candelero: si va a llevarse a efecto, ¿cuál es la forma óptima y más económica de realizarlo?

La respuesta parece bastante clara. En su forma original, el proyecto Cíclope fue estudiado por un grupo de dos docenas de personas durante el verano de 1971 en el Laboratorio Ames de la NASA, en colaboración con la Universidad Stanford. Dirigía el grupo el doctor Bernard Oliver, de la Hewlett-Packard Corporation, y el resultado del estudio se plasma en un informe cuidadosamente preparado y muy profundo, titulado «Proyecto Cíclope»^[20]. El informe en cuestión concluía con la propuesta de construir, en algún lugar de una región desértica poco habitada, una serie de hasta 1.000 antenas telescópicas, cada una de gran tamaño, perfectamente orientables de manera que enfocaran sobre un punto fijo pese a la rotación de la Tierra, aseguradas

contra viento y tormenta, y conectadas electrónicamente de manera que funcionaran como un gigantesco receptor único^[21]. El coste total de la operación, si en efecto las antenas fueran construidas antes de que se captara una señal inteligente del espacio, fue originalmente estimado en quince mil millones de dólares; sería menor si los progresos en la sensibilidad de recepción permitieran el logro del mismo resultado con una disposición menos numerosa.

A modo de ejercicio yo estudié la posibilidad de construir un equivalente del Cíclope como una de las primeras tareas a llevar a cabo en Isla Uno. Este receptor espacial sería mucho más sencillo; se trataría probablemente de una sola antena parabólica gigantesca, de un diámetro de cinco kilómetros, situada a poca distancia del emplazamiento de la comunidad espacial. Requeriría un solo sistema receptor, que podría ser fácilmente puesto al día con objeto de que fuera siempre el no va más de la técnica electrónica. El problema del «ruido» producido por los numerosos transmisores activos en la Tierra y en el espacio sería salvado por el simple expediente de situar una pantalla en forma de disco y de mayores dimensiones a cierta distancia de la antena.

Para funcionar en gravedad cero y en el medio libre de viento que reina en el espacio, la antena y su pantalla eliminadora de ruidos podrían ser de estructura muy ligera y compuestas (en mi concepto) de un soporte geodésico cubierto por una delgada capa de aluminio. La masa total, inclusive la pantalla silenciadora, alcanzaría apenas la décima parte de una SSPS. Suponiendo que toda la maquinaria complicada (componentes electrónicos, motores, etc.) fuera elevada desde la Tierra a elevado coste, y concediendo asimismo un generoso presupuesto para fabricación y montaje, el coste total del Cíclope espacial (de Isla Uno) resultaría una décima o una vigésima parte del que supondría una instalación similar en nuestro planeta. El Cíclope-L5 poseería todavía una ventaja adicional, que ilustramos con una divertida consideración: supongamos que entre el millón de estrellas investigadas en el curso de un período de treinta años existe una que efectivamente emite señales en nuestra dirección; supongamos también que el «programa» tiene una duración de muchos años. Al fin y al cabo, los seres emisores pueden ser mucho más longevos que nosotros y tal vez tengan mucho que decir. Una vez hayamos localizado la señal, el Cíclope-L5 puede continuar apuntado al punto correcto mientras dure el programa, a diferencia de la serie de antenas terrestres, o situadas en la Luna o en una órbita baja, para las cuales quedarían bloqueadas las señales la mitad del tiempo. De ser ése el caso podemos imaginarnos la siguiente investigación a nivel del Congreso:

Senador X: «¿Debo entender, profesor, que nos perdemos la mitad del programa enviado por los Arturianos y que usted sugiere que construyamos una nueva antena en L5 para remplazar la ya existente en Nevada?»

Profesor Z: «Sí, señor, eso es. Está claro que cuando se inició el Proyecto Cíclope no pensamos que recibiríamos señales con esta estructura temporal».

Senador X: «¿Trata de decirme que cuando vino aquí a pedir quince mil millones

de dólares no había previsto siquiera la posibilidad de que su búsqueda tuviera éxito?»

Dejaremos que el profesor Z se las vea con esta situación más bien espinosa y volveremos nuestra atención a otra aplicación de las instalaciones industriales de L5.

Si los cálculos a los que he aludido no son descabellados, la población activa en Isla Uno se encontrará en una situación tan favorecida por la industria que la presión en el sentido de ampliar esa «cabeza de puente» en el espacio será enorme y orientada hacia la construcción de hábitats de mayores dimensiones.

Sea cual fuere el grupo que construya la primera comunidad, el éxito de Isla Uno moverá a muchos otros a participar de las ganancias aportadas por la industria de L5. Incluso contando con tres turnos de trabajo y pese a que la población formará parte mayoritariamente del personal activo, la primera Isla Uno no podrá satisfacer por sí misma las demandas que un mundo sediento de energía hará sin cesar. Incluso mientras se procede a la construcción de las primeras comunidades, sus diseñadores (o posiblemente un grupo enteramente diferente) estarán planeando ya el paso siguiente en dimensionamiento: Isla Dos. La elección de tamaño para la nueva generación de comunidades espaciales debiera hacerse cuidadosamente, ya que a coste mínimo será mejor determinar un tamaño óptimo y repetirlo en gran número utilizando maquinaria automatizada y diques adecuados a un sólo conjunto de dimensiones.

Isla Dos debiera ser suficientemente grande para constituir una eficiente base industrial, y bastante pequeña para permitir un fácil transporte entre sus valles, de modo que su gobierno, además, sea sencillo y libre de burocracia, sin indebidos formalismos. Como mera conjetura, se me ocurre que los residentes del espacio han de hallarse en situación de vérselas con una obra de la envergadura de Isla Dos cuando existan ya una docena o algo así de comunidades del tamaño de Isla Uno.

Por razones económicas relativas a la estructura que debe contener la atmósfera, la presión interna elegida puede ser similar a una ciudad terrestre de elevada altitud, como Denver o México D, C., por ejemplo. Se necesitarán muchos cálculos antes de que sepamos qué tamaño será óptimo para Isla Dos, aunque mi estimación actual lo sitúa alrededor de 1.800 metros de diámetro, con una circunferencia ecuatorial de casi seis kilómetros. Isla Dos podría albergar y mantener una población de 140.000 personas, posiblemente distribuidas en cierto número de pequeños pueblos separados por parques o zonas boscosas. Cada uno de esos pueblos sería similar en tamaño y densidad a una pequeña ciudad italiana de las colinas. Como antiguo residente en una comunidad tal, puedo confirmar con nostalgia que constituye uno de los centros de vida más agradables en el conjunto de los desarrollados en la Tierra.

Cualquier comentario que pueda ofrecer acerca de la arquitectura y geografía de una comunidad espacial es, desde luego, mera conjetura. Cabe que se opte por varios tipos de disposiciones diferentes, acaso dentro del mismo hábitat, de modo que, sin abandonar éste, los residentes puedan gozar de una gran variedad de «atmósferas» del

todo diferentes a la de su lugar de residencia específico.

Como en el caso del primer hábitat, la industria pesada de Isla Dos se emplazará en el exterior, por lo menos a unos centenares de metros de distancia, en gravedad cero.

Ya durante la construcción de las primeras islas del espacio, proseguirán los trabajos tendentes a potenciar el impulsor de masas lunar para satisfacer las demandas debidas al incremento de la producción de bienes exportables, así como de las comunidades adicionales. Una estación de energía solar será instalada quizá en el pico de una montaña en el polo Norte o Sur de nuestro satélite, donde la luz del sol será asequible ininterrumpidamente. Un tendido de conducción desde el polo a la mina lunar permitirá que el impulsor de masas doble su rendimiento, sin que se haga necesario cambio alguno en la propia máquina.

Para cuando se inicien las obras de construcción de Isla Dos puede que haya ya más de una mina en explotación en la superficie de la Luna. Hasta es posible que haya sido instalada allí una pequeña industria con el fin de fabricar tantos impulsores de masas como unidades solares generadoras de energía para su alimentación. A la larga éste será el modo de reducir gastos de envío desde la Tierra hasta dejarlos en un valor muy bajo (unos pocos centavos por kilogramo). Cabe también que para entonces estemos explotando ya las vastas reservas contenidas en los asteroides; y no mucho más tarde, si los estudios económicos lo revelan adecuado, es posible que cerremos las minas de la Luna, las cuales pasarán a la posteridad como auténticas ciudades fantasma.

El esquema económico, muy prudente, desarrollado en el curso de nuestros primeros estudios acerca de la viabilidad de la producción en el espacio, se basaba en un tiempo de duplicación de aproximadamente cuatro años en relación con el número de comunidades existentes en Isla Uno, de modo que al cabo de quince años la población espacial sumaría más de cien mil personas. Esta cifra, por cierto, sería la necesaria para satisfacer todas las demandas de Estados Unidos en cuanto a nueva capacidad generadora a principios del siglo próximo. Parece probable, con todo, que para entonces —si no antes— las comunidades espaciales sean las responsables de suministrar nueva capacidad generadora a todas las naciones de la Tierra que la necesiten. Como regla general, una comunidad de Isla Uno totalmente dedicada a la industria pesada podría producir unas 200.000 toneladas de productos acabados cada año; más de dos estaciones de energía, si no tuviera otras ocupaciones. Las necesidades mundiales para comienzos del siglo venidero se cifran en cincuenta o más grandes estaciones SSPS cada año, de manera que puede que no diste mucho el momento en que la población del espacio supere el millón de personas.

Si la automatización se lleva hasta el extremo de que todas las operaciones repetitivas son ejecutadas por una reducida plantilla, el tiempo de reproducción, aun para hábitats del tamaño de Isla Dos, podría ser de tan sólo dos años. Las condiciones de L5 parecen haber sido hechas a la medida para semejante desarrollo: gravedad

cero para el montaje de grandes objetos por medio de máquinas ligeras; ausencia de climatología, de modo que la producción computadorizada no tendrá que someterse al albedrío de las variaciones estacionales y peligros meteorológicos; energía ilimitada, y una labor que consiste de la repetición, miles de veces, de las mismas operaciones de montaje con estructuras idénticamente sencillas.

Si se alcanza la escala de tiempo más rápida posible, a los quince años del inicio de la construcción pueden ser ya muy numerosas las comunidades establecidas en L5, con centenares de miles de residentes que vivan y trabajen en el espacio. Espero que se cuente entre ellos a viejos y a jóvenes, al igual, claro está, que gentes en edad productiva. Durante esos años, la venta, cesión o donación de estructuras tipo Isla Dos a guisa de establecimientos industriales «clave» me parece sumamente posible. El coste de semejante hábitat no tendría que ser mucho más elevado que el de la Isla Uno original, puesto que para entonces la fuerza laboral presente en L5 será muy numerosa y capaz, por tanto, de producir toda clase y cantidad de maquinaria y pertrechos que puedan hacer falta para proseguir la construcción; sólo el hidrógeno líquido, y posiblemente nitrógeno y carbono, tendrán que ser importados aún desde la Tierra. Para una nación o consorcio de naciones en vías de desarrollo, el período de construcción de varias Islas Dos será de gran interés y propicio en oportunidades.

Para una nación que cuente con mil millones de habitantes (dentro de dos o tres decenios habrá por lo menos dos naciones de esta envergadura) una comunidad espacial para 140.000 personas podría ser adquirida, en un plazo de diez años, por un coste equivalente a unos pocos dólares por persona y año. Como cabeza de puente en el espacio desde la que pudiera tener lugar una proyección consiguiente hacia nuevos destinos sin necesidad de contar con capital extranjero adicional, semejante comunidad sería una interesante inversión, en especial cuando se considera la posibilidad de su crecimiento exponencial. Es pura conjetura, pero da que pensar que con un tiempo de duplicación de dos años para los nuevos hábitats una nación de mil millones de habitantes que comprara una estructura Isla Dos obtendría en sólo dieciocho años un ritmo de incremento de nuevas tierras en el espacio suficientemente rápido para absorber un crecimiento demográfico hasta del 4 por ciento anual. Más adelante exploraré con más detalle esta posibilidad; por el momento fijemos nuestra atención en la clase de vida que bien pudieran llevar los pioneros fundadores de Lagrangia.

OTRA CARTA DESDE EL ESPACIO

Durante la colonización de nuestro propio Nuevo Mundo, en el hemisferio occidental, las comunicaciones a través del océano entre familiares adquirieron gran importancia. Las cartas de los primeros inmigrantes disiparon los temores de los parientes que habían quedado atrás, y en muchos casos les animaron a decidirse a su vez. Tras el establecimiento de L5, las comunicaciones con el «Viejo País» serán mucho más rápidas: los teléfonos con pantalla televisiva pueden operar con una demora de menos de dos segundos. Parece probable que incluso las comunidades espaciales más tempranas estén equipadas con sistemas de transmisión postal electrónicos, y pienso que las cartas que se crucen entre los miembros de una misma familia serán tan importantes para la humanización del espacio como lo fueron para la colonización de Estados Unidos. Y cuando el tiempo no apremie y se sienta la necesidad del contacto físico con el papel escrito por el remitente, el correo enviado en base al espacio de carga disponible puede resultar más satisfactorio.

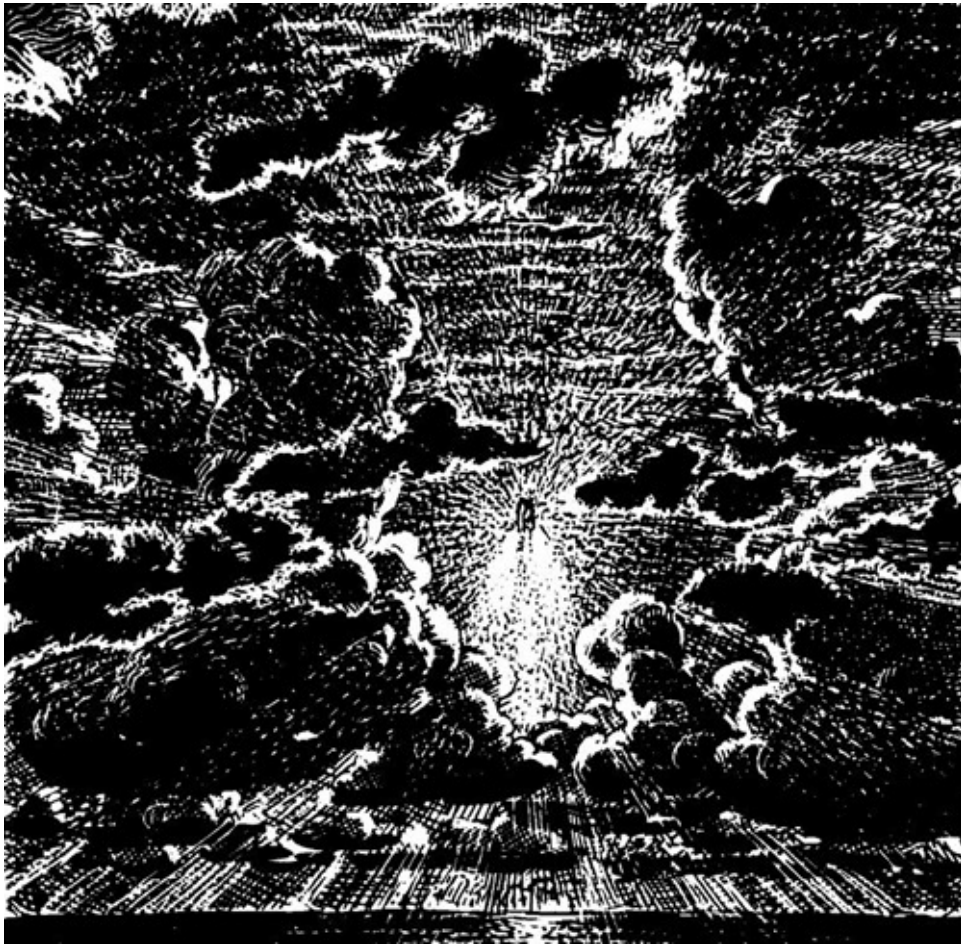
He aquí cartas como las que podrían escribir personas que hubieran emigrado a L5 unos pocos años después de los pioneros. A diferencia de los emigrantes jóvenes, que podrían constituir la mayoría, nos imaginamos que la que sigue ha sido escrita por una pareja cuyos hijos han crecido, se han casado y han fundado familias en la Tierra. La experiencia laboral y una trayectoria de estabilidad y responsabilidad podrían ser factores importantes a tener en cuenta por el Comité de Selección de los primeros emigrantes a las colonias espaciales. Con el paso del tiempo, no obstante, es de esperar que eventualmente puedan viajar a ellas prácticamente todos aquellos que así lo deseen.

«Queridos Peggy y Arthur:

»15 de enero de 20...: Jenny y yo hemos pasado ya veinticuatro horas en la Estación Uno, de modo que enviaré esta nota por el videocorreo mientras nuestras impresiones siguen frescas. Nos alegró alejarnos del frío y del viento del Norte, aunque he de decir que también en Cabo Cañaveral nos hizo falta el abrigo; tanto es así que he oído decir que en Florida están preocupados por su cosecha de naranjas. Una vez en la Terminal del Espacio nos encontramos como en casa gracias a nuestro curso de seis meses en la Escuela de Entrenamiento. Además, algunos de nuestros antiguos compañeros de clase iban a encontrarse en el mismo vuelo. Después de los últimos controles médicos y de haber pesado nuestros equipajes respectivos nos dirigimos a los vestuarios para cambiarnos de ropa. Luego, ducha, lavado de cabello, y corredor adelante hasta las “dependencias estériles”: ya sabéis, nadie quiere proporcionar pasaje libre a L5 a ningún chinche o animalillo que pueda comerse las plantas de la colonia. Nuestros trajes espaciales habían sido ya preparados, bien limpios y recién planchados. Claro que nos los habíamos probado ya en la Escuela, y

Jenny había devuelto el suyo un par de veces para que le ajustaran la medida. No la culpo... esos materiales tan ligeros no dan mucha opción a la fantasía.

»El transbordador se hallaba ya en pista cuando llegamos a la sala de espera, y su tripulación atendía en aquel momento a la carga de combustible. Tuvimos que aguardar una hora, y si no os llamamos es porque no teníamos nada aún, realmente, que contaros. Por fin, los 150 pasajeros nos instalamos en nuestras respectivas literas; las almohadas son, por cierto, muy delgadas, pero no nos importó porque sabíamos que debíamos permanecer allí sólo una media hora. Vimos nuestro despegue en las pantallas de televisión y, ¡creedme!, se experimenta una sensación muy particular cuando uno piensa que se encuentra allá, encima de todos aquellos fuegos artificiales. La aceleración no resultó tan molesta, después de todo, especialmente en posición yacente: algo así como la centrífuga de la Escuela; al final llegamos a 3-g, y yo podía levantar aún la pierna sin demasiado esfuerzo. La ausencia de gravedad, en cambio, nos resultó muy extraña al principio, pero nos mantuvimos quietos, como indica el manual, y no hubo nadie que se mareara. La pantalla de televisión nos ofrecía el avance del transbordador de camino a Estación Uno, donde sentimos una ligera sacudida al atracar. Las azafatas de la Estación se nos acercaron al poco flotando ingravidamente y nos ayudaron a poner pie en la misma, lo cual llevó algún tiempo: como veinte minutos, diría yo. Total, desde el momento del lanzamiento hasta Estación Uno, menos de una hora.



Lanzamiento nocturno del transbordador.

»Hay una rampa que “desciende” al borde externo, de modo que uno al caminar vuelve paulatinamente desde gravedad cero a la normal. El vestíbulo y restaurante del lugar han aparecido tantas veces en televisión que me ahorraré la tarea de describirlos; te hablaré, en cambio, de las gentes. Tuvimos mucha suerte, nos quedaban sólo veinticuatro horas del ciclo de tres días que media entre una nave y otra, y la estación estaba muy llena. Los siete vuelos del transbordador anteriores al nuestro habían transportado grupos procedentes de lugares muy diversos: había chinos, rusos, algunos nigerianos y no pocos hindúes. Puedo ver a Jenny desde donde escribo: se encuentra en uno de los jardines interiores y parece haber trabado conversación con una muchacha que, por su aspecto, diría que proviene de algún punto del Sureste asiático. Me imagino que también se pirra por las flores.

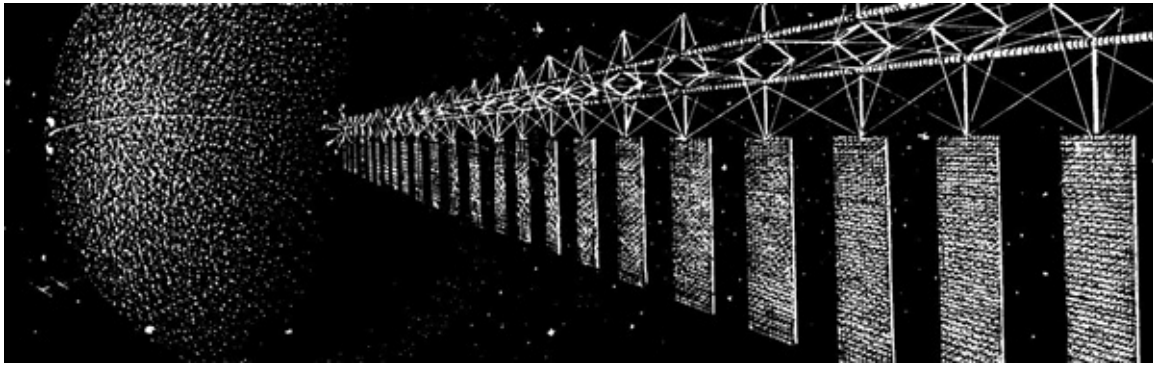
»17 de enero: Para cuando los 2.000 de nuestro contingente estuvimos instalados, el hotel estaba a reborar. Sin embargo, está bien eso de que haya tantas ventanas para la observación; nosotros, concretamente, nos pasamos las horas muertas contemplando la Tierra. Y yo incluso tomé un montón de diapositivas, pues es posible que no gocemos otra vez de esta vista en los próximos dos o tres años. Las habitaciones del hotel están bien, la verdad, pero no paramos en ellas más de lo indispensable. ¡Hay demasiado por ver: la Tierra, las películas que pasan ininterrumpidamente en los numerosos cines, las personas...!

»Por fin volvimos a nuestra habitación para contemplar la entrada del Konstantin

Tsiolkowsky... ¡Se veía mejor en la pantalla de televisión! Fue un gran espectáculo: primero apareció el extremo del dispositivo de propulsión, con sus brillantes faros iluminando las nubes de vapor desprendidas. Casi podíamos contarlas, de lo despacio que discurrían. Llevó bastante tiempo la aparición completa de la nave. Primero fue su alto y erguido palo; luego las vergas con las centelleantes luces rojas de navegación. No logramos ver los vientos u obenques que mantienen tensa toda la estructura. Por fin apareció la nave en sí: una gran esfera desprovista totalmente de ventanas, y por detrás de ella un enorme reflector discoidal para la captación de la energía solar. Unas tres horas costó el acomodarnos a todos con nuestro equipaje. La verdad es que aún no estamos acostumbrados a la ingravidez.

»El capitán nos ofreció un hermoso discurso a través de las pantallas de vídeo. Habló de los tres turnos establecidos tanto para la tripulación como para los pasajeros, conforme a las tres zonas horarias prevalentes en la Tierra y separadas entre sí por períodos de ocho horas: Moscú, Cabo Cañaveral y el Pacífico Occidental. Los restaurantes trabajan, pues, ininterrumpidamente y a pleno ritmo. No hay ventanas, claro, debido a la coraza protectora contra la radiación cósmica, pero las grandes pantallas de vídeo instaladas en cada habitación nos proporcionan buenas vistas, y además han sido dispuestas de tal manera que nadie diría que el Tsiolkowsky se encuentra en rotación.

»18 de enero: Realmente a uno le tienen ocupado aquí. Comprendo ahora perfectamente por qué llama el capitán “escuelas volantes” al Tsiolkowsky y al Goddard. Jenny y yo asistimos a un curso para practicar nuestros Ruso y Japonés Básicos. Y nos damos cuenta ahora de que, no sin intención, han dispuesto las comidas de un modo muy particular: mientras uno de los turnos desayuna, el otro cena, y al efecto han colocado tarjetas nominales en cada mesa. Y está bien claro lo que pretenden: disponer mesas de cuatro, con una pareja de Rusia o China o del Japón, de manera que es prácticamente imposible no entrar en contacto con gentes de esas nacionalidades. La pareja japonesa que hemos conocido esta mañana van destinados a la construcción de la planta energética, igual que nosotros: él es un experto en la fundición de palas de turbina hechas de titanio, y como quiera que Jenny ha sido preparada desde hace medio año para inspeccionar precisamente esos productos, su conversación versó en principio sobre esa materia. La chica japonesa, en cambio, es especialista en agricultura, de modo que he aprendido un montón de cosas acerca del sistema de que se valen para conseguir tantísimos alimentos en las colonias japonesas a partir de terreno más bien escaso. Tengo que admitir, sin embargo, que su inglés es mucho mejor que mi “Japonés Básico” y, además, creo que me han mentido descaradamente: ¡usan mucho más que 800 palabras!



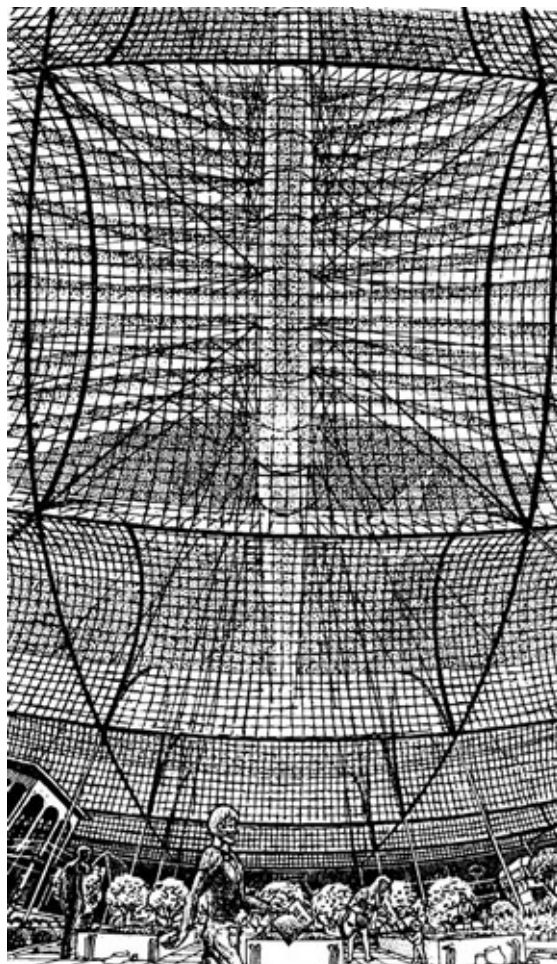
Robert H. Goddard, nave espacial para 2 mil pasajeros.

»Ha habido una enorme excitación hoy cuando nos hemos cruzado con el Robert H. Goddard de camino a Estación Uno. Ha estado a la vista durante más de una hora, y nuestra tripulación ha proporcionado, además, unos magníficos telescopios y avisó con suficiente antelación para que el clic de las cámaras fotográficas se llegara a hacer casi ensordecedor. Me temo que el número de aparatos supera con mucho al de pasajeros.

«Durante la cena hemos conocido a una pareja hindú. El trabaja en la construcción, lo cual tiene sentido, desde luego, pues el gobierno de su país se ha volcado en el establecimiento de hábitats más que en la instalación de plantas de energía, como hacen los demás. ¡Ah!, creo que me olvidé de deciros que pasamos la órbita de las plantas de energía el primer día. Ahora, a medida que describimos nuestra espiral de salida, vemos de vez en cuando una de ellas, luminosa en la distancia y en dirección a la Tierra.

»Las comunidades de L5 se están aproximando a pasos agigantados y todo el mundo se muestra visiblemente excitado. Debo admitir que me asaltan las dudas en algún que otro momento. Todos los que nos rodean son en su mayoría jóvenes, y yo me pregunto si Jenny y yo, con cincuenta años cumplidos, estamos aún en situación de aprender nuevas cosas y costumbres. De momento nos gusta todo lo que tenemos a nuestro alrededor, y el capitán se muestra muy ocurrente cada día con ocasión de su discurso habitual. Supongo que le resulta fácil después de haberlo repetido cada doce días durante los dos años que lleva prestando este servicio. Pero no comprendo por qué sigue excusándose por la comida: es mucho mejor que la que te dan algunas líneas aéreas. Hoy, Jenny ha pedido un plato de curry de los incluidos en el menú hindú. Yo no me he atrevido; me he inclinado más bien por el socorrido bistec con patatas; pero he probado algo de lo suyo y era en verdad excelente.

»20 de enero: Ha sido estupenda nuestra larga comunicación con vosotros esta mañana por el vídeo. Esta media hora gratis semanal va a significar mucho para nosotros. Nos ha parecido que nuestros nietos han crecido incluso desde que nos ausentamos. Evidentemente nos hemos olvidado de la mayoría de las cosas que queríamos deciros, pero han ocurrido tantas que no habría habido manera de contároslo todo.



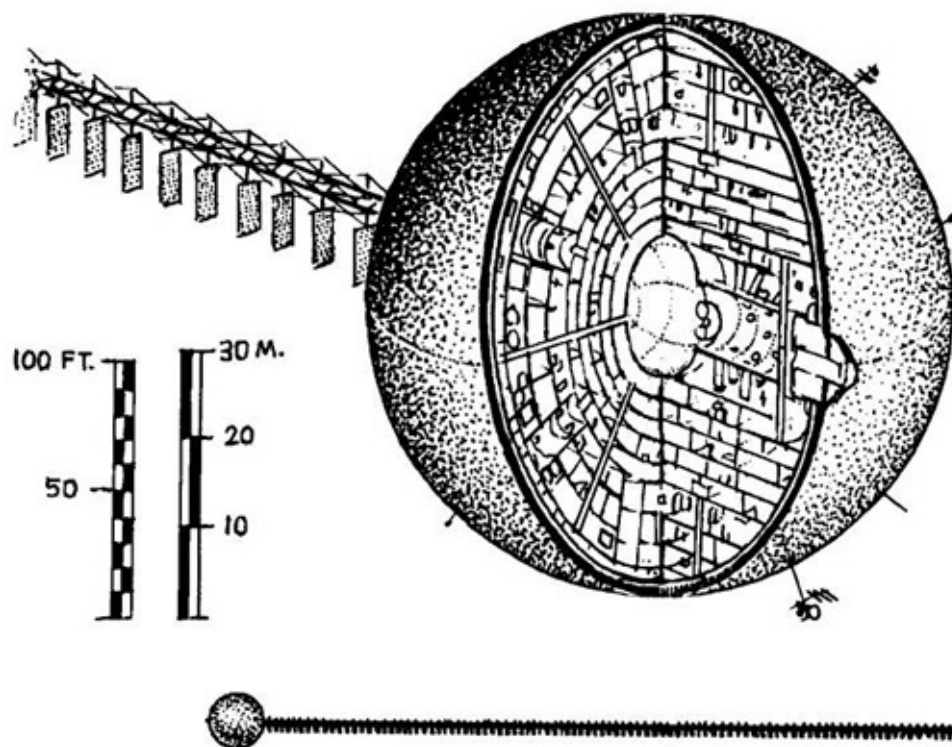
Huertos de fruta e instalaciones agrarias en Isla Uno.

»Ya os dijimos que atracamos en Isla Uno; parece que ahora se usa parcialmente como hotel receptor, lugar donde pueden atracar el Tsiolkowsky y el Goddard, y donde los pasajeros son clasificados y redistribuidos conforme a sus comunidades de destino específicas. Hemos cambiado ya algunas direcciones con conocidos, y nuestra lista de invitaciones para cuando nos hayamos instalado del todo es ya notable.

»Isla Uno es pequeña, desde luego, de unos quinientos metros tan sólo de diámetro. Se rige por el tiempo de Cañaveral, en tanto que otras dos comunidades próximas han sido incluidas en otras dos zonas horarias. Muchos de los pasajeros desembarcaron en las otras para no tener que alterar su turno de trabajo.

»Me pregunto cómo sería al principio, quiero decir para las personas que vivieron en ese primer hábitat durante varios años antes de la construcción de la primera de las Islas Dos. Quizá no lo pasaran mal. A Jenny y a mí nos dieron uno de los apartamentos más pequeños: dos grandes habitaciones, cocina y baño, y un agradable jardín. Esta primera Isla Uno cuenta con un clima constantemente “hawaiano”, debido a que no estaban muy seguros al principio de poder dominar perfectamente los cambios climáticos y, por tanto, no se atrevieron a imponerle muchos esfuerzos a las estructuras. Los viejos aquí dicen que el clima de Uno es aburrido, pero después de los inviernos de Michigan celebramos poder tomar baños de sol en todo momento. En

el jardín hay algunas grandes plantas tropicales, y es evidente que los primeros habitantes del lugar gustaban de los aguacates; hay varios de esos árboles, y los frutos de uno de ellos estaban justo en su punto para ofrecernos un sabroso complemento de nuestro almuerzo.



Sección del R. H. Goddard.

»La verdad es que parece como si estuviéramos de vacaciones: un tiempo tan bueno, y ¡tantas cosas nuevas que ver! Además, excuso decirnos que no íbamos a perdernos las primeras posibilidades inéditas de Isla Uno: el vuelo a propulsión muscular y la natación y el buceo, digamos, a “cámara lenta”.

«Desde nuestra tumbona en el jardín, poco después de habernos instalado (no diré después de haber deshecho las maletas, pues ya me diréis, con un límite de peso de 50 kg, ¡no es mucho ciertamente lo que hay por desempaquetar!) podíamos elevar la vista a través del gran corredor que conduce a las llamadas áreas-ag o zonas donde se practica la agricultura con todos esos medios mecánicos. La superficie curva del hábitat está toda ella escalonada y plantada: hierba brillante y fresca por doquier. El Sol se encuentra en un ángulo más o menos correspondiente al de las 11 de la mañana, y eso en todo momento, es decir, salvo de noche, cuando corren una especie de pantallas para el descanso nocturno. Cada mañana, alrededor de las siete, hay algo de “lluvia”, de modo que al despertarnos todo se presenta fresco y limpio, aromado por la fragancia de flores que flota en el aire. Isla Uno es demasiado pequeña para contar realmente con clima propio, de modo que la “lluvia” nos llega desde unos conductos que, afinando mucho la vista, alcanzamos incluso a ver a unos doscientos cincuenta metros de altura.

«Exactamente en la vertical, por encima de nuestras propias cabezas, podemos vislumbrar los jardines de los apartamentos del otro extremo de la esfera, y luego la curvatura de ésta. Por alguna razón no nos resultan tan extraño ver árboles que crecen de arriba abajo como el verlos, a un cuarto de círculo de nosotros, haciéndolo horizontalmente.

«Muchos de los jardines son abiertos, pero alguien nos dijo que los colonos que prefieren el pequeño tamaño de Isla Uno a las nuevas posibilidades que actualmente se ofrecen en muchos sitios diferentes y que, por consiguiente, han optado por quedarse aquí, han instalado una especie de gasas en parte de su césped, donde pueden tomar el sol desnudos sin el riesgo de ser vistos desde el “cielo”. Por cierto que, mirando ahora hacia él, podemos ver las figuras de numerosas personas dedicadas a la práctica del vuelo a propulsión muscular a unos doscientos cincuenta o trescientos metros por encima de nuestras cabezas.

»Los apartamentos aparecen reunidos en edificios de estructura escalonada, de modo que cada uno de ellos cuenta con su propio jardín; los edificios, a su vez, se agrupan en pequeños pueblos separados entre sí por bosques y parques. Resulta muy grato el explorar por los alrededores, además de una sana ocasión de hacer algo de ejercicio físico, pues no hay carreteras sino pintorescas sendas que ascienden a partir del “ecuador”.

»Al parecer aquí gustan mucho las flores, y no hay vereda ni parque que no aparezca rodeado de ellas. Me imagino que debe de ser en parte por la facilidad de su cultivo: no hay malas hierbas, ni bichos de ninguna clase que haya que pulverizar, y siempre la cantidad justa de sol y lluvia. Según tengo entendido, el llamado Club de Jardinería es una de las organizaciones más importantes en cada comunidad, donde muchos de los residentes se ofrecen voluntarios para cuidar de pequeñas zonas de los parques y jardines públicos.

»Cerca del río se encuentra la “Quinta Avenida”, es decir, la zona comercial donde están casi todas las tiendas. Se halla dividida en dos niveles, con áreas peatonales que discurren entre coloridos arriates. Yo diría que la mitad de la zona ha sido tomada por los restaurantes, y ello se debe, al parecer, a que en los comienzos de Isla Uno ni hombres ni mujeres tenían mucho tiempo que dedicar a la cocina, ¡tanto era lo que había que hacer! Todos los restaurantes son pequeños, y muchos de ellos ofrecen sólo tentempiés o platos combinados. Hemos visto numerosas librerías, una importante biblioteca y no pocos cines.

»Más abajo, pasado el cinturón de árboles, hemos descubierto numerosas pistas de tenis y campos de deportes. Y, claro, junto al ecuador se encuentra el parque y las playas ribereñas del río.

»Con ocasión de nuestra primera exploración no parábamos de mirar hacia arriba para contemplar a las numerosas personas dedicadas a la práctica del vuelo; la verdad es que la cosa nos maravilló, de modo que empezamos a ascender más allá de uno de los pueblecillos por donde las colinas se hacen cada vez más empinadas. La

sensación era realmente extraña, pues a medida que íbamos ganando altura nos sentíamos más ligeros. Pasada la zona verde del parque nos encontramos junto a uno de los puentes tendidos por encima de las ventanas, caminando con un ángulo de 45°, pero con creciente facilidad dada nuestra pérdida relativa de peso. Más allá de las ventanas dimos con una vereda de gran pendiente que discurría sinuosa entre yedra y arbustos, como si se tratara de una senda hawaiana. En la cumbre encontramos a un montón de gente (se ve que todos los recién llegados nos habíamos puesto a explorar a la vez y, por lo visto, sin revelar una gran originalidad de ideas). Confieso que cuando probé de flotar por primera vez en las instalaciones agravitatorias del club (donde no hay rotación) me sentí algo mal. A Jenny, en cambio, le encantó, y tan pronto como quedó libre uno de los pedaloplanos se avalanzó en pos de él. Yo la observaba desde la dependencia de gravedad cero. El pedaloplano te sitúa en un ángulo semejante al que adoptarías de estar echado; no hay realmente asiento alguno y tan sólo una barra de mando a la altura de la cadera. Las alas son pequeñas, pero dispuestas en tres niveles: se trata de un triplano. Las dos hélices son casi tan grandes como las alas, y se mueven al pedalear en sentido contrario.

»Jenny tuvo algunos problemas justo junto al eje porque allí no existe “peso” alguno y el aparato ha sido diseñado para operar donde se sienta por lo menos un mínimo de gravedad. Una vez hubo bajado unos pocos metros adquirió nuevamente fácil sustentación y se dejó derivar hacia una fina red desde la que emprendió nuevamente la marcha para alejarse unos cuatrocientos metros, dar la vuelta y regresar al punto de partida. Pero entonces surgió el problema; se encontraba algo cansada y parecía que le quedaba aún mucho por recorrer; solución: se recostó un tiempo en la red dispuesta en lo alto (pende de las tuberías responsables de la “lluvia”) y no pasó nada. A su vuelta yo me sentía más animado y quise probar el invento. No me alejé tanto como ella, pero sí lo suficiente para comprobar lo divertido que resulta. Alguien nos dijo que en Isla Tres quieren instalar una especie de bar flotante en lo alto, a 0,5 g; este vuelo despertará ciertamente la sed de los esforzados.

»2 de febrero: Vuestro padre empieza a meterse de lleno en su trabajo, como hace siempre, de modo que las vacaciones han terminado por el momento, ahora me toca a mí atender la correspondencia. Fue muy delicado de vuestra parte que hicierais todos esos preparativos para nuestra llamada semanal. Los niños estaban preciosos. Además, creo que empiezan a acostumbrarse a las llamadas y ya no parecen en modo alguno cohibidos.

»De camino a Isla Dos dimos en los muelles con un grupo más bien triste. Se trata de algunos de nuestros compañeros de las clases de adiestramiento, que han decidido que no les va lo de aquí y regresan a la Tierra. No se trata de ningún problema físico, pues es prácticamente imposible sentir el menor mareo o algo semejante en un hábitat tan grande como Isla Dos. Me imagino que para muchos de ellos tanta novedad y diferencia es demasiado y, sencillamente, no han podido superarlo. Los veteranos

dicen que se trata de un caso ya conocido y que recibe el nombre de “síndrome QSM...” No comprendimos a qué se referían hasta que alguien nos dio el soplo: QSM... no es otra cosa que “¿Qué se me ha perdido aquí?”.

«Después de Isla Uno, “Dos” nos pareció enorme. El diseño y el paisaje básicos son similares, salvo en que “Dos” no es tan cálida y cuenta con un clima adecuado para pinos y abetos. Ya sabéis que me encantan los rododendros; pues bien, nuestro apartamento tiene un montón de ellos apretujados contra las paredes del jardín. No creo que papá os contara mucho acerca de nuestro apartamento, aunque ya pudisteis haceros una pequeña idea a través del vídeo. Han hecho una gran cosa aquí: dado que el Sol se encuentra casi en nuestro cénit, han dispuesto una separación de medio metro o así entre un apartamento y otro, suficiente para que la luz caiga directamente sobre un gran parterre dispuesto justo delante del gran ventanal de la sala de estar. Ello nos proporciona una estancia no sólo muy soleada, sino perfectamente insonorizada; no se oye para nada a los vecinos. Los pájaros, en cambio, son bastante ruidosos, especialmente por la mañana y después de la lluvia, cuando hacen su salida también las mariposas.

»Vamos con frecuencia a los restaurantes, donde hemos ido conociendo a mucha gente. Todos son muy simpáticos, y la verdad, nos encontramos muy seguros y cómodos aquí. Dado que todos llegamos con tan poco y que los sueldos son abonados directamente en la cuenta del banco, nadie parece cerrar jamás la puerta de casa. Yo suelo comprar en el supermercado; ¡eso sí que lo encontraríais enormemente diferente! Todas las verduras y frutas son verdaderamente espectaculares, en especial las tropicales. Al principio me encantó la idea de poder comprar fresas y guayabas, pero ya nos estamos acostumbrando al hecho de que aquí es “temporada” en todo instante. Papá echa de menos sus bistecs, pero yo le digo que en la Tierra tampoco podíamos comprarlos, ¡con esos precios!, así que no tiene por qué quejarse. Me he adherido a un club de cocina y al Club de Jardinería, y ahora voy a tratar de repetir una receta que conseguí hace unos días en un restaurante. Es pollo, pero cocinado de una manera muy particular que le da un gusto como de langosta. Luego me las veré con un jamón en jalea: para dos personas tan sólo puede resolverte la papeleta durante toda una semana o más.

»A ambos nos encanta la natación en baja gravedad, especialmente subacuática. Las olas parecen llegar a ti con tanta lentitud (y así es, de hecho, como llegan) que tienes tiempo de dar varias brazadas antes de que te pesque la siguiente.

»Una cosa que ambos encontramos estupenda es la semana de seis días con sólo cuatro laborables. Digo sólo cuatro, pero en realidad hay tantos clubs y organizaciones de trabajos voluntarios que siempre nos sorprendemos trabajando mucho más durante los fines de semana que en la propia fábrica. Ha sido planificado así para que los parques, restaurantes, iglesias y demás instalaciones públicas sean usadas eficientemente y sin que se produzcan aglomeraciones. Con sólo la tercera parte de la población disfrutando de fin de semana en un momento dado, jamás

encuentras los parques vacíos un día y atestados el siguiente.

»15 de febrero: Nunca había conseguido que papá me acompañara al *ballet* allá en la Tierra, pero una compañía rusa de una de las comunidades de esta nacionalidad estuvo aquí el otro día y fuimos a verla. La representación tuvo lugar a una décima parte de la gravedad normal, y la coreografía había sido creada precisamente atendiendo a esta circunstancia; no es que yo entienda mucho, la verdad, pero todos pudimos darnos cuenta de que toda la gracilidad, encanto y suavidad de movimientos resultaban potenciados en esas condiciones de escasa gravedad, donde no hay apenas peso alguno que los coarte. Salimos maravillados.

»Lo que sigue va especialmente dirigido a ti, querida, pues por mucho que quiera a mi yerno hay algunas cosas que me apuraría un poco que él leyera. En suma, lo que quiero decir es que me gustaría que tuvierais la oportunidad de venir aquí algún día. Habíamos oído hablar del hotel en gravedad cero, claro, pero nada de lo que sabíamos podía habernos preparado para lo que vino después. Papá lo había arreglado todo para nuestro aniversario, pero guardo el secreto hasta el final. Primero me llevó a un pequeño restaurante italiano en uno de los pueblecitos de las colinas: luz de velas, música suave, una vista espléndida y comida excelente. Luego, tras una breve parada en casa para recoger algunas cosas, nos dirigimos al hotel de la Isla Flotante para pasar el fin de semana. La mayor parte de las dependencias, como el salón y los restaurantes, se encuentran a un décimo de la gravedad normal..., ¡ah! y las duchas..., pero ¡oh...!, las habitaciones... Querida, ¡es indescriptible! Puedes ver la televisión o escuchar música, si quieres, claro, pero —como dice papá— esas habitaciones han sido diseñadas con un fin determinado. No me puedo imaginar que alguna vez podáis llevaros mal, pero si alguna vez tenéis un problema, antes de que sea demasiado serio, ¡tráete a tu marido aquí para vuestra segunda luna de miel! Puede que jamás deseéis regresar. Ahora que hemos descubierto de qué se trata va a ser mucho más difícil para nosotros el volver a la Tierra.

»Con cariño, y muy feliz,

»Edward

Se considera que el viaje de Edward y Jenny tiene lugar a los doce o quince años de haber sido terminada la construcción de Isla Uno. En la escala de tiempo más rápida posible puede que para entonces se produzca un incremento de la población total del espacio que la lleve de 500.000 a 1.000.000 en un período de dos años, lo cual supone unas setecientas personas cada día: no mucho si lo comparamos con el tráfico que ven nuestros principales aeropuertos, pero más de lo que puede absorber el transbordador espacial, a menos que la flota de los mismos y las instalaciones de lanzamiento se amplíen considerablemente. De acuerdo con los estudios realizados por la NASA y algunos de sus patrocinados, creo que bastante antes de la terminación del siglo se contará con vehículos de transbordo propulsados por cohetes químicos de tipo más complejo y refinado que los actuales, capaces de elevarse de la Tierra y acelerar a velocidad orbital sin necesidad de proceder por fases (es decir, de

desprenderse de componentes). Tales vehículos se encuentran al alcance, se dice, de la tecnología de 1980, de modo que no me parece precipitado afirmar que dispondremos de ellos para los años siguientes a 1990 o a principios del siguiente siglo. Su existencia abaratará notablemente el coste de la transferencia desde la Tierra a una órbita. Hay unas frases de Theodore Taylor muy relevantes en lo que se refiere a la cuestión de los sistemas de transporte espacial actuales^[1]:

(Parafraseando): «Los costes actuales de la colocación de carga en órbita son elevados por las mismas razones que lo sería la aviación comercial con reactores si tuviera que sujetarse a las siguientes reglas:

1. Sólo habrá un vuelo al mes.
2. El aeroplano será desechado después de cada vuelo.
3. La totalidad de los costes de construcción de los aeropuertos internacionales, de origen y destino, será cubierta por las tarifas de carga».

El modo de abaratar el coste de la elevación de carga a una órbita es, pues, obvio: desarrollemos vehículos plenamente reutilizables y descubramos un mercado lo suficiente grande para justificar una mayor frecuencia de vuelos. Sin embargo, hay dos «pegas» en este razonamiento: en primer lugar, los estudios hasta ahora efectuados indican que, si dependemos de la propulsión mediante cohetes químicos, sería extraordinariamente difícil, si no imposible, construir un vehículo totalmente reutilizable capaz de realizar el viaje de ida y vuelta de la Tierra a L5 sin necesidad de repostar. En segundo lugar, los costes de desarrollo de un vehículo que suponga un gran avance sobre la situación tecnológica actual son muy elevados. Para el llamado «super-transbordador», por ejemplo, vehículo capaz de poner en órbita grandes cargas y de efectuar viajes de ida y vuelta sin desprenderse de ninguno de sus componentes, he visto estudios de la NASA que estiman costes de desarrollo de 40 a 60 mil millones de dólares. El vehículo imaginado en las cartas de Edward y Jenny es de clase más modesta y portador de una carga mucho más pequeña.

Durante el período de tiempo en el que se sitúan mis conjeturas supongo que no resultará aún práctico obtener carbono, nitrógeno e hidrógeno de los asteroides. Por prudencia, pues, nos parece mejor suponer que será necesario transportar desde la Tierra aproximadamente una tonelada de esos elementos por cada emigrante. Esta carga no tendría por qué viajar en el mismo vehículo de alta seguridad usado para el transporte humano.

Para el transporte de setecientos pasajeros por día mediante cohetes de una sola fase con cargas de unas dos o tres veces las susceptibles de ser elevadas por el transbordador actual, sería necesario efectuar unos cinco viajes diarios. Tratándose de un vehículo enteramente reutilizable que no requiere operaciones de montaje sino sólo de repostamiento antes de cada uno de los vuelos, ese régimen de lanzamiento no parece excesivo, incluso si por entonces carecemos de lugares de despegue

adicionales, aparte los dos ya establecidos (en Estados Unidos y Rusia respectivamente). Las necesidades de carga podrían ser mayores en cuanto a tonelaje; pero no, probablemente, en lo tocante a número de vuelos. Un vuelo cada tres horas aproximadamente por un HLV derivado del transbordador bastaría para transportar los suministros necesarios para iniciar la agricultura y para establecer un medio ambiente agradable, incluso durante el período de rápida acumulación de población en L5. Para cuando necesitemos de ese nivel de transporte de carga usaremos probablemente el mismo vehículo de una sola fase, y unos pocos vuelos diarios bastarán. Por otra parte, semejante vehículo quemará probablemente combustibles mucho más limpios que los que requiere el transbordador espacial existente.

El problema de la traslación más allá de una órbita baja es del todo diferente: las ventajas de contar con energía solar en todo momento y el fácil acceso a materias primas lunares sólo pueden disfrutarse a distancia de escape; pero pasar de una órbita baja a un punto situado a gran distancia requiere mucho más tiempo y, si la Tierra sigue siendo la fuente de los suministros, una vía logística mucho más larga y delgada. El problema es análogo al que presenta un vuelo de avión a larga distancia. Si queremos que el aeroplano alcance su destino, dé la vuelta y regrese a origen sin necesidad de repostar, convertimos la cuestión en un asunto mucho más espinoso que si permitimos que el avión reposte en destino de emprender el viaje de vuelta.

La transferencia desde una órbita baja a L5 es, en primer lugar y para los pasajeros, un problema de tiempo: incluso contando con motores de elevado impulso, capaces de producir grandes cambios en la velocidad del cohete en un período de una hora o menos, el tiempo de viaje hasta alcanzar la distancia de escape es de aproximadamente tres días. El sencillo tipo de acomodación que sería adecuado para un vuelo de media hora, y hasta de varias horas, sería absolutamente insoportable para un viaje que durase varios días. «Steerage to the Stars» (a las estrellas en tercera clase) no es la imagen que deseáramos alcanzar en relación con la humanización del espacio.

Afortunadamente se dan algunas ventajas compensadoras de las que cabe hacer uso para obviar este problema: a partir de una órbita baja y hacia fuera no hay ya necesidad alguna de que los motores deban ser capaces de suministrar un impulso mayor que el peso del vehículo. Si no nos importa el proceder con un viaje relativamente lento, el impulso y la aceleración de la máquina propulsora pueden ser relativamente bajos. Y si nos aprovechamos del hecho de que L5 se encontrará en un lugar donde la masa reactiva resultará bastante barata, parece claro que en vez de desarrollar vehículos monstruo de despegue de la Tierra mejor sería el resolver el problema desde uno y otro lado del viaje. L5 es el lugar ideal para la construcción de grandes aeronaves cuyo diseño se vería libre de todas las limitaciones impuestas por la entrada en atmósferas planetarias. Motores basados en el impulsor de masas pueden «repostar» en L5 con masa de reacción procedente bien de escorias industriales bien de oxígeno líquido.

Se supone que las naves espaciales Konstantin Tsiolkowsky y Robert H. Goddard poseen una masa en vacío de unas 3.000 toneladas, de las cuales aproximadamente dos terceras partes corresponderían a sus impulsores de masas que harían las veces de motores a reacción y a las plantas solares generadoras de energía. Los impulsores lograrían velocidades de escape aproximadamente dos veces mayores que las del mejor cohete propulsado químicamente, más o menos iguales que las de las máquinas similares, mucho anteriores, intensivamente estudiadas hacia finales de la década de los setenta para los primeros días del establecimiento de la producción industrial en el espacio. Estos impulsores, portadores de baterías de células solares cual velamen de antiguo velero de aparejo cuadrado, se extenderían a lo largo de varios kilómetros, pero ello sería perfectamente viable para vehículos jamás pensados para un medio atmosférico.

Para calcular el rendimiento del Goddard es necesario conocer el peso de sus baterías de células solares. Voy a suponer unas tres toneladas y media por cada megavatio. El Johnson Space Center de la NASA llegó a la conclusión de que ello resultaría plenamente factible, incluso en el decenio de 1980, para una estación satélite de energía solar. En el caso del Goddard, de construcción mucho más tardía, ha de ser perfectamente alcanzable, especialmente cuando uno piensa que en el caso de una nave espacial no es necesario tratar de rebajar el coste del motor a un valor tan mínimo como el que requiere una central generadora económica. Para el Tsiolkowsky, el Goddard y otras naves hermanas, los tiempos de navegación correspondientes serían de unas tres semanas para el viaje L5-órbita baja y de algo más de una semana para el trayecto contrario: aproximadamente lo que lleva cruzar el Atlántico en un navío de tamaño medio. Las diferencias en el tiempo de viaje provienen del hecho de que el motor sería de impulso constante y que a su partida de L5 las naves estarían cargadas de masas de reacción. Esa diferencia se revelaría favorable para los viajeros de salida, quienes gozarían de una velocidad más elevada que la de la tripulación descendente de L5 a la órbita baja. Más tarde, acaso dos decenios después, cuando las necesidades de transporte sean mucho mayores, puede que los ingenieros logren construir baterías solares menos voluminosas. Si consiguen establecer una proporción de una tonelada por megavatio, el tiempo de viaje puede reducirse a poco más de tres días. Otras posibilidades, inclusive la que contempla la emisión de energía por medio de rayos láser o de microondas, han sido asimismo estudiadas. No considero, sin embargo, la vía nuclear, y la razón es clara: si el desarrollo de las comunidades ha de proseguir sin limitaciones durante mucho tiempo no cabe introducir en ellas elementos que impondrían un límite tan pronto como las cifras totales o el transporte global requerido excedieran de un modesto valor. No me parece que tenga sentido proyectar un sistema de transporte espacial en torno a una fuente de energía que tendría que proceder de la Tierra.

Podemos calcular unos límites superior e inferior para el precio del pasaje de ida a L5 en el período de tiempo comprendido entre los años finales de la década de los

noventa y los iniciales del nuevo siglo. El límite inferior resulta de suponer duraciones de circunvalación o ida y vuelta de aproximadamente un mes y costes de nave tres veces mayores por tonelada que los de un avión comercial actual. El total se cifra en unos 6.000 dólares. El coste de la masa de reacción representaría sólo una pequeña fracción de ese total, puesto que sería muy abundante en L5. Un precio aún más bajo podría darse si las naves llevaran una carga completa bien de pasajeros bien en la bodega en ambos sentidos del viaje.

El límite superior es de 30.000 dólares, y resulta de suponer que cada navio debe de tener unos ingresos iguales a su propio coste en el plazo de dieciocho meses. El coste de los billetes en las aeronaves comerciales en los Estados Unidos responden aproximadamente a esta estimación sobre el precio de compra del avión; sin embargo, incluyen los costes de combustible total, los cuales representan una fracción más elevada del coste financiero. Tanto la cifra de 6.000 dólares como la de 30.000 no son sino una pequeña parte de la productividad de un obrero industrial a lo largo de un solo año en el favorable emplazamiento de L5, y probablemente representarían el ingreso de tan sólo unos meses.

Hemos supuesto que Edward, Jenny y coemigrantes aparecen en escena tras los primeros colonos de Lagrangia. Los primeros llegados se habrán enfrentado con condiciones más difíciles y con un medio más limitado, aunque menos duro que el que recibiera a nuestros antepasados cuando el Nuevo Mundo fue abierto a la colonización. No habrá «indios hostiles» y sí, en cambio, abundante comida.

Como ya hemos dicho, en las comunidades la agricultura será intensiva y muy mecanizada. Mediante la programación del cierre y apertura de delgadas pantallas situadas a varios kilómetros en la dirección del Sol, en las zonas agrícolas se disfrutará de largos días estivales libres de nubes y de tormentas. Monótonos, puede decirse, pero un campo de grano no requiere variedad. Las temperaturas se mantendrán siempre relativamente elevadas para que cultivos tales como el maíz, los boniatos, el sorgo u otros de crecimiento rápido puedan ofrecer hasta cuatro cosechas al año^[2]. Los rastrojos y algunos granos se destinarán a la alimentación de pollos, cerdos y pavos, de modo que los colonos puedan gozar de una dieta variada que comprenda carnes de elevado contenido proteínico^[3]. No habrá necesidad alguna de insecticidas o plaguicidas en las Islas, porque la agricultura será iniciada con semillas cuidadosamente inspeccionadas procedentes de la Tierra. El suelo lunar inicial será estéril y no se introducirá en él sino agua, abono químico y las cepas de bacterias necesarias para favorecer el crecimiento de las plantas.

Aunque el ganado bovino puede resultar demasiado exigente en espacio y poco eficiente en la transformación de vegetales en carne como para ganarse un puesto en el mundo espacial, persistirá una buena razón para introducir una pequeña partida de vacas lecheras: los niños seguirán necesitando de su producto.

En los pueblos de las Islas ha de haber insectos, quizá mariposas, que puedan servir de alimento a las aves, pero no hay por qué contar con mosquitos, cucarachas o

ratas, por ejemplo. Las ropas espaciales descritas por Edward y Jennie pueden ser ligeras, pues el ambiente en que se viva estará libre de extraños climáticos. No habrá «grandes espacios abiertos», pero tampoco disfrutaran de ellos los habitantes de las latitudes septentrionales de la Tierra, que deben pasar largos inviernos casi siempre en interiores.

Al tratar de imaginarnos cómo será la vida de los primeros colonos hemos de parar mientes en una de nuestras necesidades más enraizadas en nosotros como seres humanos sanos: la de sentirnos valiosos, de que nuestro esfuerzo y trabajo son necesarios y apreciados. En Isla Uno todos tendrán la sensación de que su actividad es necesaria e importante; no habrá desempleo. Es probable que los residentes tempranos creen comunidades estrechamente unidas y que sus pueblos desarrollen identidades peculiares, aunque sólo queden entre sí a unos pocos minutos de viaje.

Muchas de las diversiones de las comunidades primeras serán como las que cabe esperar en cualquier pequeño establecimiento humano próspero en la Tierra: buenos restaurantes, cines, bibliotecas, acaso pequeñas discotecas. Con todo, algunas cosas serán del todo diferentes: no habrá automóviles y tampoco polución; los desplazamientos se harán a pie o en bicicleta. Para cuando sea construida la primera Isla Dos puede que sea posible contar con algo más que el pequeño río imaginado para Isla Uno: con un lago; con inagotable energía solar al alcance de la mano, el lago puede rodearse de playas bañadas por olas acaso lo suficientemente grandes como para que permitan la práctica del surf sobre sus crestas.

LA COLONIZACIÓN DE LOS ASTEROIDES

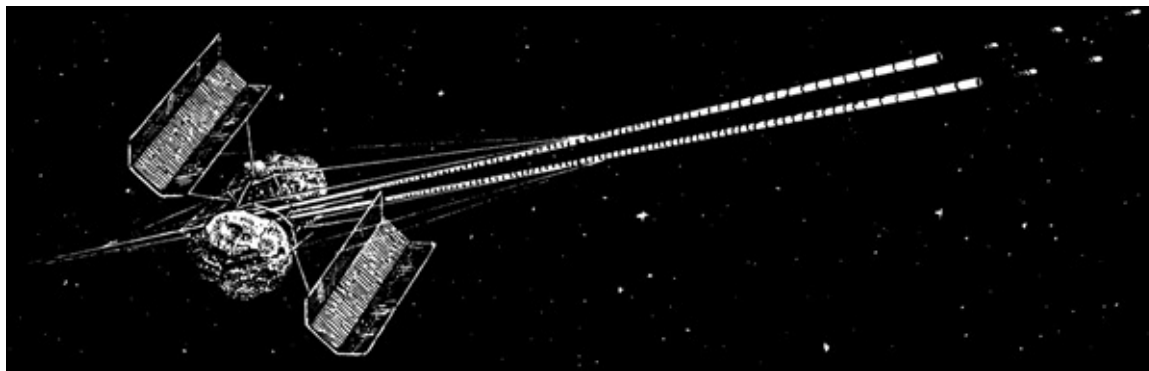
Nuestra capacidad de enviar personas al espacio y de mantenerlas en él en buenas condiciones de salud alcanzó su límite con el proyecto Apolo. Los sistemas para el sustento de la vida humana desarrollados para aquella aventura fueron capaces de mantenerla durante dos semanas, suficientes para una rápida incursión en la Luna, unos pocos días de exploración en la misma y el viaje de retorno. El Proyecto Skylab de principios de la década de los setenta extendió el límite temporal de la permanencia de astronautas en el espacio hasta los tres meses, pero mucho más cerca de la Tierra, en órbita baja^[1].

El mantenimiento de la vida durante un período de muchos meses, necesario para un viaje con destino a los asteroides, no presenta en principio problemas nuevos; sin embargo, faltan al respecto consideraciones detalladas de ingeniería. Debiéramos suponer, por tanto, que las primeras comunidades espaciales serán construidas enteramente con materiales procedentes de la Tierra y de la Luna. A medida que aumente el número y tamaño de las islas del espacio se incrementará asimismo la demanda de materiales necesarios para proveerlas, lo cual representará un poderoso incentivo para la prospección de los recursos asteroidales en lo tocante a carbono, nitrógeno e hidrógeno, aunque es probable que durante largo tiempo todos los demás elementos sean obtenidos de la superficie lunar.

Antes de haber traído a la Tierra las muestras lunares del proyecto Apolo no habría sido posible propuesta alguna seria sobre la colonización del espacio. De igual modo, sólo en los últimos años nuestra información sobre la composición de los asteroides ha pasado de una fase meramente especulativa a otra de certidumbre casi total. El aumento de nuestros conocimientos al respecto se debe al desarrollo de tres nuevas técnicas^{[2] [3]}: la medición con gran resolución de la longitud de onda de luz solar reflejada en un asteroide, en el espectro visible y casi infrarrojo (espectrofotometría); la medición de la polarización de la luz solar reflejada por un asteroide (polarimetría), y la medición de la radiación infrarroja emitida por un asteroide (radiometría). Los dos últimos métodos se combinan para obtener una medida del diámetro y coloración media (clara u oscura) de cada asteroide, mientras que el primero es hoy tan avanzado y complejo que es posible reconocer los espectros característicos de un mineral determinado en la luz reflejada por un asteroide en particular.

Más del 90 % de los asteroides se clasifican como «carbonáceos condriticos» o «rocoso-férreos», clases correspondientes a grupos de meteoritos hallados en la superficie de la Tierra. El material carbonáceo no es muy distinto de las pizarras bituminosas y presenta, por tanto, gran riqueza de hidrógeno, carbono y nitrógeno; suele ser blando y quebradizo y puede ser fundido a baja temperatura. Es probable

que por esta razón no sean muchos los meteoroides carbonáceos que sobrevivan a su violento paso a través de nuestra atmósfera. En el ambiente mucho más benigno del cinturón de asteroides existe, en cambio, una cantidad mucho mayor de material carbonáceo y, así, se tienen pruebas fehacientes de que la mayoría de los asteroides son de esta naturaleza, incluidos los dos mayores de esos planetas menores, Ceres y Palas, con diámetros respectivamente equivalentes a un tercio y un séptimo del de la Luna.^[4]



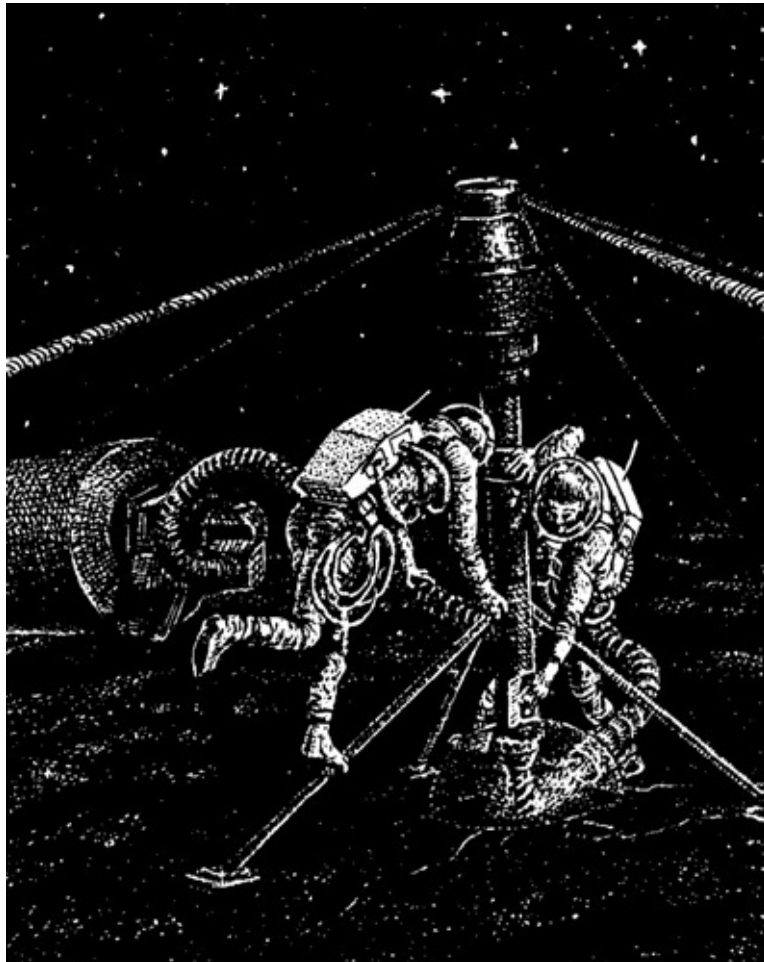
Recuperador de restos de asteroides.

El intervalo de energía entre los asteroides y L5 es casi el mismo que entre L5 y la Tierra. Para el técnico en cohetes ese intervalo energético se expresa por los cambios de velocidad necesarios para variar el radio orbital e inclinar el plano de la órbita. Los planetoides situados en el cinturón asteroidal, más allá de Marte, se mueven en sus órbitas con relativa lentitud. La Tierra, más cerca del Sol y por consiguiente más fuertemente atraída por éste, debe desplazarse con mayor velocidad para no verse llevada más al interior del campo gravitatorio del astro rey. La diferencia media es de seis kilómetros por segundo, y debe ser compensada en el curso de todo viaje a o desde un asteroide. Otros cambios de velocidad deben ser efectuados asimismo para acomodarse a la excentricidad (no circularidad) de la órbita asteroidal. La mayoría de los asteroides orbitan en planos inclinados con respecto al de la Tierra (el nuestro recibe el nombre de «plano de la eclíptica»). Por cada dos grados de diferencia de ángulo debe realizarse un cambio adicional de velocidad de aproximadamente un kilómetro por segundo. Si investigamos en la lista de asteroides en busca de aquellos que presentan órbitas favorables y calculamos el intervalo total de velocidad que los separa respectivamente de L5, la respuesta se cifra en casi todos los casos en cerca de diez kilómetros por segundo. El intervalo de velocidad entre la superficie de la Tierra y L5 es sólo ligeramente superior.

Aunque estos intervalos de velocidad entre L5 y la Tierra, por una parte, y L5 y los asteroides por otra, son casi idénticos, dos serán por lo menos los incentivos de la obtención de carbono, nitrógeno e hidrógeno en estos últimos. En el espacio profundo no será necesario contar con poderosos impulsos ni con naves especialmente reforzadas para proteger la carga durante su breve paso a través de la atmósfera terrestre. A la larga, los ahorros comportados por esas libertades adicionales

inclinarán seguramente la balanza de costes de transporte en favor de los asteroides. Y cuando se produzca esa decantación se habrá conseguido evitar asimismo lo que, de otro modo, representaría una grave carga para la biosfera de la Tierra a causa de la frecuencia de vuelos de cohetes en el interior de su atmósfera. Eventualmente, es probable que el transporte hasta órbita baja y de ésta a L5 sea necesario sólo para personal y para determinados productos especiales, en particular aquellos de poco peso pero que sólo pueden ser fabricados por especialistas hallados entre la ingente población de nuestro planeta.

El lapso de tiempo hasta que pueda tener lugar la explotación de los materiales asteroidales puede estimarse en base a la duración del proyecto Apolo. En este caso fueron necesarios unos ocho años para progresar desde los primeros vuelos orbitales en torno a la Tierra hasta los de circunvalación alrededor de la Luna, mil veces más alejada. Para alcanzar los asteroides será económicamente aconsejable disponer primero de una instalación bien establecida en L5. Las primeras comunidades espaciales productivas pueden suministrar como subproducto de su industria la masa de reacción necesaria para los ingenios propulsores. Esas comunidades pueden servir asimismo a modo de astilleros para las naves del espacio profundo. Por contra, un viaje a los asteroides que se iniciara desde la Tierra requeriría varias veces más energía que en el caso de partir de L5; al mismo tiempo exigiría vehículos adecuados para un lanzamiento de precisión desde la superficie planetaria en condiciones de fuerte gravedad. Si la construcción de una nave destinada a los asteroides se inicia pocos años después de que haya sido establecida la primera de las comunidades de L5, la aventura humana en los planetas menores podría emprenderse a los ocho años de la inauguración de Isla Uno. Sería precedida de varias pruebas de bajo coste y automatizadas, es decir, sin tripulantes, de modo que los primeros viajeros partirían ya hacia un destino del que se sabe que contiene precisamente aquellos elementos que se desea obtener. La situación es, pues, muy distinta de la que supone la prospección un tanto aleatoria de los campos petrolíferos terrestres; podemos saber más acerca de la composición de un asteroide a cientos de millones de kilómetros de distancia, sin llegar a perforar en su superficie, que acerca de la Tierra a mil metros de profundidad por debajo de nuestras plantas. En el espacio quedan excluidas las prospecciones al azar en busca de un golpe de suerte.



Minería en asteroide.

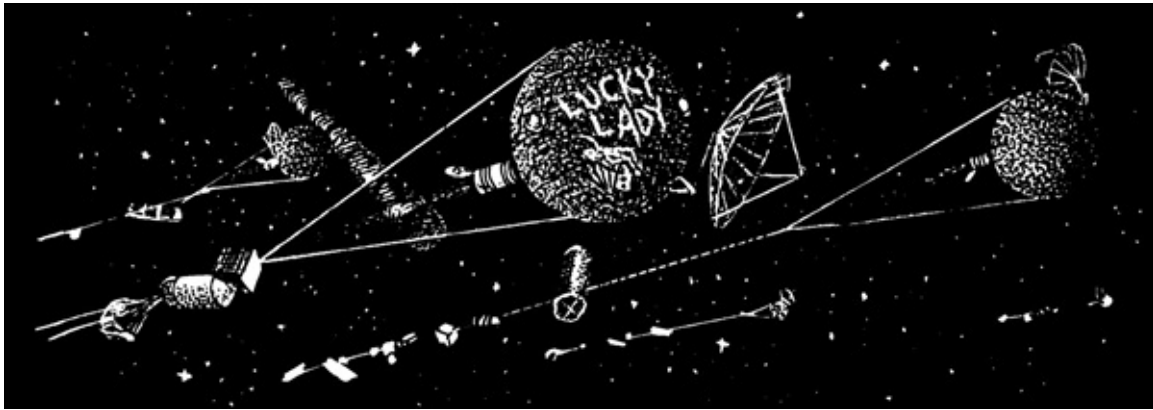
En cuanto a la economía, nuestro sistema de transporte debiera resultar análogo al más barato existente en la Tierra: un remolcador y una ristra de chalanas. En el espacio, donde no hay resistencia debida al aire, podríamos practicar aún otra clase de ahorro: el remolcador sería necesario sólo al comienzo y al final de cada viaje, mientras que durante los largos meses de la órbita que media entre la fuente asteroidal y la región de L5, la carga, en forma de tanques de amoníaco y de hidrocarburos, podría viajar sin la asistencia de tripulantes.

Como los remolcadores de la Tierra, el nuestro consistiría principalmente en un motor y no sería muy hermoso. Un diseño conservador sería el basado en una versión más larga del impulsor de masas usado en la Luna. Podría ser de varios kilómetros de longitud si contara con una estructura de soporte semejante a la que componen las vergas y obenques de un gran velero. La estructura podría ser más ligera si la carga fuera distribuida a intervalos a todo lo largo del motor, porque el impulso de éste sería distribuido asimismo a todo lo largo de su eje longitudinal. Podría ser accionado por células solares fotovoltaicas de peso muy leve, asistidas por grandes espejos de igual condición que concentraran la débil luz solar de la órbita distante. Los componentes eléctricos activos del transportador de masas podrían ir encerrados en un largo y delgado tubo de aluminio con una presión de oxígeno equivalente a la propia en una montaña de la Tierra; ello haría posibles los trabajos de mantenimiento

y reparación de aquellas unidades susceptibles de originar averías, sin los inconvenientes y la pérdida de eficiencia implícitos en la necesidad de valerse de un traje espacial.

Habría compartimentos habitacionales para seis u ocho personas, suficientes para el establecimiento de tres turnos de guardia como se acostumbra, por ejemplo, en las naves que surcan la mar. Se contaría asimismo con una pequeña planta procesadora química, suficiente para formar masa de reacción a partir de escorias o desechos asteroidales. En conjunto el remolcador podría tener una masa de unos pocos millares de toneladas, comparable a un gran rompehielos transoceánico en la Tierra. La carga, en forma de grandes depósitos de agentes químicos, podría ser equivalente a la que transporta actualmente un petrolero. Tras varios meses de constante arrastre, la carga habría adquirido la velocidad necesaria para acceder a una órbita de L5. Seguidamente el remolcador se desprendería para regresar a su lugar destacado en la base asterpidea. La tripulación gozaría entonces de un período de descanso mientras otra, de refresco, atendía al siguiente viaje. Entretanto, la carga progresaría silenciosamente en dirección al Sol en un vuelo de dieciocho meses de duración que la llevaría a las proximidades de L5 y al encuentro de otro remolcador previsto para el cambio final de velocidad de acercamiento.

Los remolcadores de la Tierra, incluso expuestos a la acción de las tormentas y de daños varios, duran a menudo hasta cincuenta años. Y ha sido uno de los fenómenos más sorprendentes en los primeros años de la experiencia espacial que los satélites han venido a durar por lo común mucho más de lo previsto en su concepción y diseño. Para los remolcadores propulsados por impulsores de masas y destinados al cinturón de asteroides, que operarían en ausencia de elevadas temperaturas y de esfuerzos de compresión, el tiempo de vida sería aún mucho más largo. Probablemente serían retirados más por antigüedad de diseño que por desgaste. Los costes de transporte desde el cinturón asteroidal, basados en cifras actuales relativas a interés sobre la inversión, amortización y coste de equipamiento aerospacial, se estiman entre menos de un dólar y varios dólares por kilogramo. Eso es mucho más que el coste referido a un superpetrolero de la Tierra, pero mucho menos que los de cualquier sistema de transporte concebible que pueda operar entre la superficie del planeta y L5.



Nave espacial para viajar hacia los asteroides.

Como ha venido ocurriendo con frecuencia cuando hemos estudiado en profundidad las posibilidades estimadas como prometedoras ayudas para el establecimiento de la industria espacial, puede que los asteroides resulten fuentes de materiales aún mejores de lo que se ha previsto. Aunque la mayoría de los planetas menores se encuentra en el cinturón asteroidal, el doctor Brian O'Leary señaló que una clase especial, correspondiente a los asteroides Apolo y Amor, presentan órbitas mucho más próximas a la Tierra. En un estudio NASA-Ames fechado en 1977, O'Leary reunió a varios expertos sobresalientes en la medición de asteroides y en teoría orbital. Calcularon y describieron proyectos detallados para la recuperación de asteroides específicamente conocidos de la clase Apolo-Amor usando aparatos accionados por impulsores de masas. Su técnica hacía uso de «apoyo gravitacional», de una manera que resultaría francamente espectacular: tras el acoplamiento con el asteroide, la tripulación del remolcador dirigiría su aparato de tal manera que el asteroide fuera afectado por la gravedad de un planeta como Venus o la Tierra, con lo que su velocidad cambiaría tanto por la gravedad del planeta como lo haría tras meses o años de estar sometido al efecto del impulsor de masas.

Con ayuda de esa técnica de apoyo gravitacional, ya probada con éxito en misiones de exploración orientadas hacia los planetas exteriores, parece que algunos de los asteroides se habrían de revelar mucho más accesibles que hasta los del cinturón principal, y que incluso desde un punto de vista estrictamente económico pueden superar a la Luna en rendimiento. Es mucha la materia prima asequible: hasta el más pequeño de los asteroides que vemos en nuestros telescopios posee una masa de más de un millón de toneladas.

En cierto momento del desarrollo de las comunidades de L5, el comercio entre las islas del espacio empezará a prevalecer sobre la economía «colonial» de intercambio con la Tierra. Hemos sido testigos de semejante transición en las colonias de las Américas, África y Australia. Y parece probable que para toda comunidad nueva cuyo propósito prioritario es la acomodación y mantenimiento de su población más que el suministro a L5 o a la Tierra, las consideraciones económicas propiciarán su construcción sin envío previo de materiales, es decir: en el propio cinturón de asteroides.

El equipo necesario para construir un nuevo hábitat podría ser enviado a los asteroides desde L5 o fabricado en la misma región asteroidal. Con dicho equipo sería posible construir nuevos hábitats con materiales fácilmente obtenibles; tan pronto como los hábitats quedaran dispuestos, su población podría trasladarse a ellos y ocuparlos bien procedente de L5 o de la Tierra. El ahorro en costes de transporte sería así considerable. El peso de los habitantes que fueren a establecerse en un nuevo hábitat equivaldría tan sólo a una cincomilésima parte del peso del propio hábitat. Y, una vez más, el material disponible es extremadamente abundante; para construir una colonia del tamaño de Isla Dos, para una población de más de cien mil personas, bastaría un pedazo de asteroide del tamaño de varias manzanas de casas: una mera mota en el margen de visibilidad desde la Tierra.

Una vez en marcha, la comunidad espacial sería plenamente capaz de moverse, de manera pausada, hacia cualquier otro punto del sistema solar. Para hacerlo de manera que resultara económica desde el punto de vista del consumo de masa de reacción, habría que contar con una tecnología actualmente estudiada pero no realizada aún a nivel de ingeniería práctica: se trata de la aceleración de pequeñas partículas o granos de materia sólida mediante fuerzas electrostáticas. El motor de propulsión iónica, dispositivo creado y ensayado ya con miras a incursiones científicas de prueba en el cinturón asteroidal, opera según el mismo principio; la diferencia estriba solamente en el tamaño de la partícula acelerada. El motor iónico aceleraría partículas más bien del orden de un grano de polvo.

Hasta que, en los últimos años, no se cursaron los intensivos estudios teóricos sobre el impulsor de masas, no se habría pensado que éstos pudieran ser serios competidores de los impulsores iónicos en misiones de largo alcance. Actualmente se piensa que, en efecto, un impulsor de masas podría revelarse del todo eficaz en la difícil tarea de mover un hábitat completo a lo largo de una gran distancia dentro del sistema solar.

En el curso del desarrollo de los cohetes químicos, las velocidades de expulsión de gases han aumentado constantemente. A mayor velocidad de escape, menos combustible es necesario llevar para una tarea determinada. En el caso de un motor iónico o de propulsión de partículas, sin embargo, no siempre es deseable una gran velocidad. La velocidad de un ion, en el caso de un motor cuyos parámetros permitan un fácil manejo, es tan elevada que el rendimiento se ve limitado por la energía eléctrica disponible. Si reducimos a la mitad la velocidad de expulsión de un motor iónico, la masa de reacción necesaria para realizar la misión en el mismo tiempo se duplica, pero la energía eléctrica precisa pasa a ser la mitad de su valor previo. Para un fin dado existe una velocidad de expulsión óptima, justo lo suficientemente alta como para que el consumo de masa de reacción no sea intolerable, pero no demasiado, con objeto de minimizar la energía eléctrica que requiere el motor.

En el caso de trasladar una isla en el espacio, la velocidad de expulsión óptima es de cinco a diez veces la de un cohete químico, siempre que la tarea asignada consista

en desplazar la comunidad desde el cinturón de asteroides hasta las proximidades de L5. Para semejante velocidad, la cantidad de masa de reacción usada en el viaje sería de sólo la cuarta parte de la que integra el hábitat. Sería obtenida en el transcurso del viaje procesando una carga de escombros asteroidales, posiblemente por vía de una simple operación de trituración y cribado. La duración de vida de una comunidad sería indefinidamente larga, siempre que siguiera habitada y objeto de mantenimiento; en una escala de tiempo de por lo menos varios miles de años, no parece irrazonable el dedicar treinta a un cambio de emplazamiento. En base a los costes actuales en el terreno de los turbogeneradores^[5], la instalación de suministro energético para semejante empresa sería financiada so-re un capital de 25.000 a 60.000 dólares por habitante; ciertamente una cifra nada exorbitante. En el último capítulo de este libro describiré precisa-mente hasta dónde podría llegar una comunidad si le diera por emprender una prolongada excursión. Por el momento baste señalar que la elección de emplazamiento puede efectuarse mediante voto emitido por los habitantes, y que el resultado puede que no siempre sea el de regresar a L5. Cualquier órbita situada dentro del enorme volumen del sistema solar, a una distancia incluso superior a la de Plutón, podría alcanzarse en menos de setenta y cinco años; en el seno de semejante esfera siempre sería posible obtener una intensidad de luz solar terranormal mediante la adición de ligeros espejos concentradores al sistema de fotoreflexión anexo ya ordinariamente a cualquier hábitat. Una comunidad o un grupo de comunidades que desearan llevar una vida tranquila y pacífica, puede que optaran por no retornar hacia la Tierra sino, más bien, por dirigirse «hacia el otro lado», hacia una órbita privada desde la que la interacción con la población cercana a la Tierra fuera, como máximo, mediante comunicación electrónica.

Debiéramos darnos cuenta de que la humanización del espacio es totalmente contraria en espíritu a cualquiera de los clásicos conceptos de Utopía, en el meollo de cada una de los cuales, inclusive las comunas modernas, ha habido siempre dos ideas muy diferentes y aun conflictivas: huir de la Interferencia exterior y una férrea disciplina en el seno de la comunidad misma; libertad y constreñimiento.

La huida de toda interferencia externa será una de las opciones abiertas a cualquier comunidad espacial, a menos que se produzca una intervención militar que lo impida: siempre existirá la posibilidad de «levantar el campo» y trasladar el hábitat a una órbita nueva, distante del origen de la interferencia. La historia nos ofrece numerosos ejemplos de grupos, entre ellos nuestros propios Padres Peregrinos, a quienes se les ha permitido huir de situaciones coercitivas. Por lo común, quienes prefieren permanecer en el mismo sitio justifican tal tolerancia con expresiones que más o menos vienen a decir: «Estaremos mejor sin esos intrigantes». A diferencia de las Utopías clásicas, las comunidades del espacio pueden evadirse de situaciones indeseadas con mayor facilidad. Aquí, en la Tierra, las posibilidades de evasión son limitadas, pues una comunidad que busca el aislamiento se ve forzada por el clima y

por la escala de las distancias a formar parte de un sistema de distribución de unos pocos millares de kilómetros de extensión. Efectivamente, una de las características menos agradables de la vida industrial moderna es que las diferencias regionales tienden a ser eliminadas por las enormes presiones económicas en favor de la uniformidad. Las diferencias entre pueblecillos de países separados son ahora mucho menos notables que hace una generación; y algo se ha perdido en esa transición.

Los enclaves comunales de la América del siglo XIX, los Shakers, los Menonitas, los Holandeses de Pennsylvania, la Comunidad Oneida y otros, constaban casi indefectiblemente de grupos unidos internamente por un plan inmutable y convenido acerca de cómo había de regir cada individuo su vida particular y social. Quienes han vivido algún tiempo en las comunas modernas y han retornado luego a la sociedad común nos dicen que, pese a que los códigos de comportamiento de esas organizaciones pueden diferir de la norma con respecto al mundo exterior, en su interior cuentan con normas de estricta observancia y cabal cumplimiento. Ello no debiera sorprendernos; una comuna es similar a un pueblo pequeño y aislado, y, como cualquiera que haya vivido en uno de ellos podrá confirmar la presión social es allí casi siempre mucho más fuerte que en el anonimato de una gran ciudad.

En contraste, y deliberadamente, no he dicho nada acerca del gobierno de las comunidades espaciales. Y buena es la razón que me asiste: no deseo influir ni dirigir, ni siquiera en el caso de que pudiera hacerlo, la organización social y los detalles de vida de las comunidades. Carezco de receta de gobierno o convivencia social y me parecería abominable aventurar siquiera una definición. En mi opinión no puede existir verdad alguna «revelada» acerca de la organización social; en cualquier situación saludable no puede haber más que las opciones de diversidad y experimentación. Entre las comunidades espaciales puede que haya algunas en que gobiernos restrictivos traten de imponer el aislamiento, al igual que ocurre con algunos países de la Tierra. Otros, es de esperar que sean la mayoría, permitirán los viajes y la intercomunicación. En el breve lapso de veinte años, en el curso de los cuales el viaje transatlántico ha pasado de hecho insólito a lugar común, hemos visto cuán importante ha sido para la transmisión de experiencias entre uno y otro país, especialmente para la fraternidad de los jóvenes. Lógicamente, si el transporte entre las comunidades resulta tan barato como ahora se prevé, las comunicaciones entre una y otra serán mucho más frecuentes que entre las naciones de la Tierra, y las gentes podrán formar sus propias opiniones, en base a la observación directa, sobre qué constituye un experimento feliz o no en materia de gobierno. Con energía libre para todos, materiales disponibles en gran abundancia y movilidad a todo lo largo y ancho del sistema solar para cualquier comunidad, habrá de ser más difícil en el espacio de lo que es en la Tierra que un gobierno malogrado arguya que su fracaso se debe a inevitables circunstancias de ubicación y recursos.

Existe aún una profunda diferencia entre todos los intentos históricos en pos de Utopía y la humanización del espacio. Las comunidades del pasado se formaron en

torno a nuevos logros sociales, pero tomaron su tecnología del mundo circundante. Algunas eligieron incluso una dotación tecnológica más primitiva o más restringida que la que ofrecía el ambiente. En forma extrema, esta tendencia se aprecia en la prohibición, existente en algunas de las sectas utópicas de hoy, de servirse para la vida cotidiana de instrumentas y herramientas más avanzados que los asequibles en el siglo XIX.

La razón de esta restricción, por lo común claramente expresada y comprendida, es la necesidad de evitar toda «contaminación» de la ética social utópica por el contacto con el mundo exterior. Los dirigentes de esos enclaves reconocen que su organización social es inestable, y que sólo puede mantenerse gracias al aislamiento. Generalmente el «peligro» para el mantenimiento de esa situación inestable reside en el hecho de que la gente joven de su interior aprenderán y conocerán las opciones adicionales existentes fuera de su confinamiento e insistirán en sus deseos de disfrutar de ellas.

Comparto con muchos cierta medida de admiración por algunos de esos grupos utópicos que han sido capaces de conservar su identidad y valores peculiares a lo largo de varias generaciones de rápidos cambios. Quienes entre nosotros pudiéramos habernos sentido tentados, mediada la década de los cincuenta, a sentir cierta conmiseración por la estrechez de horizontes permitidos a algunos de los jóvenes de esas comunidades, seguro que pensamos de manera diferente diez años más tarde al constatar la epidemia de drogas y confusión que se había extendido entre muchos de los jóvenes del mundo exterior a aquéllas. Puede que entre esas sectas primitivistas las haya asimismo libres de tabúes antitecnológicos, que encuentren más fácil conservar su identidad mediante el restablecimiento en una colonia espacial antes que permaneciendo en la Tierra. La humanización del espacio no es, no obstante, plan utópico alguno: el contraste se da entre ideas sociales rígidas y tecnología restringida, por parte de las Utopías y comunas, y la apertura de nuevas posibilidades sociales que deben ser determinadas por los propios habitantes de las comunidades espaciales con ayuda de una tecnología básicamente nueva.

Se puede teorizar, con ciertas pruebas, que como resultado de las opciones individuales que llevaron a los grandes movimientos históricos de colonización en la Tierra, existen hoy algunas diferencias sutiles, pero no menos ciertas, en cuanto a la actitud general frente a los cambios y al proseguimiento de los movimientos migratorios, tanto de los países del Viejo como del Nuevo Mundo, o entre las naciones antiguas y las que fueran colonias. En Estados Unidos, en Canadá, Alaska, Australia y otras antiguas colonias, puede que se constate una mayor inquietud, un mayor deseo de viajar y cambiar que en aquellos otros países o poblaciones descendientes de gentes que prefirieron permanecer en su solar antes que emigrar. Entre los miles de cartas que he recibido acerca de la colonización del espacio, un número fuera de toda proporción proviene de países que antaño fueran colonias. Y ya a juzgar por numerosas misivas donde se expresa el deseo personal, no de buena

ventura, sino de participar activamente en la gran empresa, cabe colegir que los primeros colonos del espacio serán gentes de gran espíritu emprendedor y entusiasmo: inquietos, curiosos, independientes, inquisitivos, probablemente más poseídos de «descontento creativo» que sus semejantes en el Viejo Mundo.

En el espacio, donde la energía solar gratuita y libre y las óptimas condiciones para la práctica de la agricultura serán asequibles a todas y cada una de las comunidades, no importa cuán pequeña pueda ser, será posible que determinados grupos opten por su «propia idea de sociedad» y establezcan pequeños mundos propios, independientes del resto de la población humana. Podemos imaginarnos una comunidad compuesta por tan sólo unos pocos centenares de personas que compartan un gran entusiasmo por una nueva forma de gobierno o por la música o por cualquier otra de las áreas artísticas, si no por algo menos esotérico: desnudismo, deportes acuáticos o el esquí. Entre los nuevos experimentos en la creación de sociedades habrá, qué duda cabe, fracasos. Otros, en cambio, acaso triunfen; puede ser, entonces, que esos laboratorios sociales independientes nos enseñen al resto cómo debemos reajustar nuestra ordenación aquí en la Tierra, donde la elevada tecnología ha de adaptarse a la rigidez de los agrupamientos humanos a gran escala.

Tal como ocurriera durante la colonización del Oeste Americano y de Alaska, cuando la población de L5 alcance un número considerable, puede que algunos de los pioneros sean de la clase que dice: «Se está poniendo demasiado abarrotado, ¡vayámonos a otro sitio!» Estos pueden ser quizá los individuos más interesantes y productivos. Acaso deseen una independencia más completa y decidan emprender su propia empresa colonizadora individual, como hicieron nuestros bisabuelos decimonónicos en las llanuras americanas.

Así pues, consideremos cómo podría llevar a cabo una familia pionera un proyecto colonizador. Aunque los detalles serán seguramente distintos a los que yo ofrezco, cada una de las posibilidades que cito se basa en resultados de cálculo o en el análisis de situaciones análogas acaecidas en la Tierra. Va en forma de fragmentos de diario escrito quizá en los primeros años del siglo venidero. Y ello responde asimismo a una circunstancia análoga: una de las reliquias de mi familia, conservada durante el transcurso de cinco generaciones, es un libro escrito por una anciana señora que, en su tiempo, debe de haber sido algo terrible. A sus ochenta años escribió en verso un relato sobre la vez que, con sus siete hijos, atravesó en una caravana las vastas llanuras de América. La pequeña banda se las vio con toda clase de peligros, que ciertamente no encontrarán los colonos espaciales: indios hostiles, nieves, tormentas climatológicas de todo tipo y raciones magras.

«Querido Stephen:

»15 de julio de 20...: Tu madre y yo vamos a ir anotando un recuento de experiencias de viaje que complementen las fotografías que no dejamos de tomar en ningún momento. Más tarde, cuando seas suficientemente mayor para leer e interesarte por las cosas, sabrás de qué manera pasaste a ser un joven poblador del

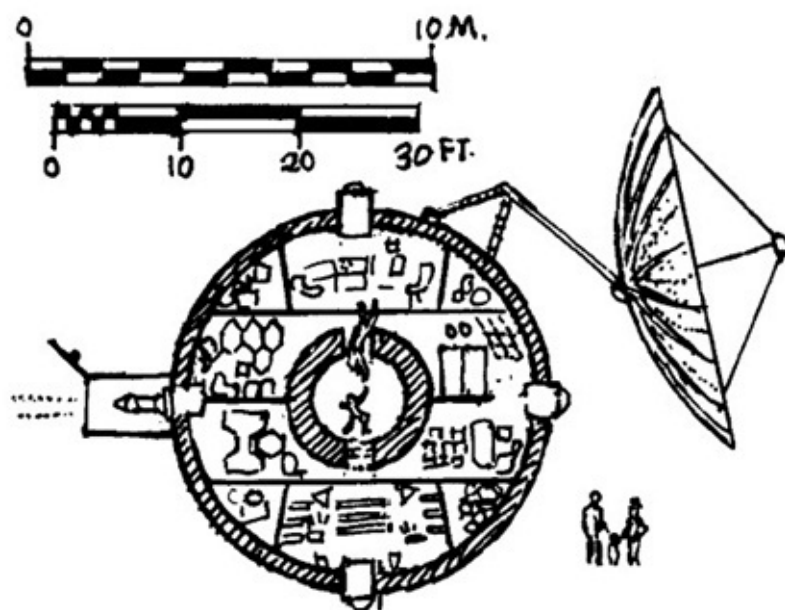
cinturón de asteroides.

»Han pasado cinco años desde que me uní a la Asociación de Constructores de Naves Espaciales Experimentales. Contamos con un activo capítulo de la misma aquí en Bernal Gamma, y varios de los asociados trabajan conmigo en la construcción.

»Si nos encontráramos en la Tierra ahora y nos diera por pensar en emprender viajes por el espacio, dirían que estamos locos. Una nave espacial que pudiera elevar su propio peso y pasar, con la precisión de fracciones de segundo, por todas las secuencias necesarias para despegarse del planeta, sería mucho más complicada y cara que cualquiera que pudiera construir un artesano.

»Aquí, en cambio, todo es diferente, y las posibilidades de emprender viajes particulares son mucho mayores. Nuestra nave del espacio jamás requerirá de grandes fuerzas y el motor puede, por tanto, ser de reducidas dimensiones; además, no nos importa que nos lleve algún tiempo llegar a destino.

»Con lo que hemos ahorrado y con la venta de nuestra casa en Gamma pudimos emprender la aventura con unos 100.000 dólares. He estado trabajando en la construcción de naves durante los últimos tres años y seguiré haciéndolo cuando lleguemos a los asteroides, de modo que todavía estará a la vista cuando seas suficientemente mayor para recordar cosas. La Lucky Lady es una esfera de unos tres pisos de altura, hecha de aluminio porque es fácil de soldar. La he estado construyendo en el puerto de yates, cerca de los embarcaderos de Gamma, y hemos comprobado todas las juntas con equipos de rayos X que nos han prestado en el trabajo. Junto a la Lady, en el apostadero, se encuentran tres o cuatro más de su clase; Chuck y Bill y otros se unirán a nosotros formando una especie de “caravana” de cinco unidades, de modo que si alguno de nosotros tropieza con dificultades antes de llegar a destino, siempre podrá contar con ayuda cerca. Entre los cinco hemos comprado un motor completo, muchas piezas de recambio y herramientas específicas. Cuando lleguemos al cinturón de asteroides podremos unirnos para emprender tareas de mayor envergadura.



Sección del Lucky Lady. La suposición de que un grupo de familias pueda construir en la Tierra su propia cápsula espacial con la que viajar al Cinturón de asteroides pudiera provocar risa. Para las familias residentes en orbitando alrededor de la Tierra es una posibilidad real.

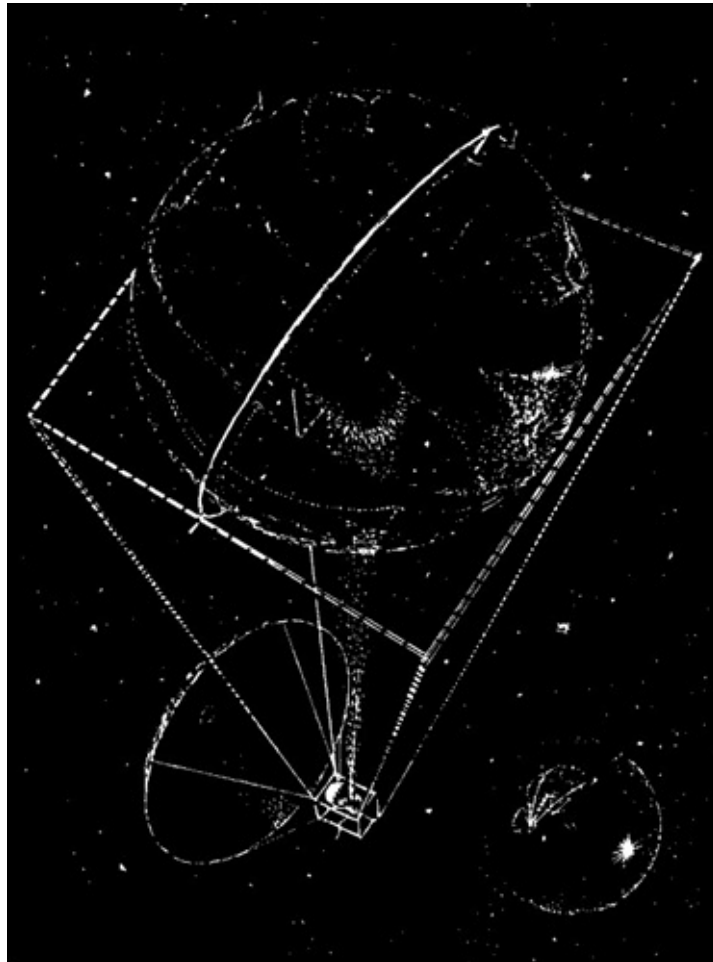
»Nuestros planos salieron, a decir verdad, de Spacecraft and Pilot, y habían sido verificados por ingenieros astronáuticos, así que son fiables. La Lady posee un triple casco de presión, cada capa de un milímetro de grosor, y éstas, individualmente, podrían soportar ya más de la presión que llevaremos a bordo. El casco vacío pesa globalmente unas tres toneladas, y ciertamente su construcción se ha llevado mucho de mi tiempo libre. El apostadero de naves no está sometido a rotación y el trabajo, por consiguiente, se realizó a gravedad cero. Ello me permitió manejar las grandes secciones de aluminio totalmente solo.

»Alrededor del casco hay una capa de arena de unos treinta centímetros de espesor con objeto de protegernos de algunos de los rayos cósmicos y las erupciones solares que pudieran salirnos al encuentro. Más allá de la arena hay una cuarta capa de aluminio, muy fina, cuyo fin es mantener la arena debidamente colocada en su sitio. Como ayuda adicional en caso de que se produzcan erupciones solares, hemos dispuesto asimismo un “refugio antitormenta” fuera de la esfera, en forma de pequeña burbuja de aluminio conectada con la mayor. La protección es ahí mucho más gruesa, de modo que si el temido evento se produce podemos encontrarnos en ella en menos de un minuto y permanecer en su interior durante varios días si es necesario. Los niños son especialmente sensibles a la radiación solar; de ahí que esa burbuja sea a la vez tu “guardería”.

»Compramos nuestros motores del cohete nuevos, de primera mano. Pertenecen a la misma compañía que los fabrica para las pequeñas naves de rescate, y cada uno de ellos proporciona un impulso semejante a su propio peso; una parte importante de nuestra pequeña fortuna se dedicó a su adquisición. Tengo entendido que cuestan lo mismo que un pequeño reactor privado en la Tierra. El sistema vital de regeneración

de aire fue adquirido de segunda mano, reconstruido y certificado nuevamente como apto por la Agencia de la Federación Astronáutica. Ese también salió de uno de los patrulleros de rescate y, la verdad, resultó barato; sé que el Gobierno había pagado mucho más por él, pero me han dicho que actualmente han puesto en servicio modelos más modernos.

»En la Tierra, antes de que tu madre y yo nos trasladáramos aquí, al espacio, yo solía pilotar pequeños aeroplanos y pertenecía a un Aeroclub deportivo. Todo ocurría allí súbitamente, y la navegación en mal tiempo era algo que tenía que hacerse con extremo cuidado. Había que mantener contacto constante con las señales del Omni-Range, atender al direccionador y, además, estar en todo momento dentro de la legalidad en lo que respecta a altitud y demás regulaciones, y había que dirigir el aparato continuamente, de acuerdo con la brújula y el giróscopo. En nuestro viaje desde aquí a los asteroides no habré de preocuparme de nada de eso; no hay clima en el espacio, de modo que podremos ver y saber siempre dónde estamos y adonde nos dirigimos. Contaremos con dos sistemas de navegación. Uno de ellos es tan viejo como la navegación oceánica en la Tierra; se trata del sextante, para medir los ángulos entre los planetas visibles y el Sol. Con ello bastaría, pero disponemos de algo más. Actualmente hay enormes transmisores, situados en las órbitas de la Tierra y de Marte, y no paran de emitir pulsaciones, así que conoceremos nuestra posición sin más que conectar un receptor de radio. En la Tierra también usaban ese truco para navegar por los océanos, y le habían dado el nombre de Loran. Con el manual de posiciones del transmisor y con la tabla de horarios de emisiones podemos determinar nuestra posición con un error menor de una milla, incluso si nos encontramos a veinte mil millones de millas de distancia.



Construcción de una esfera de metal sólido mediante deposición de vapor en el vacío y gravedad cero. Otro ejemplo de proceso industrial impracticable en la Tierra, pero viable en el espacio.

»Nos pasamos un poco con eso de la radio: compramos tres, todas idénticas. Son del tamaño de las usadas normalmente en las avionetas y las utilizaremos para nuestras comunicaciones directas entre las familias que emprendamos el viaje, así como para atender a una clave de Morse que hemos convenido con las dotaciones de los patrulleros. Vamos a seguir un plan de vuelo concreto y tendremos que aparecer “en el aire” cada tres días. Para hacerlo orientaré la gran antena de hoja de aluminio, sirviéndome de un pequeño telescopio para apuntar exactamente al punto de L5 en el que estará situado el receptor.

»1 de agosto de 20...: Los funcionarios de Guardacostas y de la Federación Astronáutica han estado aquí y nos han dado autorización de despegue. Han comprobado nuestra aptitud para hacernos al espacio y el certificado consiguiente (Licencia de categoría R, Construcción casera experimental) y nuestras licencias de radioemisión; también mi permiso como piloto privado (Piloto Privado, Exclusivamente en Espacio Libre, Prohibido el Vuelo en Atmósferas Planetarias). Llevamos a bordo comida para dos años, por si es necesario alargarla, y una enorme cantidad de semillas, peces, pollos, cerdos y pavos. Para iniciar una nueva vida a nuestra llegada hemos invertido la mitad de nuestros ahorros en esferas y cilindros prefabricados, en plásticos aluminizados con propiedades de espejo, en agentes

agroquímicos para nuestros futuros cultivos y no sé cuántas cosas más.

»8 de agosto de 20...: La Lucky Lady, cargada, acorazada y lista para zarpar, ha pesado cerca de 500 toneladas, de modo que no hemos abandonado Gamma ciertamente a toda prisa; de hecho, no llevábamos siquiera la velocidad de un hombre a pie al minuto de nuestro lanzamiento; pero la velocidad ha ido incrementándose gradualmente y, ahora, al cabo de una semana, hemos recorrido ya una distancia mayor que la que separa la Luna de la Tierra. Nos quedan aún unos ocho meses de viaje aproximadamente, casi lo mismo que le llevó a tu tatarabuelo el ir desde Illinois a California.

»10 de octubre de 20...: Hemos tenido más movimiento de lo que hubiéramos deseado estas últimas semanas. En primer lugar la máquina de Bill presentó problemas: no lograba el impulso que quería y su combustible se consumía a pasos agigantados. Esos motores son bastante complicados, sabes, y no pudimos resolver el problema rápidamente por nuestra cuenta, así que optamos por montar un motor de recambio. No era demasiado difícil, la verdad; sencillamente, hubo de aproximar dos de las astronaves, unir las, cerrar las escotillas que aíslan la sala de máquinas, y proceder al cambio en mangas de camisa. A partir de ahora vamos a tener mucho en qué ocuparnos, pues poseemos todos los manuales referentes a los motores y a las piezas que los componen y vamos a intentar reparar por nosotros mismos el fallo del que le hemos cambiado a Bill. Mientras tenía lugar el cambio de máquina nos encontrábamos, por así decir, al paio, o sea sin impulso alguno durante cuatro días. Pero aquí, en el espacio, ello no significa nada. Contábamos aún con nuestra velocidad, y lo único que ha supuesto el contratiempo es que a última hora habrá que hacer un ajuste en la dirección del impulso y esperar un poquito más para atracar.

»Sólo dos días después de haber dado fin a las reparaciones, fuimos alcanzados por nuestra primera erupción solar. Esas cosas se forman en pocos minutos, así que no había tiempo de muchos preparativos. En cuanto sonó la campana de aviso todos nos apresuramos a buscar refugio en nuestro cobijo protegido, donde permanecemos durante tres días enteros. Para entonces el efecto de la erupción se había reducido tanto que con nuestra coraza ordinaria teníamos protección suficiente.

»23 de noviembre de 20...: Te sacamos de tu “guardería” para que pudieras compartir con nosotros la cena del Día de Acción de Gracias: pavo, arándanos en lata y muchos extras reservados para esta ocasión especial. La verdad es que tenemos mucho de que estar agradecidos: al principio hubo algunos resfriados, pero luego todo el mundo ha gozado de perfecta salud... ¡Ah!, y nadie ha sufrido de dolor de muelas. Si conseguimos llegar hasta el Cinturón, donde hay dentistas, habremos superado el mayor problema con que han tropezado antes grupos como el nuestro.

»Hemos venido dedicando la mayor parte de nuestro tiempo a adelantar algunas tareas de construcción. Empezamos, de común acuerdo, por la dependencia colectiva de reunión, que compartiremos las cinco familias, hasta que podamos construir más. Se trata de un cilindro tan grande como la Lucky Lady —en cuanto a volumen— y

tan largo como una manzana de casas. Está formado de hojas de aluminio y hemos podido trabajar en él sin haber tenido que recurrir aún ni una sola vez a nuestros “trajes espaciales”. Ahora nos encontramos en vuelo libre; hemos parado los motores y, así, hemos podido seguir nuestra actividad después de haber atracado el cilindro junto al casco de la nave. Cuando hacía falta llevar algún material o pieza de equipo a determinado punto, sencillamente discurríamos por el interior de la nave hasta la altura deseada y procedíamos a introducir lo necesario por aberturas especiales practicadas en ambos cuerpos con este fin. Me imagino que el conjunto debe de parecerse a una de esas cajas portátiles para el revelado de películas. Los extremos de la dependencia lo forman dos semiesferas de aluminio; al poner la última comprobamos su hermetismo: ¡perfecto! Así que dejamos que el Sol diera en el tanque de oxígeno líquido, que al calentarse y salir por la espita reguladora nos permitió crear en el habitáculo una atmósfera respirable. Todas las naves han atracado ya junto a nuestra obra, y cualquiera de nosotros que desee ir a trabajar a la dependencia colectiva durante un rato, puede hacerlo sin problema alguno: ahí es, precisamente, donde hemos dispuesto nuestra cristalería. Me refiero, claro está, el taller de fabricación de cristal y similares. Las soldaduras, naturalmente, se realizan mejor en el vacío.

«Nuestro primer trabajo de “astilleros” ha consistido en construir los módulos agropecuarios. Cada uno de ellos es un cilindro de tamaño que apenas cabe en nuestro taller de montaje una vez que todas las piezas componentes han sido soldadas. Ahí pensamos disponer asimismo un piso muy ligero de rejilla, por debajo del cual se encontrarán los gallineros y pocilgas. El techo nos presenta más problemas, ya que hemos de prever la entrada de la luz del sol. En las comunidades existentes en L5 resuelven la cuestión disponiendo una malla metálica en cuyos vanos se encuentran las ventanas de vidrio, pero aquí nos tomamos las cosas de manera más llana... y más fácil: contamos con hojas de aluminio prefabricadas en las que aparecen un gran número de perforaciones; pues bien, sellamos cada abertura mediante un disco de vidrio que fijamos con un pegamento especial plástico. Una vez hemos terminado uno de esos módulos bombeamos oxígeno en su interior, soltamos los pernos de sujeción y dejamos que flote adjunto a la nave en el exterior.

»25 de diciembre de 20...: Hoy has vuelto a salir de tu “guardería”, y los veintitrés que formamos la expedición nos hemos reunido para celebrar juntos una espléndida comida de Navidad. Hemos comido jamón y gran cantidad de alimentos congelados; pero el año que viene, con suerte, contaremos con patatas frescas y maíz, y también con tarta de calabaza. Yo había construido algunos pequeños juguetes para ti, y me ha parecido que te dedicabas a ellos con no poco entusiasmo. Sé que no me agradecerás que te lo recuerde cuando seas un poco mayor, pero tu madre está muy orgullosa de que ya puedas decir “mamá”, “papá”, “nave” y “perro”. No creo que la familia de Chuck fuera a parte alguna sin su Snoopy, y si a la perra Maggie le pasa lo que pensamos, te aseguro que nos haremos con uno de sus cachorros para ti.

»10 de mayo de 20...: Parece que no vamos a tener tiempo para escribir por el momento. Hemos estado prospeccionando este último mes y creo que hemos dado con algo bueno. No se podía ver desde la Tierra con un telescopio, pero pensamos que tiene una masa de unos tres millones de toneladas, mucho más de lo que necesitaremos, incluso para el tiempo de tus nietos. Los pequeños espectroscopios que hemos traído nos informan de que es muy rico en carbono (nos fijamos en ese asteroide por su buen aspecto negro), así como en nitrógeno, hidrógeno y muchos metales. Así que habrá que clarear y roturar mucho en adelante, y para cuando seas lo suficientemente mayor para manejar una máquina de soldar serás mi ayudante. Tenemos todo un mundo por construir aquí, Stephen, así que ¡crece de prisa y pon manos a la obra!»

El impulso de la aventura, de ser libre y de llevar una vida totalmente independiente, incluso a costa de tener que trabajar duramente, de soportar peligros y hasta hambre, es tan viejo como la Humanidad y se hallaba fuertemente enraizado en todos aquellos que tomaron parte en el movimiento de colonización de las tierras del Oeste, como se encontrará sin duda en quienes emigren desde L5 en busca de nuevos horizontes. Si le siguiéramos la pista al desarrollo de una colonización en embrión, de la clase que bien pudiera iniciarse con un viaje como el descrito en esa carta, podríamos ver que los pioneros construirían sus hábitats mediante el expeditivo método de la evaporación de un lingote de aluminio suspendido por fuerzas magnéticas en gravedad cero y calentado por la concentración de luz solar. En dos o tres años sería posible disponer de una esfera con una superficie de terreno de varios centenares de hectáreas dedicados a espacios habitacionales y varios más a la agricultura; todo el proceso sería fácilmente controlado por el ama de casa a los mandos de un ordenador instalado en su propia cocina. Una computadora que controlara toda esa producción no tendría por qué ser más compleja que un simple calculador de bolsillo; al fin y al cabo, dentro de unos decenios, un ordenador de los que actualmente se encuentran sólo en determinadas oficinas y laboratorios estará al alcance de cualquiera por un precio no mayor que el de un automóvil. Es casi seguro que las familias de los pioneros del espacio estarán equipadas de semejante recurso.

Si examinamos las tasas de crecimiento, vemos que el pequeño pedazo asteroidal descrito en el diario del colono bastaría para albergar a una población de 10.000 personas, de modo que no habría necesidad alguna de que el pequeño grupo de exploradores buscara nuevas materias primas, por lo menos durante varios centenares de años, incluso si su población se multiplicara al mismo ritmo que en la Tierra.

En nuestro mundo moderno, inquieto por la desaparición de recursos y preocupado por su conservación, nuestra reacción inmediata al saber de una fuente nueva disponible es de considerar medidas para su protección. Cuando describí los recursos del cinturón asteroidal a un grupo de la National Geographic Society, la reacción fue inmediata: «¡Por favor, no toquéis Geographos!» No hay miedo; Geographos es un pequeño asteroide, hoy considerado del tipo ferruginoso, que

debiera verse libre de toda actividad minera.

En el caso de una creciente civilización tecnológica, con cada nueva fuente de materia prima debemos asociar una escala de tiempo. Por ejemplo, si el total de reservas de mineral que pueda hallarse en una «mina» puede durar solamente diez años, pero la nueva tecnología necesaria para explotar esa fuente de recursos llevará aún veinticinco hasta estar totalmente desarrollada, los beneficios posibles apenas bastan para justificar esfuerzo alguno. Antes he señalado que las reservas materiales existentes en el cinturón asteroidal bastan para construir una nueva superficie terrenal 3.000 veces mayor que la de la Tierra. Al efectuar esta declaración mi propósito no era el de estimular un crecimiento correspondiente del total de la población humana, sino el de sugerir que los meros límites materiales no debieran ser usados como justificación para imponer trabas a las libertades humanas. La libertad de que una familia tenga tantos hijos como desee no es ni mucho menos tan importante como la libertad de expresión, de comunicaciones, de viajar, de elección de empleo o del derecho a una educación; pero es muy difícil limitar una libertad sin comprometer las otras. Como ha señalado Heilbroner, en una sociedad mantenida por ley en la condición de estado-estable, la libertad de pensamiento y de investigación resultaría peligrosa y probablemente suprimida^[6].

Con el mismo espíritu, no de animar a un crecimiento insensato, sino de abrir posibilidades que estimulen la apertura, la extensión de la libertad más que su coartación, podemos mirar más allá de los límites del cinturón de asteroides y preguntarnos acerca de los recursos que encierra la totalidad del sistema solar. He sostenido que un ritmo de crecimiento de aproximadamente la décima parte del actual, explosivo, bastaría para establecer la diferencia entre éstasis y cambio; es suficiente para que se haga notar en el transcurso de una vida humana. En las comunidades espaciales este crecimiento podría ir parejo a un correspondiente incremento en la superficie de terreno disponible, en lugar de determinar un apiñamiento como ha ocurrido y ocurre en la Tierra. Para esa tasa de crecimiento moderado los recursos de los asteroides serían suficientes para por lo menos cuatro mil años y para una densidad poblacional semejante a la de nuestro planeta (promediada atendiendo a toda la superficie continental de la Tierra, inclusive el desierto, los Polos y los eriales hoy inhabitables).

Si miramos más allá de los recursos ofrecidos por los asteroides, reparamos en que existen tres tipos más de «yacimientos» minerales dentro del sistema solar, cada uno de los cuales representa cuantitativamente una enormidad: las lunas de los planetas exteriores, las escorias cometarias y los propios planetas exteriores. Por lo que sabemos, esas tres fuentes de materias primas carecen de vida inteligente, y todas, salvo las últimas, nos resultan invisibles a menos que contemos con la ayuda de poderosos telescopios.

Las lunas de los planetas exteriores poseen una cantidad total de materia aproximadamente 10.000 veces mayor que la de los asteroides; los propios planetas,

unas mil veces más. La existencia de estos recursos, además de los que nos ofrece el cinturón de asteroides, significa por consiguiente que incluso sin contar con el material cometario habría suficiente para un crecimiento moderado que nos llevara a límites de unos doce mil años. Cada una de las clases de recursos materiales citadas haría posible, mediante su explotación, que la expansión de nuestra especie se prolongara un millar de años más, mientras que la tecnología necesaria para acceder y aprovechar semejante bonanza no llevaría en su desarrollo más que unas decenas de años. Aunque no lo propugno, debo llegar por tanto a la conclusión de que hay espacio y medios suficientes para un crecimiento ininterrumpido durante millones de años, si así lo deseara la humanidad en algún momento del futuro.

Aunque doce mil años es poco en la escala de la evolución, es mucho en la de las instituciones sociales. Si consideramos un viaje en el tiempo que nos llevara otro tanto en el pasado, llegaríamos a encontrarnos no muy alejados de la Edad del Hielo, es decir, en un momento muy anterior a los más tempranos registros de la historia documentada.

Si tuviera lugar efectivamente ese crecimiento a largo plazo, es tentador el considerar el correspondiente aumento en lo que podríamos llamar «capacidad» o medida del poder de la Humanidad sobre el entorno físico. Sólo cabe conjeturar, pero si estimamos esa capacidad como algo semejante a un producto nacional bruto, acaso podamos hacerla proporcional al propio factor de crecimiento (es decir, al coeficiente de incremento demográfico) y a la productividad (producción por individuo de algún bien mensurable, ya sea material o informacional). Si esta última crece a un ritmo tan bajo como, por ejemplo del 1,5 por ciento al año, y el primero es del 0,2 por ciento anual, el incremento en capacidad total a lo largo de un lapso tan dilatado como doce mil años correspondería a un factor, verdaderamente astronómico, de diez elevado a la potencia Ochenta y ocho. Las implicaciones de ese aumento de capacidad, que admito que es extremadamente especulativo, son fascinantes. Con casi plena certeza implicarían un enorme grado de control sobre el medio ambiente por parte de cada ser humano individual. Diez elevado a la potencia ochenta y ocho es más, por ejemplo, que el número de átomos contenidos en todas las estrellas, planetas y nebulosas de nuestra galaxia.

Evidentemente, pues, es posible en principio que una civilización progrese desde un estado prehistórico a otro de suma capacidad en un lapso de tiempo que es muy breve en términos galácticos: menos de una parte en doscientas mil con respecto a la edad del Sol. ¿Por qué, pues, no ha dejado su marca en la galaxia ninguna «explosión» previa de civilización llegada a una situación de gran poder físico? ¿Por qué no hay faro alguno que ilumine nuestro camino? Puede que el nacimiento de una civilización capaz de migrar al espacio sea extraordinariamente improbable; quizá el estancamiento y la inestabilidad sociales surjan como fuerzas destructoras en toda civilización extraordinariamente poderosa; o acaso, como he señalado antes, con la maduración técnica llegue también la moderación, la empatía, y existan en efecto

civilizaciones galácticas de gran antigüedad que prefieran, por nuestro propio bien, dejar que evolucionemos sin interferencias.

PERSPECTIVAS HUMANAS EN EL ESPACIO

La especulación en torno al futuro constituye un proceso inquietante desde el punto de vista del científico. Este está acostumbrado a hacer predicciones que no pueden ser probadas o desmentidas hasta más tarde, pero las hace sobre la base de experimentos realizados con todo el cuidado y diligencia que le son posibles. Si ha mantenido un nivel profesional suficientemente elevado en su técnica experimental, sabe que la labor futura sólo podrá demostrar su acierto. Cuando el científico pasa a la especulación se desprovee de los instrumentos experimentales que respaldan su autoridad y saber, y sus predicciones no tienen, por tanto, más valor que las de cualquier otro. Aun así, debo inclinarme ahora hacia la conjetura, y lo hago lleno de aprensiones, consciente de que avanzo cada vez más hacia el extremo de un soporte muy precario. Como cualquier automovilista en invierno que intenta mantener por lo menos un par de ruedas sobre pavimento sólido, trataré de que mis especulaciones queden dentro de un marco numérico que, en definitiva, pueda ser calculado.

La historia y la analogía son terrenos sólidos en la traicionera marisma de la especulación. Sabemos que el comercio con el exterior ha constituido la base económica sobre la que han medrado y prosperado las más de las colonias humanas en sus primeros tiempos. Para la viabilidad económica a largo plazo de las comunidades del espacio, esperamos que haya algo que la Tierra pueda comprar en L5 y algo que los residentes de ésta deban importar de la Tierra.



Isla Dos, hábitat para el año 2100, prácticamente forestal, refugio para especies en peligro de extinción.

La necesidad de disponer de energía barata en la superficie de la Tierra, en forma de electricidad transmitida por microondas desde las estaciones solares en órbita, habrá de mantenerse probablemente durante largo tiempo. Incluso si la renta per cápita en el mundo desarrollado queda congelada a determinado nivel, durante varias generaciones más seguirá la demanda creciente de energía en tanto el Tercer Mundo se esfuerza por ganar su libertad económica y ocupar el lugar que le corresponde en la sociedad de naciones. Mientras persista esta demanda, las comunidades espaciales de L5 contarán con un mercado propicio.

La idoneidad de L5 como emplazamiento para la producción y uso de pesados equipos científicos (telescopios, naves de investigación y exploración tripuladas o no, laboratorios para el estudio de las condiciones inherentes a la ausencia de gravedad) debiera proporcionar a los residentes otro sector de comercio con los habitantes de la Tierra.

En mi opinión, la probabilidad de llevar provechosamente productos comercializables a la Tierra desde L5 es mucho más vaga. El hecho supondría una renuncia a la mayor ventaja económica con que contarán las comunidades de L5: su ubicación en la cima de una montaña gravitacional que se eleva a más de 6.000 kilómetros por encima de nuestras cabezas. Con todo, alguna consideración debiera darse asimismo a esta posibilidad. La mecánica de ese retorno de carga ha sido estudiada por Eric Drexler, del Instituto Tecnológico de Massachussetts (MIT), quien llegó a la conclusión de que el envío de productos desde L5 a la Tierra podría realizarse de manera óptima en el interior de contenedores de reentrada hechos de titanio. La idea consiste en recuperar del océano los contenedores y desmenuzarlos para obtener el titanio puro (de gran valor). Llegará el momento en que los considerandos económicos de semejante proceso resultarán favorables, aunque yo, personalmente, vacilaría en invertir en una compañía importadora de titanio.

Los «productos» necesarios en L5 y asequibles en la Tierra cambiarán a medida que las comunidades evolucionen de mero destacamento precario a floreciente establecimiento fronterizo. Al principio L5 necesitará herramientas, máquinas, ordenadores y casi indefectiblemente todas las piezas de los complejos mecánicos que habrán de hacer posible la producción y la vida misma. Se necesitará carbono, nitrógeno e hidrógeno de la Tierra hasta el momento en que sea posible iniciar la minería en los asteroides.

Hay que tener en cuenta que los intervalos de velocidad desde la Tierra y desde los asteroides a L5 son casi iguales. De ahí que los costes de transporte desde los planetas, mayor y menores, sean comparables durante algún tiempo. Puede seguir luego un período de tiempo en el que la competencia económica tenderá a reducir los costes de transporte de nitrógeno, carbono e hidrógeno desde uno y otro lugar de origen, aunque finalmente se revelará más barato obtenerlos de los asteroides.

Durante muchos decenios y en tanto la inicial cabeza de puente espacial crece y crece para convertirse en una comunidad estable, L5 necesitará de pobladores a un ritmo mucho más rápido del que pueda seguir la reproducción natural. Preciso será, pues, llevarlos de la Tierra; así, no será raro ver, como sucediera en Australia, que con objeto de atraer inmigración, las comunidades de L5 ofrecen al principio el pasaje libre, cierta medida de capital inicial y vivienda gratuita a quienes decidan incorporarse a ellas.

La existencia de esos componentes varios de intercambio comercial beneficioso para ambas partes debiera contribuir al mantenimiento de una relación pacífica entre las comunidades de L5 y las demás naciones de la Tierra. Y si surgieran conflictos y

desavenencias, como parece el sino inevitable de la especie humana, no es probable que ninguna de las colonias espaciales se arriesgara a una separación completa y cese del comercio, pues el precio que ello comportaría sería demasiado elevado.

Aunque determinados bienes serán objeto de comercio solamente durante un breve período de tiempo, la necesidad creciente de energía en la Tierra hará que nuestro planeta siga siendo un buen mercado para nuevas estaciones satélites generadoras de energía; a su vez, las necesidades de los emigrantes proseguirán durante un tiempo similar.



Ciudad para investigación en Isla Uno.

Por último, si la civilización de L5 accede a cierto grado de madurez y se estabiliza la población de la Tierra, podemos esperar, de manera análoga a situaciones vividas ya en nuestro planeta, que se establezca un floreciente comercio turístico en ambos sentidos. Cabe asegurarlo así, pensando en que, a medida que progrese la tecnología y se abaraten los costes de transporte, el inveterado impulso viajero encontrará pocas trabas.

Se ha dicho que toda nueva riqueza requiere de tres componentes: energía, materiales e inteligencia. En L5 la fuente de materias primas será inagotable, por lo menos durante varios siglos, en tanto que el suministro de energía se mantendrá constante y prácticamente ilimitado en los miles de millones de años venideros. El tercer componente hace referencia a la organización por parte de los hombres de la maquinaria y del propio esfuerzo productivo de manera eficiente. La productividad se

puede describir como función de la razón existente entre el volumen de productos acabados y la inversión de trabajo humano. Si se mide en términos no monetarios (toneladas por persona y año) la razón apuntada integra ya automáticamente los efectos de la inflación.

La productividad se mantuvo estática durante muchos siglos cohibida por las limitaciones de una tecnología artesanal y de la energía resultante del esfuerzo humano y animal. Con la revolución industrial cambió totalmente la situación. En las modernas sociedades industriales de América del Norte y Europa Occidental el incremento de la productividad ha sido del orden del 2 al 3 por ciento anual. (Se ha argüido que en el seno de una economía capitalista pura, sin regulación o intervencionismo gubernamental, el interés sobre el capital debiera ser fijado a igual cota. La inflación, actualmente superior en varios puntos a la tasa de incremento de la productividad, se suma a los tipos de productividad y de interés de manera que tiende a ocultar los cambios reales subyacentes.)

La riqueza individual es proporcional a la productividad si el gobierno no absorbe con el tiempo una mayor fracción de la riqueza total. Una tasa de aumento de la productividad del dos y medio por ciento basta para doblar el ingreso real per cápita (no inflacionario) en menos de treinta años. Si consideramos los bienes y servicios asequibles y normalmente usados hoy en el mundo occidental por las gentes pertenecientes a la generación siguiente a la nuestra, observamos que en nuestras latitudes se ha duplicado el ingreso real en el plazo de tan sólo una generación. En el espacio, aunque no en la Tierra, es concebible que semejante incremento de productividad se mantuviera durante mucho tiempo. Actualmente los ingresos anuales medios de una familia estadounidense se acercan a los 15.000 dólares. Pero las limitaciones energéticas y materiales empiezan a hacer sentir su efecto de retención en la Tierra; sin embargo, podemos prever que en el espacio, para el año 2100, y de continuar una tasa de crecimiento de la productividad del orden del 2,5 por ciento anual, los ingresos medios de una familia podrían alcanzar el equivalente de más de 300.000 dólares al año en moneda no inflacionaria de 1975. Lógicamente ese aumento sólo puede producirse si crece asimismo la disponibilidad de energía, hasta un total de unos doscientos kilowatios por persona en una sociedad espacial del año 2100. Algunas de las innovaciones que cabe considerar para finales del siglo venidero no supondrán el empleo intensivo de materiales o de energía. Puede que el ejemplo más sobresaliente nos lo ofrezca el computador electrónico. Es casi seguro que para el año 2100 los ordenadores habrán llegado a un grado tal de capacidad, que las más de las tareas y labores comunes serán controladas con ellos y realizadas por máquinas que, a su vez, habrán sido construidas en fábricas extremadamente automatizadas y con mínima intervención humana. Otras innovaciones no serán tan económicas desde el punto de vista energético. El transporte a larga distancia, por ejemplo, requerirá de considerable energía, incluso en el espacio. Lógicamente cabe esperar que para el año 2100 las gentes que vivan en el espacio den por sentada la disponibilidad de medios

de traslación baratos y potentes que les confieran una gran libertad de movimientos a velocidades de varios millares de nudos. Una disposición bidimensional de comunidades espaciales suficientemente vasta para albergar el equivalente de la población actual de la Tierra, donde cada habitante contará a su servicio con doscientos kilowatios de energía obtenida del calor solar, se extendería menos de 3.000 kilómetros. Dada una energía suficiente, una velocidad de crucero en el espacio del orden de 3.000 kilómetros por hora sería totalmente viable para un vehículo acelerado por un motor eléctrico. El equivalente de todo un mundo en cuanto a diversidad de población, clima y paisaje sería accesible a un residente del espacio del año 2100 en un viaje que durara una hora o menos.

A medida que aumenten los ingresos reales de los colonos, parece poco probable que los residentes de L5 opten por permanecer en los ámbitos más bien atestados de los primeros hábitats. En la Tierra nos hemos acostumbrado a la idea de que con cada año que pasa se reducen los espacios abiertos, surgen como hongos los centros comerciales en los que fueran prados y zonas verdes y aumenta la presión sobre la Naturaleza virgen. En L5, donde la tasa de construcción de nuevas áreas habitacionales se verá limitada sólo por la productividad, podemos esperar que en el curso de un siglo la densidad de población habrá de descender en vez de aumentar, cualquiera que sea el tamaño absoluto de la misma y su ritmo de crecimiento. Podemos estimar aproximadamente la densidad poblacional de un nuevo hábitat espacial construido hacia el año 2100 si consideramos la tasa actual de incremento de la productividad y de aumento demográfico. (Es de suponer que se trata de una estimación por exceso; de ser así, la respuesta será aún mejor de lo que ahora señalan nuestros cálculos)^[1]. Tomando como base el nivel estadounidense actual correspondiente a la fracción productiva de la población (aproximadamente un 40 por ciento) y suponiendo que la cuarta parte de la fuerza laboral se emplea en la construcción de nuevos hábitats, hallamos que a cada nuevo colono del año 2100 podrían corresponderle casi dos mil toneladas de estructura.

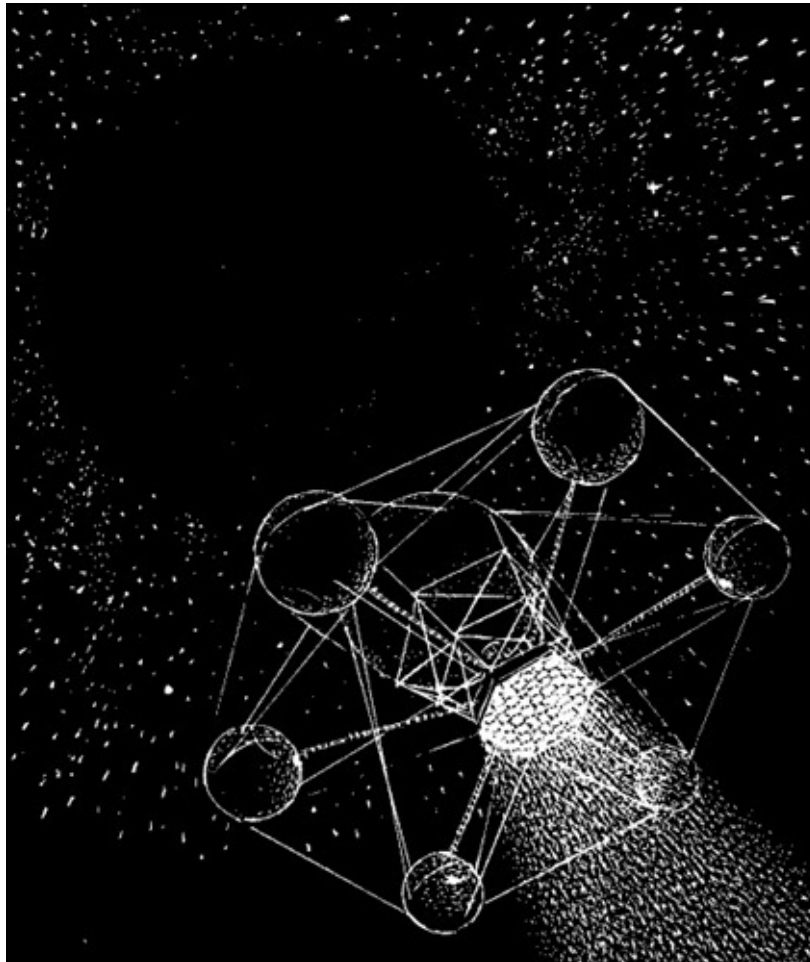


Ilustración que, a diferencia del resto en “Ciudades del espacio”, va más allá en cuanto a tecnología a corto plazo, y muestra una nave interestelar (siglos XXI y XXII).

Para estimar el significado de lo dicho es necesario contar con un modelo; servirá Isla Dos: Cada una de tales Esferas Bernal tendría una masa estructural de varios millones de toneladas. Haciendo números, resulta que cada Isla Dos, con casi siete kilómetros cuadrados de área habitacional, sería ocupada por sólo una pequeña villa de dos mil seiscientos habitantes, ¡la vida en el campo, en verdad! En el espacio, toda la agricultura y la industria se emplazarían en una superficie adicional fuera de los hábitats, de modo que la totalidad de la zona de terreno de L5 quedaría enteramente disponible para habitación, recreo o para regiones salvajes (gran parte de lo que actualmente llamamos «zonas de restauración de la naturaleza» fue roturado o cultivado hace menos de cien años, de modo que la noción de dejar deliberadamente que se reinstaure lo salvaje no ha de resultarnos extraña). Incluso antes de establecer zonas específicas para la agricultura y la industria, la densidad sería comparable a la de algunos países de la Europa Occidental (los Países Bajos arrojan una densidad de 386 habitantes por kilómetro cuadrado, e Italia de 174, incluidas sus zonas montañosas, industriales y agrícolas).

Dando por bueno el éxito de todos los programas de control demográfico, la población total de la Tierra ascenderá a por lo menos diez mil millones de habitantes en el curso del siglo venidero. Como promedio cabe asumir que las densidades se

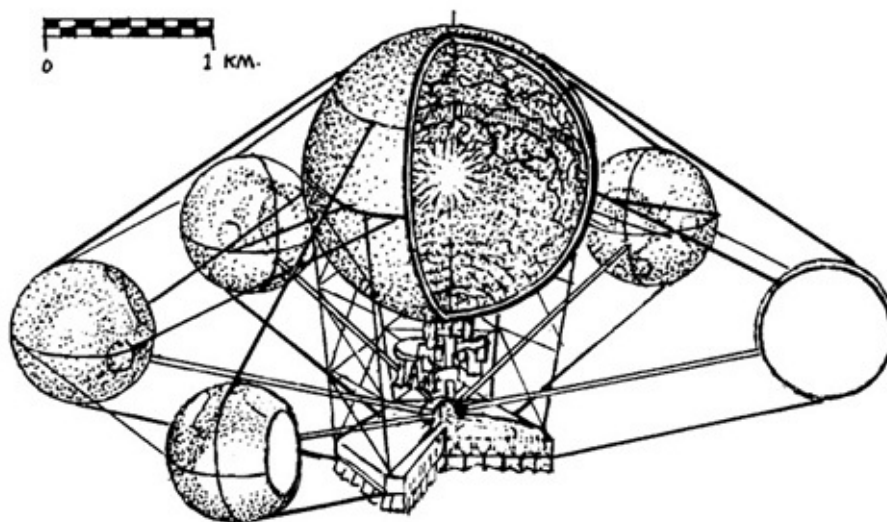
triplicarán hasta el momento en que tenga lugar una emigración importante a las colonias del espacio. La saturación, que se deja sentir ya de manera agobiante en determinadas zonas de la Tierra, sólo puede hacerse cada vez peor. Por contra, si atendemos a la proyección de la densidad poblacional de L5 en el plazo de un siglo en el futuro, observaremos que los hábitats espaciales revelan una concentración de menos de la tercera parte de la que se ofrece actualmente en la montañosa y pastoral Suiza, y considerablemente menos que la que arrojará la totalidad del planeta a principios de la década de 1990.

Dada la creciente automoción no es descabellado pensar, ni mucho menos, que las porciones «estandarizadas» de todo nuevo hábitat —coraza exterior, espejos, protecciones, radiadores de calor y demás componentes extrínsecos— serán contruidos eventualmente por máquinas totalmente automáticas. La intervención humana será necesaria en aquellas tareas que requieran creatividad e imaginación: paisajismo, arquitectura y quizá algunas nuevas especialidades artísticas, como diseño climatológico y ecología creativa. Es posible, de ahí, que un grupo determinado de colonos que entre en posesión de una nueva zona territorial construida por la maquinaria prefieran atender a las operaciones de acabado por su cuenta: añadir el toque humano en lo que se refiere a paisajismo, arquitectura y elección de flora y fauna. Sus primeros años podrían emplearlos de modo semejante a como lo hicieran nuestros antepasados: el paso del tiempo reportaría de consuno el sentimiento de obra lograda y el orgullo de haber impartido la marca individual a la casa, el jardín y la floresta.

Los especialistas discuten en torno al origen o causa de la inflación; incluso ahora, tras numerosos años de estudio y esfuerzo, los economistas no se ponen de acuerdo al respecto. La explicación más sencilla goza todavía del mismo favor que las más complicadas: que la inflación es causada por «una demanda creciente de cada vez menos productos». Pues bien, algunos de los factores que en la Tierra impulsan esa incontenible espiral de la oferta y la demanda se hallarían ausentes o muy debilitados en el espacio. Como se ha observado anteriormente, los costes de la energía en L5 descenderán continuamente con el paso del tiempo, debido a que su fuente será libre e inagotable, y porque los progresos tecnológicos no han de servir sino para aumentar la eficiencia de la conversión de energía solar en otras formas utilizables. Una vez que los asteroides se hayan hecho accesibles a la minería, se dispondrá en abundancia de todo elemento químico necesario; los sistemas de transporte mediante energía solar que lleven dichos materiales a sus puntos de consumo mejorarán a su vez a medida que aumenten la capacidad y los refinamientos técnicos.

Sobre la Tierra gravita una presión inflacionaria de la variedad clásica «más en pos de menos», que podemos contemplar fácilmente a diario. A medida que aumenta la densidad demográfica ascienden inexorablemente los precios de los terrenos. Cada vez que se inaugura un desarrollo urbanístico los precios de las viviendas se

encuentran en su punto más bajo: luego, a medida que van siendo menos las unidades vacantes, suben y suben sus precios hasta que a la postre el vendedor puede, indefectiblemente, establecerlos casi a su albedrío. Si deseamos ver precios de solares realmente inflados basta dirigir nuestra mirada a aquellos lugares deseables donde las leyes de ordenamiento del terreno mantienen el número de nuevos edificios estrictamente limitado y donde abundan los compradores ricos en busca de asentamiento; Suiza ofrece al respecto un ejemplo sobresaliente.



Nave interestelar en Isla Uno. Fuente de energía a base de reacción de materia y antimateria (siglos XXI y XXII).

En las comunidades espaciales las densidades de población debieran disminuir en lugar de aumentar. No debieran producirse carestías de energía o de materiales; de ahí que acaso sea en el ambiente espacial donde se den las mejores condiciones para una economía no inflacionista. Si en el transcurso de muchas décadas continúa la inflación grave, aun en el espacio, nuestros descendientes habrán de llegar a la conclusión de que las principales causas de la misma no son materiales, sino psicológicas. Pero incluso en ese terreno contarán con ventajas las comunidades espaciales. Sabemos que una de las razones psicológicas primarias de la inflación es el miedo; miedo de que algún producto o necesidad, no esenciales, pero muy deseables, se acabe o sea irrealizable, de modo que se justifique por él un precio desmesurado. Se trata del síndrome de la «acumulación». En las condiciones de las comunidades espaciales, y tras los primeros decenios de aprendizaje y desarrollo, será relativamente difícil crear en las mentes de los colonos la convicción de que algo material se encontrará pronto en medida escasa.

Más incierta que cualquier otra predicción sobre el futuro es la que hace referencia al efecto a largo plazo que el medio espacial pueda ejercer sobre la longevidad. Pero, aun así, cabe argumentar plausiblemente en favor de que la vida se prolongará, si bien habrá de llevar algún tiempo el proceder a una comprobación significativa.

En primer lugar, las condiciones fundamentales para el mantenimiento de la vida debieran ser en el espacio por lo menos tan favorables como en las zonas medias más deseables de la Tierra, y mucho más favorables que en aquellas donde actualmente vive la mayoría de la gente. La pobreza es letal, y la riqueza del espacio habría de permitir que la mayoría de las personas que vivan en él puedan eludirla definitivamente. La atmósfera, temperatura y radiación solar pueden ser llevadas en el espacio a unos condicionamientos óptimos para el mantenimiento de una buena salud. Considerando la protección fácilmente obtenible a partir de las escorias industriales, la intensidad de la radiación en el espacio no debiera ser más elevada de lo que es en nuestro planeta. Sin embargo, ¿y los viejos? Aquí en la Tierra, con la edad y las enfermedades propias de la senectud, el cuerpo debe gastar más y más de su energía (de las reservas que le quedan) simplemente en su lucha contra la gravedad. En las instituciones a las que se retiran numerosos de nuestros ancianos, una considerable cantidad del equipo que vemos en ellas se dedica a asistir al cuerpo en su eterna e inexorable lucha contra la gravedad.

En un hábitat espacial nadie experimentará la menor dificultad en su deambular, dadas unas circunstancias físicas normales; pero, de no ser así, es fácil prever que quienes se vean afectados de alguna manera en su locomoción pasarán la mayor parte de su tiempo en zonas elevadas, donde la gravedad se reducirá considerablemente; quienes de otro modo se verían confinados al lecho en la Tierra, podrán gozar de libertad de movimientos en una región de gravedad próxima a cero.

Las enfermedades cardiovasculares se cuentan entre las principales causas de muerte entre las personas de edad. En el espacio podemos esperar que quienes sufran de problemas circulatorios se trasladen a regiones de baja gravedad donde podrán ejercitarse en actividades físicas que no impongan cansancio. En suma, parece plausible, como se ha dicho, que los habitantes del espacio alcancen una edad más proveya de lo que es común en la Tierra. Y lo que es más importante: sus últimos años serán vividos en condiciones cualitativamente mucho mejores, en el goce de una mayor independencia y libertad de movimientos, que lo que les permitirían las condiciones reinantes en nuestro planeta.

En la primera de las notas técnicas acerca del moderno desarrollo de la humanización del espacio, he comentado la posibilidad de reducir la población de la Tierra por vía de la emigración, quizá para mediados del siglo venidero^[2]. Al hacerlo he subrayado a un tiempo, cómo debo hacerlo siempre que surge el tema, la diferencia existente entre posibilidad y profecía. Si realmente se produce la migración humana hacia el espacio, la posibilidad de establecer seguidamente una firme emigración será incuestionablemente una certidumbre, como puede probarse incluso con el más simple de los calculadores de bolsillo y en base a cifras expuestas en relación con la masa de Isla Dos, cuya población pudiera estimarse en 140.000 personas. Hace falta, no obstante, otro dato: la fracción de la fuerza laboral dedicada a la construcción de hábitats, y que consideramos de la mitad. Con todo, pecamos

quizá de conservadores al estimar la geometría de Isla Dos; Isla Uno pesa menos de la mitad de lo dicho por persona, en cuanto a la estructura. Hasta omitiendo toda posibilidad de aumento de la productividad por encima de las veinticinco toneladas anuales comunes en la industria pesada de la Tierra, el tiempo de duplicación de disponibilidades en lo tocante a terreno sería en el espacio de sólo siete años.

He supuesto que el actual índice de crecimiento de la productividad seguirá vigente el año en que se termine la primera Isla Uno, que tomaremos como nuestra «hora cero». Puede que se dé un período de «dedicación» tras ese hito, período de construcción intensiva, puesto que cabe que numerosas naciones de la Tierra se apresuren a plantar pie en el espacio. En el curso de esta era de pioneros la mayoría de los habitantes del espacio (quizá las cuatro quintas partes) serán empleados, y dos quintos de su producción podrían consistir en nuevos hábitats más que de estaciones de energía solar, por ejemplo. En este caso el tiempo de duplicación de disponibilidades de nuevas zonas habitacionales sería de tan sólo dos años, de modo que al cabo de, sencillamente, un total de ocho años serían 160.000 las personas residentes en el espacio.

Veamos qué ocurriría si entonces la fracción de gente productiva descendiera a una cota equiparable a la de los Estados Unidos, los colonos se dedicarían a construir los dos hábitats Isla Dos, mucho mayores, la productividad seguirá con su lento crecimiento actual y —vaya a título de simple ejercicio— toda la productividad material del espacio se dedicará a la construcción de nuevos hábitats. ¿A qué ritmo podría incrementarse entonces la población del espacio? (Repárese en que digo podría, no afirmo que lo haga.) La tarea es fácil con el concurso de un sencillo calculador de bolsillo, y las respuestas al interrogante son como sigue:

AÑO	POBLACIÓN
10	290.000
15	1,5 millones
20	9,2 millones
25	68 millones
30	631 millones
35	7.300 millones

Antes de discutir estas cifras, obsérvese que se basan en el supuesto de que continúe la lenta tasa actual de incremento de la productividad; de otro modo la escala de tiempo sería algo más dilatada, aunque no mucho más: la población

registrada para el año 30, por ejemplo, se alcanzaría unos cinco años más tarde.

El objeto de este cálculo no es otro que el subrayar que si la productividad que hemos alcanzado ya aquí, en la Tierra, fuera aplicada en el medio espacial, rico en energía y en materias primas, en un lapso de tiempo de menos de dos generaciones se lograría una tasa de producción de nuevos terrenos suficiente para acomodar incluso el incremento demográfico de todo nuestro planeta. Si el número de personas vivientes en la Tierra asciende a diez mil millones y su ritmo de crecimiento no es controlado, ello significará una superpoblación de 200 millones anuales. Conforme a la tabla descrita, harían falta sólo treinta años, a partir de la fecha de terminación de la primera comunidad, para que la disponibilidad de nuevas tierras se incrementara en medida más que suficiente para satisfacer incluso semejantes demandas.

Este cálculo, que conste, no se presenta como «previsión óptima». Ciertamente preferiría ver que nuestra tasa de crecimiento aquí en la Tierra decrece con el tiempo, pero que lo hace por las razones correctas: seguridad, un nivel de vida decente, libertad de opción, y no por lo que estimo causas equivocadas, a saber, coerción legal o económica.

La segunda parte de lo que podríamos llamar el problema de la emigración se refiere al transporte: ¿es razonable el considerar un sistema de transporte capaz de absorber tales escalas de desarrollo? La respuesta, sorprendentemente, parece ser nuevamente afirmativa. En el capítulo 10 he descrito un sistema de vehículo, asequible a corto plazo, basado en la tecnología que hoy estimamos a nuestro alcance. La flota de vehículos a que he aludido podría transportar unas quinientas mil personas en el plazo de un año desde la Tierra hasta L5. En el caso de la «acumulación más rápida posible», esa tasa de emigración sería alcanzada hacia el año 15 desde que se iniciara la era de Isla Dos, en tanto que la tasa de doscientos millones al año correspondería a quince años más tarde aproximadamente.

Para hacer frente a semejante crecimiento sería conveniente disponer a bordo de suministros energéticos con una masa de algo menos de tonelada por megavatio. El logro podría venir bien al cabo de varios decenios de desarrollo de la tecnología de las baterías solares, bien por el uso de la transmisión de energía en el espacio mediante rayos láser o microondas. Con semejantes medios y rendimiento el tiempo de circunvalación de una gran nave propulsora por un impulsor de masas podría ser tan corto como doce días, siendo de tan sólo tres y medio —menos de lo que requiere el transatlántico más veloz para cruzar el océano— el tiempo necesario para el viaje de salida al exterior. Si cada una de las naves llevara 6.000 pasajeros, modesto incremento de capacidad a lo largo de los quince años siguientes a la época del Tsiolkowsky y el Goddard, en total se necesitarían unas mil cien naves, cifra de todo punto comparable a la de los grandes navíos oceánicos que surcan actualmente las aguas de la Tierra. Si calculamos la productividad necesaria para la construcción de mil cien grandes naves espaciales, hallamos que su masa total ascendería a unos diez millones de toneladas de «peso muerto», lo cual podría ser resuelto en tres años por

una fuerza laboral de menos del 0.1 por ciento de la población existente en L5 en el año 25 de la nueva era.

El transporte desde la Tierra a una órbita baja tendría lugar hacia la misma época en vehículos cuya cabina de acomodación vendría a ser semejante a la de los Boeing 747. En comparación con la capacidad del transbordador espacial hoy disponible, ello supone un incremento en un plazo de unos cincuenta años mucho más modesto que nuestra propia experiencia aeronáutica: desde el DC 3 de 24 pasajeros hasta el 747 de 400 en sólo treinta años. El viaje desde la Tierra a órbita baja duraría menos de media hora, cualquiera que fuese el tamaño del vehículo, y para las cuatro horas del viaje de ida y vuelta la demanda de transporte podría ser debidamente satisfecha por una flota de menos de dos-cientos vehículos. Ello representa tan sólo una minúscula fracción del total de grandes aeronaves (alrededor de cuatro mil) con que cuenta ya en la actualidad la aviación comercial a reacción.

El coste de los billetes, calculado de manera semejante a la ya descrita anteriormente, sería de unos 4.500 dólares por persona en moneda de hoy, suma comparable a la de un viaje actual alrededor del mundo y equivalente a tan sólo los ingresos de algunos meses en las condiciones prevalecientes en las comunidades espaciales.

Las sociedades industriales de América del Norte vertemos cada año en la atmósfera unas diez toneladas de productos de combustión por cada miembro de la población. En el plazo de una vida, por tanto, cada uno de nosotros responde de más de seiscientas toneladas de gases y humos de combustión contaminantes. Vaya como contraste que el combustible usado para llevar a un emigrante a una órbita baja desde la superficie de la Tierra, con el concurso de vehículos no mucho más avanzados que los hoy existentes, sería de menos de tres toneladas, lo que vendríamos usando en cuatro meses en nuestro planeta. Además, después de la partida de cada emigrante desaparecería asimismo la carga correspondiente a su empleo de energía de la Tierra y contaminación de la atmósfera, y ello sería ya para siempre, salvo en el caso de ocasionales visitas al planeta de origen. Si el tránsito de ida y vuelta en el espacio alcanza alguna vez la frecuencia dada en el ejemplo, será necesario diseñar vehículos que quemem combustibles «limpios», así como prestar especial atención a la delicada capa de ozono que nos rodea. Con-taremos, no obstante, con casi cuarenta años antes de que sea necesario solucionar este problema, de modo que me atrevo a concluir con la afirmación de que no habrá problema alguno ni se presentarán obstáculos de mayor envergadura en el control y dirección de un volumen de tránsito tan grande como el que hemos calculado.

Cuando consideramos la posibilidad de reducir la población de la Tierra por vía de la emigración, es importante distinguir entre posibilidad y profecía. Como hemos visto, la combinación de técnica e incremento natural de la propia capacidad habría de crear las bases para que semejante emigración fuera viable. Si se producirá o no una emigración así a gran escala dependerá de cuán necesaria resulte y de lo

atractivas que sean a juicio de la gente las comunidades espaciales. Con cuatro mil millones de habitantes, la Tierra está ya sobresaturada en determinadas zonas; serían muchos los que preferirían abandonar el planeta si se llegara a una población de diez mil o quince mil millones de habitantes.

La existencia en los hábitats espaciales de empleos bien remunerados, de buenas condiciones de vida y de mejores oportunidades para el desarrollo de los jóvenes, puede que estimule la emigración de una considerable fracción de la población de la Tierra, incluso sin la densidad demográfica de la misma resultará menos grave de lo que actualmente parece previsible. A la larga, y debido a la disponibilidad de energía inagotable y barata en el espacio, de materiales abundantes y de una atractiva combinación de zonas habitacionales próximas, pero ajenas, a los complejos industriales, creo que la industria establecida en la Tierra dejará de poder competir con su homóloga en el espacio. De ser así, como se ha revelado en el curso de las civilizaciones, las gentes acudirán en pos de nuevos y mejores puestos de trabajo, y eso significará decididamente emigración.

Una Tierra no industrial con una población quizá de mil millones de habitantes podría ser mucho más hermosa de lo que es ahora. El turismo desde el espacio podría constituir una saneada fuente de ingresos y serviría de incentivo para la ampliación de los parques naturales ya existentes, para la creación de otros y para la restauración de monumentos históricos o de especial relevancia. Los turistas, procedentes de un ámbito libre casi enteramente de contaminación, no se mostrarían ciertamente tolerantes ante la suciedad y el ruido prevalecientes en el planeta, lo cual animaría a los rectores de las sociedades terrestres a eliminar las fuentes de polución restantes. Criterios similares e igualmente poderosos han ejercido un beneficioso efecto en determinados lugares de Europa y de los Estados Unidos en el transcurso de los últimos veinte años. La visión de una Tierra libre de industria pesada, pastoral y limpia, con muchas zonas paisajísticas espectaculares a la libertad de la naturaleza, con fauna y flora, cada vez más exuberante y con una población humana relativamente reducida y próspera resulta para mí mucho más atractiva que la alternativa de un mundo rígidamente controlado donde las gentes discurren cautelosamente por la senda precariamente estrecha de una sociedad en estado fijo. Si se produce la humanización del espacio, la visión apuntada podría convertirse en realidad.

Los autores de ciencia ficción gustan de manejar conceptos tales como el viaje a velocidad superior a la de la luz, la animación suspendida y la teleportación. Si se trata de especular, entiendo que es mucho más satisfactorio y estimulante conjeturar adonde podríamos llegar sin más ciencia de la que disponemos en el momento presente.

Antes he descrito un navío explorador y de investigación, en viaje por los asteroides, capaz de moverse de aquí para allá en el interior del sistema solar con una población de investigadores de varios centenares de miembros. En el espacio las

limitaciones en cuanto a tamaño de una nave o vehículo de transporte serían mucho menos rígidas que en la Tierra, y en principio no hay razón alguna para no concebir objetos móviles mucho mayores. Un hábitat del tamaño de Isla Uno podría ser equipado con un sistema de propulsión por energía eléctrica de origen solar de la clase que ha sido descrita en el capítulo 11. En el curso de la historia de nuestro planeta ha habido poblaciones humanas de 10.000 personas que han permanecido aisladas durante muchas generaciones, y este número es lo suficiente grande como para que comprenda hombres y mujeres dotados de una gran variedad de habilidades y conocimientos. Los habitantes del espacio estarán bien preparados psicológicamente para emprender largos viajes, y a las pocas décadas de haberse iniciado la colonización del espacio puede que haya ya numerosos grupos de personas vagando por los límites exteriores de nuestro sistema solar en misiones científicas a largo plazo. Tales grupos podrían estar estrechamente comunicados con el resto de la sociedad humana por medio de la televisión y la radio, de modo que no habría razón alguna para que se sintieran indebidamente aislados, a menos que opten por la soledad por motivación propia. Incluso a la distancia del planeta Plutón, el miembro más alejado de nuestra familia de planetas conocidos, las novedades en el campo de las artes visuales y musicales se podrían recibir con un retraso de tan sólo unas horas.

Podemos estimar los límites aproximados que podría alcanzar un hábitat espacial errante suponiendo que sus habitantes desearan contar con luz solar terranormal, que la superficie de terreno habitacional y agrícola fuera semejante a la de Isla Uno que dispusiera de un generador helioeléctrico que suministrase al hábitat una potencia semejante a la actualmente disponible per cápita en los Estados Unidos, y que la masa de su espejo colector de la luz solar no fuera más de dos veces la del propio hábitat. El límite de distancia correspondiente, si el espejo tuviera un grosor de varias longitudes de onda de luz, es de aproximadamente cuatro días luz: unas diez veces más que la distancia que nos separa de la órbita de Plutón. Este límite aproximado viene a ser como una especie de «plataforma continental» de nuestro sistema solar; más allá se abre el abismo del espacio interestelar. Dentro de ese límite, sin embargo, no parece haber razón alguna para que una comunidad peregrina tuviera que soportar unas condiciones menos lujosas que las de cualquiera de los hábitats más próximos a la Tierra.

Un laboratorio que vagara por el espacio sería una estructura extraordinariamente grácil, provista de un enorme espejo parabólico. En el centro, como si fuera una araña, se encontraría el hábitat propiamente dicho con su coraza protectora, absorbiendo la energía solar captada por varios miles de kilómetros cuadrados de superficie. Me imagino que en el interior del hábitat la disposición paisajística respondería al deseo de los viajeros de contar con el alivio psicológico que presta una vegetación exuberante. Los habitantes veteranos de tal entidad desarrollarían probablemente una gran pasión por la jardinería, no sólo en cuanto a flores, sino a

hortalizas y especies exóticas.

Entre los pobladores, necesariamente limitados en este caso a un número constante, aproximadamente la cuarta parte serían de edad escolar o universitaria; suficientes para que fuera instalada una pequeña universidad. La mitad de la población se hallaría dentro de los límites de la edad laboral normal, y de ellos, puede que la mitad fueran necesarios para atender a los servicios de la comunidad: enseñanza, agricultura, mantenimiento, ingeniería, navegación; gente que atendiera y rigiera los almacenes, imprentas, salas de cine, hospitales, bibliotecas y restaurantes. La sustitución de utensilios varios por equipo al día fabricado conforme a los planos radia-dos desde L5 podría ocupar a otra quinta parte de la fuerza laboral. El resto, quizá unas 2.000 personas, podrían dedicarse directamente a labores de investigación: astronomía planetaria, geología, geofísica, astronomía interestelar u operación de grandes radiotelescopios coordinados con laboratorios establecidos en la Tierra. Un complejo de este tamaño sería comparable a una facultad universitaria entera o a una universidad de tamaño medio o a un gran laboratorio de rango nacional en la actualidad; sería suficientemente grande para llevar a cabo, en el plazo de algunos años, exploraciones concienzudas y sistemáticas de los planetas exteriores, enviando unidades de exploración no tripuladas a la superficie de los mismos en breves excursiones.

Vivir en una comunidad como la descrita sería algo así como hacerlo en una ciudad específicamente universitaria, de modo que no sería extraño que se diera, además, una gran proliferación de colectivos de teatro, orquestas, salas de conferencias, equipos de deportes, clubs de vuelo... y libros semiacabados.

Al imaginar la actividad, durante el siglo venidero, en el espacio contenido en los límites de la «plataforma continental» de nuestro sistema solar, sospecho que en principio se limitará a la minería de los asteroides, a la divagación de comunidades científicas dentro del sistema con fines de investigación y al establecimiento de pequeñas colonias fijas destacadas en los planetas habitables. En mi opinión, la mayor parte de la actividad humana se concentraría en una región vecina a la Tierra y en el cinturón asteroidal, coordinada por una red de comunicaciones cuyo respectivo retraso vendría dado por la velocidad de la luz y, por consiguiente, sería menor de media hora.

Nuestra primera impresión sobre los sistemas estelares vecinos se producirá probablemente por medio de grandes telescopios compuestos (multiespeculares) anexos a las comunidades espaciales, aunque no instalados en ellas. Puede que nuestros descendientes descubran, quizá en los próximos cien años, que alguna estrella distante unos pocos años luz de la nuestra es lo suficientemente interesante como para justificar una exploración más detallada. Ello podría ocurrir, por ejemplo, si la exploración telescópica revelara que la estrella en cuestión cuenta con planetas. En tal caso podría destacarse una nave no tripulada en un viaje de muchos años. La forma más económica de obtener información acerca de otro sistema estelar sería

mediante un vuelo sin retorno; el ingenio usaría toda su energía y masa de reacción simplemente en acelerar, a fin de reducir al mínimo la duración del viaje. Penetraría en el sistema desconocido a una velocidad quizá de una décima parte de la de la luz, y en el curso de unas pocas horas reuniría toda la información que sus elementos sensibles pudieran captar. Seguidamente, y en un período de tiempo que bien pudiera medirse aún en años, nos radiaría su información. Considerando el rápido desarrollo de la electrónica y de los microcomputadores, parece razonable suponer que dentro de un siglo un robot resultaría más fiable y con capacidades más complejas que cualquier tripulación humana: así, nuestro primer examen próximo de otro sistema estelar no será, probablemente, a través de ojo humano alguno.

¿Podría aventurarse algún día una comunidad espacial fuera de la que hemos llamado plataforma continental para embarcarse en un viaje a otra estrella? Si la comunidad fuera lo suficiente grande para constituir una sociedad completa, y si la estabilidad social de un grupo numeroso y aislado fuera suficiente, tal viaje no excedería los límites de la posibilidad física. Pero para ello debemos llevar nuestras conjeturas y especulaciones mucho más allá de las fronteras establecidas por la tecnología presente. Las naves limitadas al empleo de propulsión de tipo concebible e instalable dentro de relativamente pocos años y que usaran energía solar para mantener unas condiciones normales en la Tierra, se verían limitadas a distancias de unos pocos días-luz a partir del Sol. Para trayectos interestelares se tendría que llevar una fuente de energía a bordo. Aunque la serie de televisores Star Trek da por buenos muchos recursos contrarios a la física tal como hoy la entendemos, algunos de sus dispositivos técnicos tienen sentido dentro de los límites de nuestros conocimientos actuales; en particular las «cápsulas materia-antimateria», sobre las que siempre se muestra tan preocupado el ingeniero Scott, se nos antojan del todo razonables desde el punto de vista de la tecnología disponible dentro de uno o dos siglos. Sobre todo en el espacio, donde no hay gravedad que nos moleste, habría de ser posible obtener cierta cantidad de antimateria. El coste en energía sería en verdad enorme, y por el momento nuestros métodos para producir antimateria son primitivos e ineficaces, pero no hay razón alguna para que siempre tenga que ser así. La forma más conveniente para el transporte de antimateria sería como líquido o sólido; antihidrógeno congelado, a una temperatura de sólo unos grados por encima del cero absoluto, sería un buen candidato. Sus átomos constarían de antiprotones en torno a los cuales girarían positrones.

Volviendo al ejemplo de la comunidad del tipo Isla Uno equipada para viajes a grandes distancias, podemos imaginarnos su dotación de masa para el espejo sustituida por una cantidad igual de hidrógeno y antihidrógeno congelados. En ausencia de la gravedad la antimateria podría ser mantenida por campos electrostáticos que no requirieran contacto físico directo. Protegiéndola de la radiación cósmica de la materia ordinaria y de partículas de polvo mediante una gruesa coraza de materia común, y en principio no tiene por qué no durar muchísimo

tiempo. Cuando calculamos cuánto tiempo puede existir una comunidad espacial, en condiciones energéticas terranormales, a base de combustible antimaterial almacenado, hallamos que la cifra asciende a varios ¡miles de millones de años! Suficiente tiempo, en verdad, para un viaje interestelar.

En el segundo capítulo de este libro he tenido la ocasión de citar las conclusiones del profesor Richard Heilbroner con respecto a las perspectivas futuras de la humanidad si su ámbito ecológico se limita a nuestro planeta. Si con la pregunta «¿Hay esperanza para el hombre?» queremos saber si es posible satisfacer las demandas futuras sin tener que pagar un precio exorbitante, la respuesta habrá de ser: «No, no existe tal esperanza».

Aquellos de entre nosotros que hemos disfrutado desde el día de nuestro nacimiento de una provisión suficiente o excesiva de comodidades materiales, somos los primeros en asignarles una importancia secundaria; no así la gran fracción poblacional que vive en medio de la pobreza y de las privaciones desde la cuna hasta la tumba. Cuando consideramos los problemas a los que se enfrenta la humanidad en conjunto, parece menos excusable que ahora, en las postrimerías ya del segundo siglo de la revolución industrial, haya tantas personas aún necesitadas de lo más esencial para vivir tan sólo decentemente. Está claro que dada una dictadura de poderío militar irrefutable y de alcance mundial, que mantuviera una actitud igualitaria, la gran disparidad de riqueza entre naciones e individuos podría reducirse considerablemente. En mi opinión, el aceptar semejante solución, incluso si hubiera alguna forma realista de llevarla a la práctica, sería pagar ciertamente un «precio exorbitante».

Si volvemos la vista atrás hacia los tiempos de los que se siente más orgullosa la humanidad, es difícil eludir la conclusión de que se trataba de momentos de diversidad, competición, imprevisibilidad y considerable confusión. Todavía evocamos con admiración y orgullo los logros filosóficos, literarios y dramáticos de las ciudades-estado griegas; en aquel período nacieron muchos de nuestros más venerados conceptos de libertad y valer individual. ¿Es puro accidente que la época clásica fuera asimismo un tiempo de gran diversidad y aun de enfrentamiento, a menudo de ideas totalmente conflictivas entre pequeñas comunidades de no más de unos pocos millares de individuos cada una?

Me maravillo también ante el período oscurantista que siguió a la monolítica Roma. Allí surgió un estado organizado con poder suficiente para dominar la casi totalidad del mundo; con ideas y con un concepto de civilización no del todo desechable siquiera por nuestra filosofía moderna. Sin embargo, ese breve período de organización supranacional fue seguido de muchos siglos durante los cuales, con nuestra actual perspectiva, vislumbramos poco de lo que hoy entendemos como «progreso». ¿Hay algo en el concepto de organización universal básicamente ajeno a la humanidad? ¿Algo contra lo que se rebela el espíritu humano? Puede que sea así. El siguiente período que nos enorgullece como hombre es el Renacimiento y la época

de las exploraciones; ciertamente unos tiempos de grandes diferencias, grandes incertidumbres y de movilidad sin precedentes.

Al contemplar los decenios siguientes con la nueva opción de la humanización del espacio, de algo podemos estar seguros: esos años serán imprevisibles. Han aparecido nuevas posibilidades y con ellas, literalmente, una nueva dimensión donde puede desarrollarse la humanidad. De seres apegados al terruño, podemos pasar a convertirnos ahora en los habitantes de un sistema solar tridimensional. Nuestra primera tarea es claramente la de usar la riqueza material del espacio para resolver los urgentes problemas con que nos enfrentamos actualmente en la Tierra: llevar los sectores agobiados por la pobreza a un nivel de vida decente, sin tener que recurrir a la guerra o a acciones punitivas contra aquellos que disfrutaban ya del confort material; proporcionar a una civilización que está madurando la energía vital básica para su supervivencia.

Esos son los problemas inmediatos, y yo he tratado de mostrar cómo podemos resolverlos por nosotros mismos; ello no requiere de superhombres con más capacidad de la humana para la organización, la cooperación y la renuncia, si hace falta.

Cabe replicar que la exploración y colonización del espacio no es más que una «chupuza tecnológica» frente a un problema que debiera ser resuelto en un plano más intelectual y elevado. Sin embargo, por nuestra evolución estamos ligados estrechamente al mundo material; somos los descendientes de los supervivientes de muchas generaciones durante las cuales el mantenimiento de la vida representaba una lucha diaria con el mundo material. Nuestra historia no sugiere que estemos preparados para un cambio repentino convirtiéndonos en una especie desinteresada del bienestar material, con nuestra principal preocupación enfocada hacia la humanidad en conjunto en vez de hacia un grupo más reducido. La verdad es que nuestra lealtad va en primer lugar para aquellos pocos individuos con los que estamos vinculados por íntimos lazos de relación genética; sólo con esfuerzo extendemos nuestro interés a la villa, a la nación y al mundo. Como especie hemos resuelto nuestros problemas durante milenios por medios técnicos, y sería ciertamente sorprendente que pudiéramos cambiar nuestro carácter de forma tan completa como para abandonar los métodos gracias a los cuales hemos sobrevivido.

Anteriormente he contrastado las nuevas ideas encerradas en este libro con las filosofías de los utópicos clásicos. ¿Se verán libres de conflictos, miseria y tristeza las comunidades espaciales? En verdad que no, en tanto sigan siendo humanas. Más bien diría que nos cabe la esperanza de que les sea dada una nueva oportunidad para atender a la más huidiza de las ocupaciones del hombre, y tan fundamental como para estar escrita en nuestra Constitución: «El logro de la felicidad». Nuestro país no ha sobrevivido sus primeros dos siglos en base a una felicidad prometida; más bien, gracias a la promesa de que la búsqueda de aquélla podía proseguir. Espero y pienso que aquellos que han considerado la idea de la humanización del espacio con

devoción y cariño no lo han hecho ante la equivocada expectativa de perfección. Si sus cartas y conversaciones pueden servirme de indicación, aprecian cuán difíciles serán las condiciones y los retos con que habrán de enfrentarse, como en toda nueva era de exploración y descubrimiento. Con todo, incluso la oportunidad de probar nuevas ideas y de lanzarse hacia direcciones inéditas es más de lo que cabría esperar en un mundo eternamente limitado a los confines de nuestro planeta. Han pasado sólo unos pocos milenios, después de todo, quizá unos centenares de vidas humanas, desde que la especie abandonó la existencia nómada del cazador a cambio de la estabilidad del agricultor. No ha de maravillar, pues, que incluso tras tantos años siga profundamente enraizada dentro de nosotros la necesidad de sentir que esas fronteras pueden romperse y que se abren a nuevos caminos aún por explorar.

¿Qué suerte correrán las artes y las letras en un nuevo período de expansión del espíritu humano? La creatividad es el atributo humano más difícil de predecir, pero es por lo menos esperanzador que la edad de Colón y de Drake fue asimismo la de Miguel Ángel y de Shakespeare^[3]. A nivel más doméstico, aquellas ocupaciones que presentan un cariz y aroma de existencia abierta y nómada han sido siempre celebradas en nuestros romances; en la moderna canción popular, el conductor de camión, siempre en movimiento de aquí para allá, ha venido a ocupar el lugar propio del cow-boy en el siglo pasado. En el reto que representa la primera cabeza de puente en el espacio y los viajes que puedan ser emprendidos por aquellos que se trasladen con sus familias a los solitarios asteroides, debiera hallarse tema suficiente para baladas y narraciones.

Al pensar en las perspectivas que se le ofrecen al hombre en el espacio, no ignoramos que dondequiera que intervengan los humanos habrá individuos con potencial tanto para el bien como para el mal; sin embargo, parece haber buenas razones para creer que el abrir la puerta del espacio contribuirá a mejorar la condición humana en la Tierra. Aliviados, aunque sea un poco, del impulso inexorable de luchar con otras naciones por los decrecientes recursos del planeta, podemos esperar un futuro más pacífico. La generosidad para con el Tercer Mundo en su pugna por liberarse del hambre y por ocupar su sitio en la comunidad de naciones parece más viable si puede derivarse de fuentes nuevas e ilimitadas más que de las que se nos presentan ya en fase de agotamiento.

Pero, más importante que las consideraciones materiales, creo que hay razón sobrada para esperar que la apertura de una nueva frontera en el firmamento estimulará lo que de mejor existe en cada uno de nosotros, y creo que los nuevos solares en espera de ser edificados en el espacio nos proporcionarán una nueva libertad para elegir mejores gobiernos, sistemas sociales y modos de vida para que, así, nuestros hijos puedan hallar en adelante un mundo más rico en opciones, ofrecidas por nuestro propio esfuerzo.

Apéndice 1

COMO SE DIFUNDIÓ LA IDEA

A finales de la década de los sesenta, el desencanto con respecto a la ciencia se había hecho general y conllevado masivos recortes presupuestarios en el terreno de la investigación. Sin embargo, en ese mismo período el proyecto Apolo, iniciado algunos años antes en momentos de gran confianza en el poder y la capacidad estadounidenses, había dado como fruto el primer alunizaje humano. Como se ha dicho, nuestra era puede ser recordada aunque sólo sea por el logro de ese gran salto desde la superficie de la Tierra a otro cuerpo planetario.

Durante este mismo período los horrores de la guerra en el Sureste asiático habían provocado una notable revulsión contra la autoridad y contra la tecnología en todas las universidades americanas. En muchas de ellas se produjeron notorias huelgas, y en casos extremos hasta actos de violencia con resultados fatales. Princeton se mantuvo relativamente tranquila, pero incluso en nuestro remanso se sucedían las reuniones y demostraciones en contra de la autoridad académica. Los estudiantes que creían poseer talento para la ciencia o la ingeniería se ponían a la defensiva, acusados por sus colegas de ser «irrelevantes» o, según otra expresión que hizo fortuna por entonces, «contraproducentes».

En el cénit de aquel período de desasosiego universitario me llegó el turno de impartir el primero de nuestros cursos de Física a la clase más numerosa. El nivel era bastante alto y requería de cálculo, así que la audiencia comprendía a futuros físicos y científicos, especialistas en Matemática Superior, ingenieros, algún que otro científico potencial de otras ramas y un par de futuros médicos dispuestos a correr el riesgo de rebajar sus calificaciones por aprender Física a un nivel superior que el requerido en su facultad.

Ante la perspectiva de un año en que tendría que enseñar más del doble de lo normal, parecía razonable el optar por una reorganización y modernización del curso como tarea a la vez estimulante y, de esperar, útil. Algunos de los cambios fueron de poca monta: el abandono de la pizarra tradicional en favor de un proyector elevado que me permitiera permanecer próximo a la primera fila de alumnos y vuelto hacia ellos en vez de darles la espalda. Prescindimos de deberes caseros que someter semanalmente con fines de calificación y optamos por «guías de estudio» y folletos programados en los que el alumno podía encontrar ayuda y directrices válidas en caso de que fuera por libre. A fin de mantener una corriente activa y dinámica de información contrastada, volvimos a la vieja costumbre de las pruebas cortas semanales, de fácil y rápida valoración.

En Princeton, como en la mayoría de las instituciones dedicadas a la investigación, se había producido una gran variación en cuanto a la asistencia asequible a los alumnos fuera de las horas de clase. Algunos miembros del claustro,

cuya investigación dependía de máquinas situadas a miles de kilómetros de la universidad, eran a menudo inaccesibles, a pesar de sus buenas intenciones. Para paliar este problema instituímos un sistema cooperativo de turnos de guardia, de manera que en cualquier hora del día en que un estudiante pudiera buscar razonablemente ayuda hubiera alguien dispuesto a prestársela.

Para unificar el curso era necesario elegir un tema principal; fue fácil: Apolo 11. El primer alunizaje había tenido lugar con éxito hacía tan sólo dos meses, y Apolo 12 tenía su lanzamiento programado para dos meses después de haberse iniciado el curso. El Proyecto Apolo, aunque sufría ya un poderoso boicot en base a su inutilidad para resolver los problemas interiores de las ciudades, resultaba fascinante y ofrecía numerosas posibilidades para llegar de forma amena y con materia moderna y sólida al ánimo de los alevines de físico de aquel primer año. Siguiendo este plan durante el curso 1969-1970, cada aspecto de la Física General fue ilustrado con ejemplos pertinentes de su aplicación reciente al viaje de los humanos al espacio exterior; así, fueron considerados temas de fuerza, energía y momento, de mecánica celeste, termodinámica y teoría eléctrica. Para una de nuestras sesiones de laboratorio instalamos incluso un simulador basado en una versión primitiva de ordenador mediante el cual los alumnos participantes podían simular la acción del alunizaje. Si sus conocimientos sobre las direcciones y momentos óptimos de ignición y orientación de los cohetes auxiliares eran deficientes, se encontraban con el combustible agotado o a punto de agotarse cuando todavía se hallaban a cien metros del punto de contacto; créanme, la tensión llegaba a un punto álgido en el laboratorio cuando semejante evento se producía.

En cualquier curso numeroso el profesor debe dirigir la instrucción al nivel medio de la clase, para disponer seguidamente la ocasión de que quienes se revelan mucho más lentos o mucho más rápidos que la media, puedan contar con medidas específicas. En la clase de Física 103 y una vez efectuados los cambios que he descrito, los estudiantes menos brillantes contaban con toda la ayuda necesaria para ponerse a tono; quedaba por resolver la cuestión planteada por aquellos cuya preparación, talento natural o motivación les situaban tan por encima de los demás que la instrucción convencional era para ellos muy poco estimulante. Durante los primeros meses del curso, antes de que la sobrecarga de trabajo se acumulara excesivamente sobre todos los alumnos, mantuve un pequeño seminario voluntario con miras a aliviar dicha situación.

Dados los peculiares problemas de 1969 en cualquier campus, me pareció oportuno atacar la cuestión del lugar ocupado por el científico y el ingeniero en la sociedad de los decenios siguientes. Estaba claro que los días de fe ciega en la ciencia y el progreso habían pasado. No sólo debido a las necesidades reales del mundo circundante, sino por las dudas y vacilaciones de los propios científicos potenciales en lo tocante al ambiente, a la mejora de la condición humana y a la interacción entre ciencia y sociedad.

La imagen tradicional del científico, así como el sistema valorativo en base al cual se suele medir el éxito en este terreno, hablan indefectiblemente de especialización. La gastada frase de «sabe cada vez más sobre cada vez menos» resume la impresión general al respecto, y hasta hace poco aquellos científicos que traspasaban los límites entre diferentes campos de la especialización eran considerados con no poca reserva por sus propios colegas. No es posible desechar esa actitud alegremente. Es fácil cometer errores cuando se trabaja en un terreno con el que no se está familiarizado, y es demasiado fácil embarcarse en numerosos proyectos dispares en tanto que no se hace una labor verdaderamente seria en ninguno. Hay demasiados ejemplos desafortunados de buenos científicos con el valor suficiente para traspasar las fronteras que delimitan varias disciplinas científicas a los cuales ello les ha servido tan sólo para descubrir, por lo común con gran dolor y al cabo de varios años de esfuerzo perdido, que no les era posible obtener un dominio adecuado del nuevo tema en el escaso tiempo de que disponían.

Sin embargo, los estudiantes de 1969 buscaban sentido en su carrera y pugnaban por hallar el modo en que su talento para los temas técnicos pudiera beneficiar a la humanidad. Sobre todo, trataban de eludir la especialización estrecha, aquella que les situaría en esa triste categoría descrita por Dickens:

«...La miseria que les era común consistía, claramente, en que intentaban intervenir, con la mejor intención, en los asuntos de los hombres, y habían perdido ya su poder para siempre».^[1]

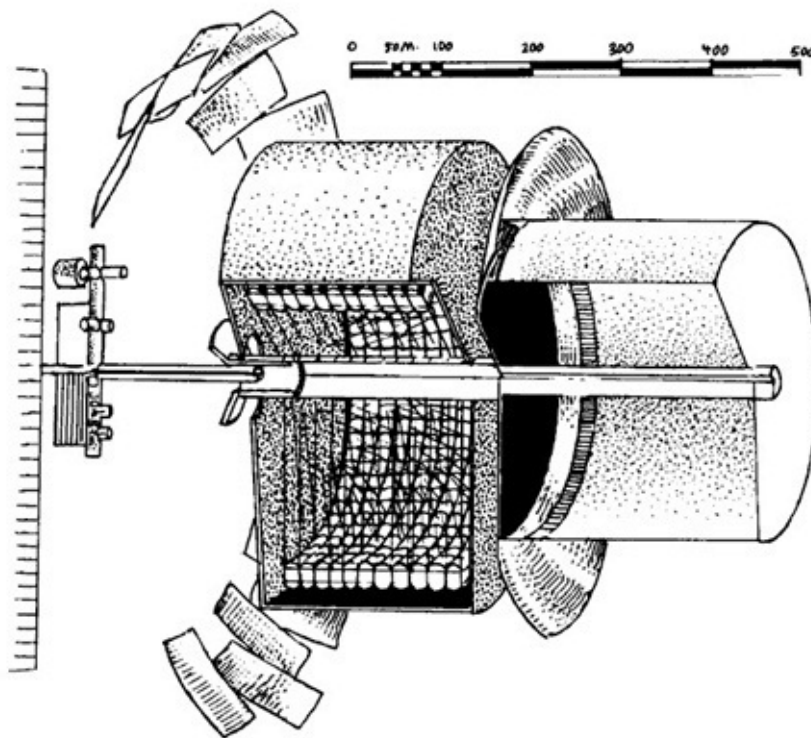
En nuestro seminario, celebrado cada semana y concurrido generalmente por ocho o diez estudiantes, yo esperaba poder discutir problemas de ingeniería a gran escala que combinarían en sí varias características: tendrían que ser de alcance suficiente amplio para interesar, y sus soluciones habrían de beneficiar a un amplio espectro de la humanidad, especialmente al sector de los que están en desventaja por accidente o lugar de nacimiento. Si estos problemas habían de ser abordados por los alumnos integrantes de nuestro seminario, las soluciones no debían requerir de materiales, técnicas o conocimientos de ingeniería que no estuvieran comprendidos en nuestro arsenal a nivel del decenio de 1970 o, como más, de comienzos del siguiente. Según se vio, una vez fue elegido un tema de trabajo, la dedicación fue tan completa que no hubo lugar a señalar un segundo tema.

Me han preguntado a menudo por qué elegí como cuestión primera: «¿Es una superficie planetaria el lugar adecuado para una civilización tecnológica en expansión?» No tengo respuesta pronta, salvo en lo que atañe al hecho de que mi interés por el espacio como marco de la actividad del hombre data de mi primera infancia, y por razón de que siempre he sentido un irrefrenable impulso a verme libre de limitaciones y de regimentación. La sociedad de estado estático, plagada de leyes y reglas, propuesta por los primeros investigadores del tema de la limitación del crecimiento y desarrollo, me ha resultado siempre aborrecible.

El nivel al que abordaríamos el asunto había de ser necesariamente modesto. Los

estudiantes de Física 103 en octubre de su primer año hacía tan sólo cuatro meses que habían abandonado la enseñanza secundaria.

En primer lugar se abordó el tema de la energía: en el espacio la de origen solar sería asequible en todo momento. No podíamos imaginar una fuente más barata, más inagotable y más limpia para una sociedad que, en nuestro supuesto, aumentaría cada vez más en su capacidad tecnológica, si no necesariamente en población. La posibilidad de colonizar planetas distintos de la Tierra podía desecharse rápidamente por más razones que las directamente vinculadas a la inadecuación de un planeta para el empleo de la energía solar. La superficie territorial asequible era insuficiente; el recurso a la Luna y a Marte doblaría apenas el área con que ya contábamos, y dado nuestro actual ritmo de crecimiento, ese suplemento sería usado totalmente en tan sólo treinta y cinco años.



¿Qué podía decirse acerca de unas colonias en el propio espacio libre? En primer lugar se tocó el tema de su posible tamaño. Desde el principio pensábamos ya en términos de algo semejante a la Tierra, no sólo con miras a una mera estación espacial. Debía existir la posibilidad de llevar una existencia humana normal, completa, con gravedad, atmósfera, luz del sol, plantas en crecimiento, árboles, animales...

Estaba claro que sólo había tres clases de formas geométricas posibles para un navío del espacio que contuviera atmósfera y girara, a fin de dar lugar a una gravedad artificial: la esfera, el cilindro y la rueda (un toroide). Esta última había sido discutida y exhaustivamente en la década de los cincuenta, y nos parecía más apropiada para una estación espacial que para nuestro proyecto de minimundo. La esfera nos parecía

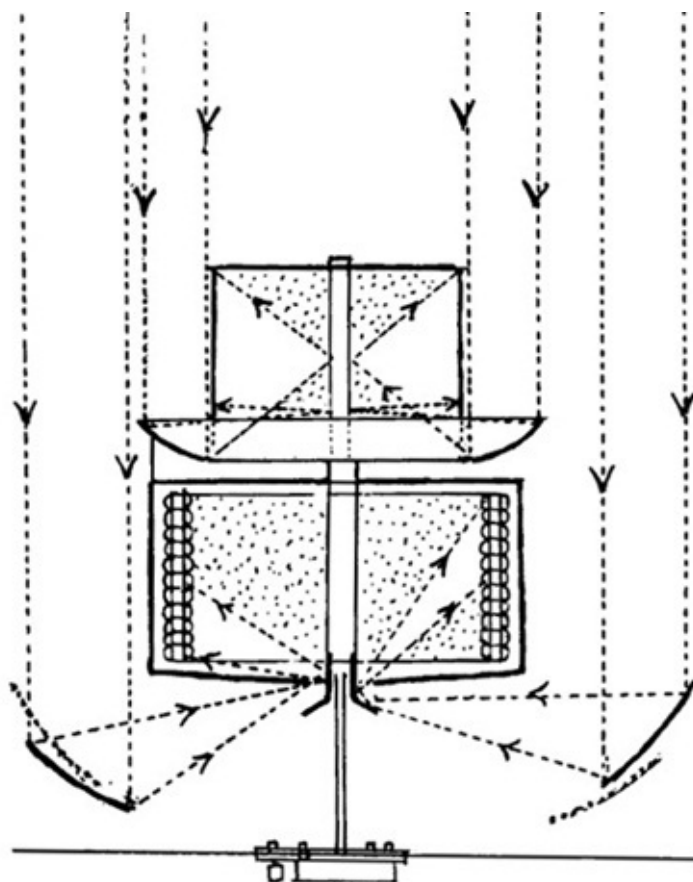
a su vez menos deseable que el cilindro, debido a que tratábamos de maximizar la superficie de terreno utilizable a gravedad casi terranormal.

Nuestras primeras suposiciones parecen ingenuas hoy: pensábamos siempre en una presión atmosférica plenamente normal y en un espesor del suelo de un metro y medio aproximadamente, mucho más de lo que usan la mayoría de las plantas. Aún así, nuestros primeros cálculos nos demostraron que una carcasa de acero que girara para proporcionar una gravedad semejante a la existente en la superficie de la Tierra y cargada con una profundidad de suelo como la apuntada, además de contar con atmósfera, podría ser construida con un diámetro de varios kilómetros. Este primer resultado numérico nos sorprendió, al tiempo que estimulaba aún más nuestro interés en cuestiones más complejas y elaboradas.

¿Y el sitio para extenderse? Por aquel tiempo no teníamos sino una vaga idea acerca del volumen total de materia disponible en el cinturón de asteroides, aunque estimábamos que bastaría para construir colonias espaciales con una superficie territorial total por lo menos varios miles de veces mayor que la de la Tierra. Fue Freeman Dyson, más de un año más tarde, quien me orientó hacia esa mina de información, *Astrophysical Quantities*, de Alien, donde podían hallarse las cifras exactas^[2].

Faltaba dar con la manera de que la luz del Sol pudiera ser introducida en el cilindro en rotación, preferiblemente conservando el efecto visual del disco normal en el firmamento y su lento discurrir de cada día. Puede que fuera en el cuarto o quinto de mis seminarios cuando se terció la ocasión de acudir con un modelo confeccionado con piezas de cartón, plástico y papel: un cilindro subdividido en seis segmentos, tres de ellos transparentes, a los cuales se podía hacer llegar la luz del sol por medio de espejos planos situados en el exterior.

Mis cálculos, una vez finalizado el seminario, fueron realizados en ocasionales ratos de ocio, en fines de semana o a altas horas de la noche, y a menudo cuando por razón de mis ocupaciones me vi obligado alguna que otra vez a pasar un día o dos en otro país, alejado de mis obligaciones docentes habituales. Cuando más profundamente se examinaron los problemas del establecimiento de comunidades espaciales, más razonables parecían las soluciones halladas para cada problema, experiencia que rara vez le cabe al científico, pues las más de las veces las ideas nuevas son invalidadas tan pronto como aparecen los resultados de los primeros cálculos. Y, así, uno aprende a reconocer y valorar las excepciones. La sensación era, decididamente, de *deja vu*. Trece años antes, en 1956, había tenido la fortuna de experimentar la misma excitación, el mismo sentimiento de encontrarme explorando una nueva senda lógica, cuando empecé por entonces a estudiar la posibilidad de los «anillos de almacenamiento».



Entradas de luz solar al Palacio de Cristal.

En 1956 tenía veintinueve años y había permanecido ya dos en Princeton en calidad de instructor o ayudante. Por invitación del profesor M. G. White, había resuelto trabajar en el diseño de un gran acelerador de protones de nueva concepción. El proceso del asunto fue divertido; puede que sólo en aquellos lejanos días de mediados de los cincuenta, cuando las ciencias físicas gozaban de gran predicamento, de notable apoyo y de pocos seguidores, fuera posible que alguien tan joven pudiera intervenir de manera relevante en un problema como el del diseño de sistemas a gran escala.

En el Oeste Medio, el profesor Donald Kerst y un gran grupo de colaboradores habían empezado a trabajar sobre la posibilidad teórica de construir un tipo especial de acelerador en el que dos haces de partículas pudieran circular simultáneamente en direcciones opuestas. En semejantes máquinas se producirían ocasionales colisiones, las cuales serían las más energéticas que pudieran lograrse en laboratorio alguno. La escala aplicable a la medida de tales colisiones se encontraría tan por encima de las que caracterizan las transiciones nucleares, que no podía esperarse en modo alguno que se produjeran (ni para bien ni para mal) descargas de energía nuclear, como en el caso de una bomba atómica o de un reactor. Serían utilizadas para la investigación pura y podrían enseñarnos una enormidad acerca de los constituyentes del neutrón y del protón.

Lamentablemente, esa máquina espacial proyectada por el grupo encabezado por el profesor Donald Kerst hubiera sido muy voluminosa y cara, a la vez que sólo

hubiera permitido acceso marginal para los instrumentos de detección en el lugar de interacción. Considerada la situación, parecía que el concepto de haces colisionantes poseía auténtica realidad teórica, pero de práctica tan cara y difícil, no obstante, que bien pudiera revelarse inútil por falta total de rendimiento.

Al considerar cuidadosamente el asunto parecía razonable preguntarse: «¿Es necesario que la colisión tenga lugar en la misma máquina en que son acelerados los protones?» Los cálculos efectuados en Princeton revelaban que los dos problemas, aceleración y almacenamiento, podían tratarse separadamente. Así empezó el moderno desarrollo de los hoy llamados «anillos de almacenamiento». Algunas ideas similares, en forma al parecer insuficientemente convincente para justificar más inversión de tiempo y trabajo, se le habían ocurrido a un ingeniero europeo, Rolf Wideroe, durante el transcurso de la Segunda Guerra Mundial. La labor de Wideroe, sobre la que él mismo me llamó la atención al cabo de unos meses de publicado mi concepto, había quedado sepultada en forma de patente alemana de los tiempos bélicos y, que yo sepa, no volvió a ser publicada. William Brobeck, trabajando en el ciclotrón de Berkeley, reinventó los anillos de almacenamiento hacia el mismo tiempo que yo.

Desde la primera concepción hasta la realización práctica, en forma de experimento de elevada energía, transcurrieron casi diez años de ininterrumpida tarea. Para el proyecto de contracción se me unieron colegas de Princeton y Stanford, y por fin el primer experimento con un haz colisionante de elevada energía fue llevado a cabo por nuestro grupo en 1965. Reveló que la carga de electrón se halla confinada en un volumen diminuto: menos de una milésima de la del protón.

Incluso entonces habría sido imposible imaginar-se que el concepto del anillo de almacenamiento, un tiempo objeto de tantas controversias, pasaría en diez años más desde el estado de aceptación al de universidad casi total. Desde 1976 casi toda la labor realizada en países diversos en el terreno del diseño de nuevos aceleradores de partículas se basa en máquinas que incorporan anillos de almacenamiento para haces colisionantes. Puede que fuera aquella experiencia del paso de la incredulidad a la aceptación la que me animó, en 1969 y a principios de 1970, a proseguir mis estudios acerca del tema de las comunidades espaciales, otra «idea loca» basada en una clase de lógica muy semejante. En 1969, como en 1956, «los números salieron otra vez».

Mi doble tarea docente y la investigación sobre elevada energía configuran un trabajo más que saturante en 1969-1970; pero comoquiera que mis cálculos sobre las condiciones y viabilidad de las comunidades espaciales seguían cuadrando, empecé a interesarme por comunicárselos a otros. Al principio esa comunicación no pasó de breve comentario marginal: a mis tres hijos en el curso de largos paseos por los bosques próximos a Princeton mediado ya el otoño y al iniciarse la primavera. Me parecía importante discutir con mis hijos una nueva opción que pudiera ampliar considerablemente el margen de posibilidades que acaso se les ofreciera en el curso de sus vidas. A veces discutía mi trabajo con amigos, pero me sentía cohibido, ¡tan

simples y llanas eran las consideraciones físicas de mi idea!, de abrirme ante mis colegas.

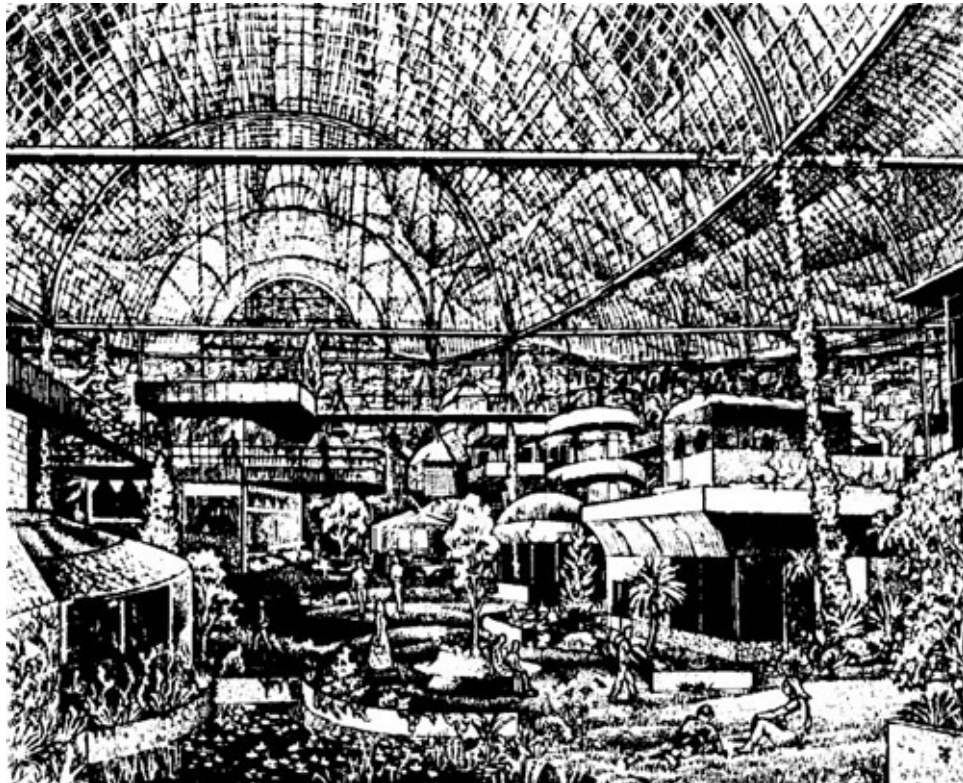
Un anochecer, en casa de un amigo, alguien sugirió la posibilidad de registrar por escrito esas ideas con miras a su publicación en una revista mensual de gran tirada. Siguió un interesante cambio de impresiones con el editor de la misma. Reveló su curiosidad por el tema, preguntó interminablemente, y al final llegó el rechazo en forma de carta, más o menos en estos términos: «Lo siento; me fascina la idea, pero he preguntado diez cosas y usted me ha dado respuesta a todas; ahora me gustaría preguntarle cien más, y me temo que el proceso respectivo no va a converger».

Probé y probé, en 1971-72, de exponer las nuevas ideas ante un auditorio más amplio en busca del contraste y la discusión detallada. Al hacerlo experimenté ese fenómeno bien conocido de todo candidato a autor: el tren interminable de notas de rechazo. De acuerdo con las reglas, enviaba mi artículo a sólo una revista cada vez.

Seguían por lo común de acuerdo a seis meses, durante los cuales mi trabajo permanecía detenido en manos de su potencial editor y, por tanto, no podía ser presentado a otros. Yo no deseaba escribir mis ideas en forma de ciencia ficción, pues me temía que procediendo así situaría el tema en el reino de la fantasía, desde el cual sería aún más difícil llevarlo a la atención científica seria. De ahí que al fin me pareció oportuno recurrir a dos publicaciones orientadas hacia la divulgación, pero con rigor suficiente. En ambas había escrito ya en el decenio de 1960; la primera, y algo menos profunda que la otra, rechazó mi aportación inmediatamente: el editor no quiso ver siquiera el manuscrito. Ello era por lo menos de agradecer, pues ahorrra considerable tiempo. El de la segunda se brindó a leer mi trabajo y a someterlo a valoración crítica. Para entonces nos encontrábamos ya a mediados de 1972, casi tres años después de la formación primera de las ideas básicas.

La segunda revista, de corte relativamente científico, rechazó también a la postre mi contribución en base al juicio emitido por sus dos críticos. El editor, no obstante, fue lo suficiente amable para acompañar a su misiva algunos pasajes del veredicto emitido por sus lectores. Es interesante recordar algunos aspectos del criterio aplicado a la evaluación de mi obra. Uno de los críticos se revelaba casi en estado de choque; sus argumentos podrían resumirse como sigue: «Nadie más piensa en esa línea; esas ideas, por consiguiente, deben ser equivocadas».

El segundo crítico, más cauto en sus opiniones, daba por sobrentendidos algunos supuestos asaz coherentes con las principales ideas contemporáneas, pero que no tenían vigencia alguna en el marco de las nuevas dimensiones de oportunidad abiertas por el concepto de la humanización del espacio. Curiosamente, conocí y cambié impresiones con este segundo lector a los pocos meses.



Hábitat en Palacio de Cristal; áreas residenciales con luz solar.

Al pensar en ese período, hace ya algunos años, en que me era tan difícil encontrar audiencia, no puedo evitar el ejercitar cierta medida de introspección, cosa frecuente, por lo demás, en los hombres que han alcanzado la cuarentena. Para entonces uno suele hallarse establecido ya en una carrera formal, adecuadamente remunerada, aunque somos muchos los que pensamos ser útiles y productivos todavía, acaso como escritores o publicistas, muchos años más tarde, pasada ya la edad del retiro. Es imposible no mirar atrás y hacer por descubrir a qué pauta han respondido los errores cometidos y, es de esperar, los talentos desarrollados. En mi caso es fácil el recuento de debilidades, ¡son tantas! Lo brillante es más difícil de descubrir. Cuando comparo mi trabajo con el de algunos colegas, hallo en el mío un grado modesto de la competencia profesional usual en las áreas estándar de matemáticas, física, diseño técnico, etc, pero apenas puedo reivindicar más que estricto profesionalismo en ellas. Si reparo en esos dos períodos únicos en que inicié algo que se reveló ciertamente valioso, pero que nadie consideraba, descubro estrechas similitudes en ambos. Tanto de los anillos de almacenamiento de energía como de la humanización del espacio cabría decir que en su concepción no intervenía ningún talento matemático extraordinario, ni alarde de abstracción teórica alguno, si no que, de haber efectivamente alguna cualidad propiciatoria del logro, no era otra que el hallar maneras fáciles de resolver problemas de diseño de sistemas a gran escala. En cada caso, la solución requería separarse del camino seguido por otros. Tanto en el caso de los anillos de almacenamiento energético como en el de las comunidades espaciales, intervenían dispositivos o subsistemas críticos para el éxito que yo tenía que inventar antes de que la nueva síntesis pudiera tener lugar. En el

primer caso fue el llamado «inflexor de línea de retardo», que podía pasar el haz de una partícula de un canal a otro en una pequeña fracción de una millonésima de segundo sin menoscabo de la calidad del haz. En el caso de la colonización humana del espacio, el dispositivo esencial parece ser el impulsor de masa, la máquina que ha de permitir el lanzamiento de materiales desde la superficie de la Luna. Probablemente en ambas situaciones, y ciertamente en el primer caso, el «dispositivo esencial» era tan sólo la primera y más fácil solución de un problema que, eventualmente, se podía resolver de varios modos diferentes.

Este talento, si es tal, no es profundo, aunque puede que me reconforte el hecho de que parece conducir a logros que poseen efectivo valor.

En el verano de 1972, el problema de alcanzar las nuevas posibilidades discutidas había adquirido suficiente seriedad como para inquietarme considerablemente. Por entonces el proceso de las misivas de rechazo había proseguido durante dos años largos y la lista de publicaciones no probadas aún, adecuadas para una primera comunicación en torno a la novedosa idea de las comunidades espaciales, se volvía más y más pequeña. Mis hijos y yo pasamos un mes juntos acampados en la parte norte del estado de Nueva York y en Nueva Inglaterra, y en ese tiempo experimenté por primera vez esa maravillosa sensación de libertad asociada con el aprendizaje del vuelo sin motor, con sus tres dimensiones de libertad y la interacción íntima entre la máquina, el piloto y la atmósfera invisible y siempre activa. De vuelta de nuestras vacaciones de acampada y vuelo sin motor en Elmira y Franconia, nos detuvimos un día para visitar a unos viejos amigos, Brian y Joyce O'Leary. Brian y yo nos habíamos conocido cinco años antes en San Antonio como finalistas de una serie de ensayos y pruebas para científicos-astronautas. Más tarde, Brian había ingresado en el Cuerpo de Astronautas, que abandonaría después, y en 1972 ocupaba el puesto de profesor de Astronomía en el Hampshire College. Brian y otro amigo de los días de San Antonio, el profesor George Pimentel, de Berkeley, me animaron a saltarme el cauce tradicional de todo proceso de publicación de carácter académico. «Dáselo a conocer a la gente», me dijeron, y Brian apuntó la posibilidad de prepararme una conferencia aquel otoño ante sus estudiantes del Hampshire College.

A mi vuelta a Princeton y con el inicio del nuevo semestre, otro viejo amigo, el profesor John Tukey, abundó en la misma idea. Celebramos un prolongado almuerzo en el club de la Facultad, durante el cual John iba seleccionando de su agenda de bolsillo nombres de personas situadas en los más diversos campos del quehacer académico a quienes yo podría solicitar comentarios acerca de las nuevas ideas. John es ya legendario en Princeton. Se cuenta que en los días anteriores a la invención de los computadores electrónicos, el programa anual para todas las disciplinas impartidas en Princeton se efectuaba de manera muy sencilla: John Tukey se echaba cada mañana en un diván, y eso durante tres días, mientras alguien le leía las necesidades horarias de cada asignatura, conflictivas naturalmente con las que a su vez reclamaban las otras. John permanecía silencioso durante todo el tiempo, y al fin,

llegado el cuarto día y sin haber usado jamás papel o lápiz, procedía a dictar el programa completo para todas las materias, con asignación de horas, secuencias y ordenación relativa, etc., sin que jamás se presentase conflicto alguno en el transcurso del año así organizado. Para este fin, actualmente se cuenta con un computador electrónico en sustitución de John, quien puede disponer así de algunos días extra para atender a sus responsabilidades como director del Departamento de Estadística^[3].

Echándose atrás en su silla al final de nuestra discusión y elevando la mirada al techo como tiene por costumbre, John puso fin al encuentro con una observación que, amablemente, suponía para mí una aceptación más allá de mis aspiraciones: «Acuérdate de Goddard —dijo— y no te desanimes».

En octubre de 1972 volvía a atender al doble de lo normal en preparación de un semestre que iba a ser dedicado enteramente a la investigación de la física de elevada energía en la Stanford University.

El programa era bastante denso y yo sólo podía enseñar en Hampshire, sin perder ninguna clase en Princeton, si me pasaba una tarde en el trayecto de cuatro horas y media hasta Amherst y me levantaba al día siguiente a las tres de la mañana para rehacer el viaje de regreso. Afortunadamente los programas de esta clase son más corrientes en los trabajos experimentales en el campo de la física de elevada energía, de modo que ya estaba hartado a ellos.

Brian había dado aviso de la conferencia a sus alumnos, y la verdad es que de boca en boca la información se había extendido por todo el centro; el acto, que se inició a las ocho de la tarde, estuvo muy concurrido; algunas diapositivas preparadas a partir de mis crudos bocetos vinieron a ilustrarlo; mi exposición oral duró menos de una hora.

Con todo, la respuesta de los estudiantes fue positiva e intensa, lo suficiente para prestar nuevos ánimos. Las preguntas se sucedieron a lo largo de una hora más, y al final, uno de mis anfitriones, el decano Everett Hafner, de la Escuela de Ciencias de Hampshire, se dirigió a la audiencia:

«Tan sólo quiero decir —empezó— que cuando oí hablar del asunto por primera vez creí que no se trataba sino de una serie de ideas deslavazadas y locas. Después de haber asistido a esta discusión más pormenorizada he cambiado de opinión, y deseo que ello conste.

»Debéis saber asimismo que al orador le espera mañana un largo viaje de regreso a Princeton, donde debe impartir una clase a las ocho cuarenta; sugiero, por tanto, que hagamos una pausa de cinco minutos y que quien desee preguntar aún alguna cosa lo haga después».

Para entonces habría quizá unas doscientas personas en el auditorio; pocas lo habían abandonado. Para mi sorpresa, placer y agotamiento, finalizado el pequeño descanso, la mitad por lo menos volvió simplemente a ocupar su sitio y el coloquio se reanudó durante otra hora, hasta que al final fui rescatado por el cuerpo facultativo.

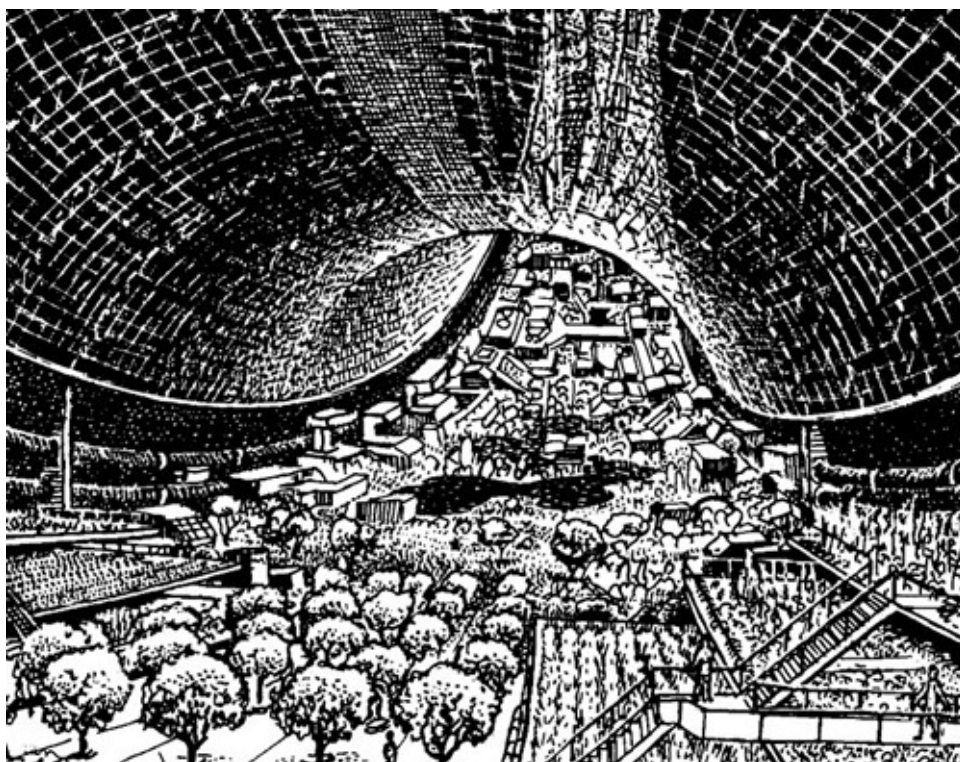
De regreso a la casa del decano, donde iba a pasar la noche, mi anfitrión empezó a hacerme preguntas más bien extrañas y crípticas.

«¿Se siente usted personalmente afrentado —preguntó—, por todas esas notas de rechazo procedentes de los editores? ¿Acaso se trata para usted de una cuestión personal, en cierto modo, el que haya o no personas dispuestas a discutir sus nuevas ideas?»

Me eché a reír y respondí: «No, en absoluto. Mi carrera profesional se basa en mis investigaciones sobre alta energía y en mi labor como profesor, y no he tenido dificultad alguna en la publicación de mis trabajos regulares. Se trata simplemente de que empieza a ser frustrante el ver que, creyendo hallarme tras la pista de algo que estimo potencialmente muy beneficioso para la humanidad, nadie parece dispuesto a publicar mis sugerencias».

«Era importante para mí hacerle esta pregunta —continuó mi interlocutor— porque ahora puedo decirle que yo fui uno de los críticos que rechazó su artículo. Después de lo ocurrido esta noche, creo que debo escribir al editor y hacerle ver que he cambiado de opinión».

Incluso ahora, tres años después, recuerdo con placer el sosiego que me invadió de resultas del calor y la comprensión con que fui acogido por todos los presentes en mi conferencia de Hampshire. Han seguido muchas más disertaciones y actos públicos en universidades y colegios, en ocasiones con respuestas ciertamente entusiásticas, pero Hampshire fue el primero y jamás podré olvidarlo.



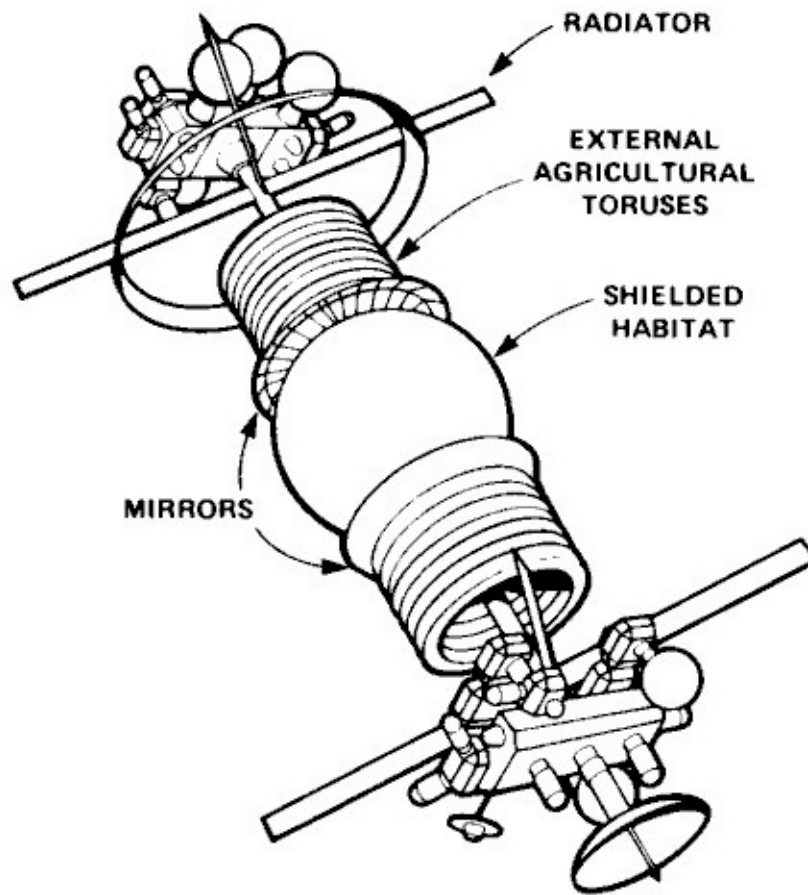
Toroide interior.

Avanzado ya el otoño intervine en un coloquio en nuestro Departamento de Física de Princeton, y uno de los estudiantes, al ver el anuncio del mismo, «Colonización

del Espacio», se dirigió a mí poco antes de que tuviera lugar. «Debe de tratarse de una broma académica, ¿no? —preguntó—; supongo que hablará del espacio-tiempo relativístico».

Finalizada la conferencia, unas cuantas personas permanecieron en la sala para discutir entre sí las nuevas ideas. Una de ellas, el profesor Freeman Dyson del Instituto de Estudios Avanzados, convenientemente situado a sólo cinco minutos de nuestra universidad, prolongó su presencia en la sala muchísimo tiempo. El profesor Dyson había escrito años antes sobre el tema de las civilizaciones avanzadas y el probable desarrollo de tecnologías que harían posible la habitación del espacio. De hecho, sugería que una civilización superavanzada podría construir hábitats espaciales que constituyeran una esfera completa alrededor de su sol, con lo que el aprovechamiento de la luz sería tan total que sólo las radiaciones infrarrojas escaparían del sistema estelar^[4]; la consiguiente variación espectral sería la pista que delataría la existencia de semejante sociedad avanzada. El profesor Dyson llevó mi atención aquel día sobre los primeros trabajos de J. D. Bernal, al tiempo que sugería la posibilidad de que pudiere hallarse algo de interés para el tema en la obra temprana de Konstantin Tsiolkowsky.

Antes de partir para California a finales de diciembre de 1972 me sentí nuevamente animado a un nuevo asalto contra el estamento de las publicaciones académicas. Pero esta vez hice uso de mi experiencia como cabeza de un grupo implicado en la investigación en equipo de los problemas de la física de la alta energía. Sabía que para obtener la aprobación para una nueva labor experimental era necesario, las más de las veces, hablar personalmente con los miembros del comité rector. Esta vez me dirigiría a alguien que conociera y preguntaría mis ideas en el curso de una conversación privada mejor que por escrito. Un viejo amigo de mis tiempos de facultad, el doctor Harold Davis, era editor de la revista *Physics Today*, publicación no especializada del Instituto Americano de Física. Fui a Nueva York y hablé con Hal en el curso de un almuerzo, dejándole además mi última versión del manuscrito tan repetidamente rechazado. Muchos meses más tarde, tras cuidadosa recensión y crítica, Hal escribió "que *Physics Today* lo publicaría si fuera nuevamente redactado con el fin de dar respuesta a muchas más cuestiones de detalle. La labor ocupó todo el tiempo libre que pude entresacar del año académico de 1973-74.



Esfera Bernal (Isla Uno) diagrama (sin los espejos centrales para mayor claridad).

En 1973, ocupado yo plenamente en la experimentación del nuevo y gran dispositivo anular de almacenamiento de energía, del Stanford Linear Accelerator Center, llamado SPEAR, tuve ocasión de dar, no obstante, numerosas conferencias en diferentes instituciones y universidades de la Costa Oeste: Cal Tech, Stanford y en los campi de la Universidad de California en San Diego, Los Angeles, Berkeley y Santa Cruz. En la mayoría de los casos la respuesta fue entusiasta, y empezó a correr la voz acerca de esos nuevos desarrollos y conceptos. Llegaron cartas de encabezamientos como: «No supe de su conferencia hasta que hubo tenido lugar, pero estoy al corriente de su contenido gracias a un amigo. Desearía saber más y...».

Una carta llegada a finales de 1973 provenía de un estudiante muy joven del Instituto Tecnológico de Massachussets, Eric Drexler. Decía: «Cuando llegué a la Universidad me dispuse a averiguar quién estaba trabajando por entonces sobre el concepto de la colonización del espacio; me parecía una cuestión tan obvia que, lógicamente, alguien se ocuparía ya de ello. Traté de comprobar si es verdad que uno puede ponerse en contacto con cualquiera en este mundo por medio de no más de cinco conferencias telefónicas o demandas de información; el profesor Philip Morrison me ha aconsejado que le escriba». Y así dio comienzo la que ha venido a convertirse en una gran amistad, que ya a principios de 1974 se vio cimentada por la visita que hicieron a Princeton Eric y un amigo suyo de la Universidad de Columbia,

David Anderson. ¡Había ahora, pues, tres hombres suficientemente valerosos para reunirse en un lugar y hablar de la colonización del espacio! En febrero de 1974, sabedor de que el artículo de *Physics Today* aparecería unos meses después, pensamos que nuestro valor bastaría incluso para atrevernos a organizar una pequeña convención sobre el tema.

Eric Drexler, David Anderson y yo, junto con un joven graduado de Princeton, Eric Hannah, fijamos la reunión para primeros de mayo, justo después de la terminación de las clases. Pocas posibilidades teníamos de organizar un acto complejo, pero estimé que, por principio, tendríamos que ser capaces de obtener algo de dinero con que financiar el encuentro. Después de todo, habíamos gastado más de cien mil millones de dólares en la guerra de Vietnam y gastábamos aproximadamente otro tanto cada año en programas de desempleo y seguridad social. Me parecía que la colonización del espacio resultaba pertinente con respecto al conflicto constante entre el bienestar de los hombres y las tasas de empleo.

Empecé por las fundaciones bien establecidas y pronto descubrí que ninguna de ellas se sentía inclinada en modo alguno a correr riesgos, a su entender, innecesarios. Las fundaciones suelen tener objetivos muy concretos, y sus directivos no gustan de salirse de la senda marcada por concesiones previas. Hay, desde luego, las que gozan de fama por auspiciar todo cuanto se sale de lo convencional y puede constituir un logro fuera de lo común, pero no tardé tampoco en descubrir que «nuevas direcciones» significaba «no realmente nuevas».

Después de probar infructuosamente con varias de esas instituciones, sobre todo aquellas que me habían sido recomendadas por la amplitud de sus miras, fui dirigido a una pequeña organización, muy especial, la Point Foundation de San Francisco. Las oficinas se encontraban en un pequeño habitáculo de dos habitaciones, en los altos de la Glide Methodist Church, al que se llegaba (en un día lluvioso de «Frisco») a través de unos tablones de madera dispuestos desde la escalera principal hasta el tejado. Point, como supe más tarde, debía su existencia a una brillante invención de Stewart Brand: *The Whole Earth Catalog*. Los beneficios derivados de la venta del catálogo sostenían Point, y la fundación había sido organizada de manera que expresamente animara y auspiciara toda innovación. Ningún empleado o funcionario de Point, ni siquiera el auxiliar administrativo con dedicación parcial, que cuidaba de atender a la correspondencia, podían permanecer en la organización más de tres años. Cada uno de sus seis directivos recibía una modesta cantidad de dinero al principio de cada año, y a partir de ese momento estaba en situación de dedicarlo a algún fin caritativo de su propia elección y en el que él, como individuo independiente, creyera; no había comités, repasos de cuentas, ni siquiera hacía falta acuerdo alguno de los consejeros sobre un determinado subsidio.

En aquel habitáculo, con la lluvia desatada fuera, descubrí un par de oficinas muy acogedoras repletas de libros. Richard Austin, secretario de la Fundación, me aguardaba. Richard, amistoso y cordial, totalmente desprovisto de los «aires de un

consejero de fundación», expresó su interés personal; pronto se nos unió Michael Phillips, otro directivo, educado como matemático, y hoy hombre de variados y numerosos intereses. En el curso de un excelente almuerzo en el vecino San Francisco-Hilton, Michael se declaró dispuesto a suspiciar la convención, para lo cual aportó seiscientos dólares, cantidad pequeña conforme a la norma, pero importante para Point. Acertadamente, Michael sugirió que la suma fuera concedida formalmente a la universidad, de modo que, en sus palabras, «el establishment se viera forzado a reconocer la existencia de tu trabajo cumplimentando toda suerte de formularios y generando una retahíla de protocolos. En el seno de numerosas instituciones, ésta es la única realidad que entienden».

A medida que se aproximaba el momento de la convención, la acción de Michael provocó una respuesta, que entonces significó poco para mí, pero que se revelaría importante. Jamás se me había ocurrido pensar en la publicidad, vinculada a nuestra reunión; bastante me parecía ya que pudiera tener lugar. Sin embargo, cuando el subsidio universitario, provocado por la concesión de Point, fue aprobado, como Michael había predicho, fueron interminables las formalidades implícitas, y entre ellas, claro está, estaba el dar conocimiento público del hecho. De ello se hizo entonces eco la oficina de relaciones e información pública de la universidad, donde Florence Helitzer paró mientes en ello y pensó que no sería malo notificarlo a la prensa. Al principio reaccioné negativamente a su propuesta; estimé que era algo así como salirnos un tanto de madre. Por fin autoricé a Florence a que preparara un comunicado, lo cual hizo prontamente. Sólo debido a esa secuencia de eventos se dio noticia periodística de la Primera Convención sobre Colonización del Espacio. Nuestras reuniones se iniciaron un día cuya mitad fue dedicada por los dos Erics, David, Freeman Dyson, el profesor Gary Feinberg de Columbia, George Hazelrigg de la Escuela de Ingeniería de Princeton, Gerald Sharp y Bob Wilson de NASA Headquarters y Joe Alien, científicoastronauta de NASA-Houston, a organizar las intervenciones públicas del día siguiente. En el transcurso de los meses anteriores yo había establecido ya los detalles del impulsor de masas y había considerado su posible utilidad como motor de reacción. Desde finales de 1972 mis conferencias habían incluido siempre la discusión de otro tipo de dispositivo de lanzamiento desde la superficie de la Luna, el «Lanzador Rotatorio de Pellas», que asimismo parecía ofrecer posibilidades como motor de reacción.

Eric Hannah y Bob Wilson colaboraban con la estimación de los costes generales de elevación de un vehículo de gran potencia derivado del transbordador espacial, porque la NASA nos había proporcionado amablemente determinados documentos acerca del rendimiento y costes de dicho transbordador. Parecía ser que podían ser llevadas cargas a L5 por un coste de novecientos cincuenta dólares por kilogramo o menos, y que si el hábitat inicial fuera de pequeñas dimensiones, todo el programa de construcción para el primero de ellos bien pudiera suponer un coste no muy diferente del correspondiente al proyecto Apolo.

El 10 de mayo, fecha de inauguración de la convención, amaneció gris y lluvioso, pero más de un centenar de personas arrostraron las inclemencias del tiempo para asistir al acontecimiento. Walter Sullivan, director científico para el New York Times, se encontraba allí, así como numerosos redactores de la prensa local. Por entonces estaba yo tan enfrascado en los detalles del evento que no podía preocuparme ya de si las cosas saldrían bien o no, ni me importaba ya mucho, a decir verdad.

Las sesiones del día discurrieron normalmente, y las preguntas que se suscitaron fueron por lo común positivas y estimulantes. Joe Alien había traído de Houston, en su «T-38 de transporte personal», una corta película documental sobre los experimentos efectuados por una de las tripulaciones del Skylab durante su día de ocio. En ella vimos ese experimento de tanto interés para todo aquel que se inicia en el estudio de la Física superior como es el de la formación de una gota de agua de varios centímetros de diámetro, fenómeno que tenía lugar en condiciones gravitatorias y en el curso del cual la gota oscilaba a baja frecuencia para pasar de una forma esférica a la de una pelota de rugby por efecto de la tensión superficial. Vimos asimismo el resultado determinado por la fricción interna en un recipiente de líquido sometido a rotación.

Nuestra reunión particular de la noche anterior había dado fin con una cena ofrecida por mi mujer a los ponentes; el segundo día de conferencias se cerró con un cóctel celebrado en mi casa, en el curso del cual expresamos al fin nuestra satisfacción y sosiego ante la marcha de los acontecimientos; ahora podíamos volver a la oscura y meditada labor de calcular algunos de los pormenores numéricos adicionales aportados por los ponentes, así como reflexionar sobre el conjunto de nuevas revelaciones.

Al cabo de un fin de semana dedicado a reunir y empaquetar el material necesario para un verano de intensivo trabajo sobre la física de la energía elevada, el lunes siguiente a la conferencia mi mujer y yo partimos para California. Nos detuvimos para una breve visita a una tía abuela de Denver, y fue allí donde empezamos a darnos cuenta de lo que nos esperaba. La British Broadcasting Corporation (BBC) andaba tras de mí con la idea de concertar una entrevista; parece ser que Walter Sullivan había publicado un artículo acerca de la conferencia, y los editores de The New York Times habían decidido sacarlo en primera página de la edición del día siguiente a aquélla. Siguieron otras emisoras, luego los periodistas, tanto de diarios como de revistas; el caso es que había empezado ya a formarse una ola de interés público por el tema. Incluso hoy sigue en plena vigencia; más aún, diríase que va ganando intensidad de día en día. Tratando de valorar las razones de tanto interés, hemos de reparar en que dio comienzo bastante antes de la publicación del primer documento científico sobre las comunidades espaciales (el cual no aparecería hasta el mes de setiembre siguiente) y más de seis meses antes de los primeros estudios acerca de los beneficios directos del nuevo binomio economía/energía. Al parecer había algo fundamental en el concepto de comunidad del espacio que se antojaba de

gran sentido para numerosas personas, incluso en ausencia de planes y argumentación detallados. He probado de comprender, a tenor de las cartas recibidas y de las conversaciones habidas consiguientemente a mis conferencias, las razones principales de esa respuesta positiva tan inmediata; no pasan de ser conjeturas, y como tales las ofrezco:

1. Desde hace algunos años han sido muchos los que han venido sintiendo una extraña sensación de confinamiento, de contracción de horizontes y de pérdida de opciones. De pronto se ha ofrecido como posibilidad renovadora la humanización del espacio, consecuencia de la cual sería la apertura de nuevas vías y alternativas, el convencimiento acaso de que quedan horizontes inéditos, libertades sin restricción y ocasiones para la creatividad.
2. Hasta el momento presente el programa espacial, valioso en tantísimos aspectos, ha dejado a mucha gente con la incómoda impresión de que se les hacía pagar por la satisfacción de un acto «elitista», de goce personal exclusivo de un minúsculo segmento de la humanidad, cuyos componentes han revelado ciertamente extraordinarias cualidades de resistencia física, destreza y competencia técnica. El indirecto placer de ver cómo los astronautas del Proyecto Apolo hollaban la superficie de la Luna dio paso, y muy pronto, a la cuestión: «Esto está muy bien para ellos, pero ¿qué saco yo de todo esto? ¿He de pagar mis impuestos para que algún privilegiado pueda darle a una pelota de golf, si llega el caso, en la Luna?» En la humanización del espacio son muchos los que ven la posibilidad de participar directamente en una aventura mucho más fascinante incluso que cualquiera de las grandes exploraciones del pasado. El interés y apoyo populares pueden provenir, por lo menos en parte, de esos deseos de libertad y participación, reacciones viscerales que refuerzan la argumentación lógica.

A medida que fueron apareciendo artículos sobre las comunidades espaciales y que se sucedieron las entrevistas, el número de cartas relativas al tema se hizo asimismo creciente, al principio del mundo angloparlante, luego de todos los continentes. Pronto características positivas: que el número de los que pudimos constatar en nuestros corresponsales dos nos ofrecían apoyo superaba al de objetores en una razón de cien a uno, y que las actitudes de una forma u otra irracionales apenas alcanzaban un 1 % del total. La carta típica era ponderada, larga y representativa de mucho estudio y esfuerzo por parte de su autor. De ahí que la correspondencia no pudiera ser contestada de una manera simple y estandarizada: una carta meditada y honda requería una respuesta de igual tono.

Durante más de un año traté de atender al correo personalmente, pero la frecuencia de las cartas aumentaba progresivamente, la calidad de las mismas seguía siendo elevada, y hacia mediados de 1975 me vi totalmente desbordado. Desde esa

fecha muchas de las cartas han sido contestadas por un grupo de voluntarios, cada uno de cuyos componentes estaba especializado en alguna disciplina particular. Algunas misivas, especialmente ponderadas y útiles a nuestros fines, son atendidas por mí mismo, y al leerlas lamento no disponer de más tiempo para poder cuidar personalmente de toda la correspondencia: está claro que la afluencia de ideas valiosas, de información útil ofrecida con espíritu abierto y de colaboración crece de día en día, e inevitablemente se produce una pérdida cuando me llega de segunda mano.

Ocasionalmente enviamos una circular dando noticia de nuevas publicaciones y alertando a los interesados sobre recientes y futuros eventos relacionados con el tema^[5].

El siguiente hito en la empresa de llevar a conocimiento del gran público la idea de la colonización del espacio, lo representa la aparición respectiva, a finales de agosto y principios de setiembre de 1974, de una carta dirigida a *Nature*^[6] y del retrasado artículo en *Physics Today*^[7]. Hal Davis, editor de esta última revista, usó una ilustración de Walter Zawoijski sobre una colonia espacial para la cubierta del número de setiembre, que sería reproducida más tarde en muchas otras publicaciones.

Hacia finales de mayo de 1974, Barbara Hubbard, del Committee of the Future, organización ciudadana, tuvo conocimiento de los trabajos que llevábamos a cabo y nos escribió para expresarnos todo su apoyo. Por entonces, tal apoyo debía ser forzosamente de naturaleza práctica. Esta claro que el tema del procesado químico de los materiales lunares requería una onerosa labor. El estudiante del M. I. T., Eric Drexler, iba a gozar de un verano libre y estaba dispuesto a hacer cuanto le fuera posible por adelantar nuestros conocimientos sobre esta problemática particular. Invité a la señora Hubbard a contribuir a nuestros esfuerzos a través de Eric Drexler, y ella respondió inmediatamente y sin reservas donando al efecto 1.000 dólares, cantidad que difícilmente podía permitirse el Comité que representaba. Eric hizo un trabajo espléndido durante aquel verano, y ciertamente podemos hoy decir que rara vez se ha conseguido tanto con un presupuesto tan menguado para la investigación. Da cierta medida del rápido desarrollo de cada una de las parcelas investigadas en torno a la producción en el espacio el hecho de que en 1976 un estudio auspiciado por la NASA dedicaba la totalidad del tiempo de seis personas al mismo tema, a saber, el procesado químico; sólo un año más tarde, otro equipo subvencionado por la NASA contaba con catorce investigadores, muchos de ellos reputados profesionales, dedicados a la misma tarea. En 1977 se estableció la primera bolsa para la investigación continua sobre dicho asunto.

La publicación del artículo de *Physics Today* llevó la idea de la colonización del espacio al gran público y a la consideración crítica de unos quince mil físicos profesionales; en verdad que no habría podido hallarse un panel de examinadores más nutrido. Está claro que se sucedieron los intentos por parte de algunos de aquellos de dar con errores numéricos, de apreciación o razonamiento en los postulados

expuestos y cálculos pertinentes, así como por señalar absurdos en los supuestos que habíamos venido utilizando como hipótesis de trabajo. Durante el otoño de 1974 hubimos de dedicar una enormidad de nuestro tiempo a responder detalladamente a cada una de las críticas recibidas, algunas de las cuales se extendían a lo largo de veinte páginas de bien razonados argumentos y cálculos y, por tanto, debían ser atendidas de manera semejante.

Cualitativamente, entiendo que la mayoría de las críticas se basaban en una asociación, impropia a mi modo de ver, de cifras adecuadas al momento actual y problemas técnicos que habrían de presentarse sólo después de muchos años. Varios recensionistas, por ejemplo, calcularon el nivel de transporte que sería necesario si la colonización espacial tuviera que hacer posible una emigración importante desde la Tierra. Llegaron a la conclusión de que dicho nivel habría de ser por fuerza absurdamente grande. Esas cifras no son absurdas para los años 2010-2050, en que tendrían que ser consideradas, y es irrelevante el hecho de que no pudieran lograrse en 1980.

La otra discrepancia más frecuente surgía del hecho de que muchos de los críticos no tenían en cuenta el desarrollo y crecimiento graduales de la industria y posibilidades espaciales a lo largo de muchos años. La estación de construcción para el primer hábitat contaría con una planta productora y elaboradora de aluminio con una capacidad de sólo unos miles de toneladas al año. Pero si la industria del espacio doblara su capacidad cada pocos años, lo cual en verdad no es imposible, para 2050 revelaría una producción indudablemente enorme.

A finales de 1974 habíamos entablado ciertas negociaciones con la Advanced Planning División of the Office of Manned Spaceflight (División de Planificación Avanzada de la Oficina de Vuelos Espaciales Tripulados) del cuartel general de la NASA en Washington. Tras considerable esfuerzo, esas negociaciones dieron fin con la concesión de un estipendio a Princeton en apoyo de nuestros estudios, con vigencia a partir del 1 de enero de 1975. Eric Hannah, recién doctorado, nos prestó una importante ayuda durante varios meses, y hacia finales de aquel año, el doctor Brian O'Leary, eminentemente calificado tanto desde el punto de vista científico como en experiencia de gobierno, se sumó a nuestro equipo de Princeton. El doctor O'Leary, valga recordar, había sido responsable de la primera conferencia sobre humanización del espacio, celebrada en el Hampshire College.

Dentro del programa de la NASA, desarrollado por el cuartel general de la organización y los ocho principales centros de la misma distribuidos a lo largo de Estados Unidos, el Laboratorio Ames de Investigación establecido en Mountain View, California, se encarga de examinar todo sistema o concepto avanzado que pueda surgir a la luz pública. En setiembre de 1974 di una conferencia-coloquio en Ames, y tuve ocasión de conocer así al Director del Laboratorio, el doctor Hans Mark (más tarde subsecretario de la Fuerza Aérea en la Administración Carter). El doctor Mark, físico que dedicó los primeros años de su carrera a la investigación nuclear en

la vertiente militar, goza de la reputación de trabajar por lo menos seis días a la semana, de llegar a su oficina no más tarde de las 7.30 de la mañana, y de abandonar el laboratorio avanzada la tarde, cuando ya todos, salvo los que integran el turno de noche, se han marchado. Fue un placer hablar con él, y pronto convinimos en «colar» un breve pero intenso esfuerzo de investigación sobre la colonización espacial, eligiéndola como tema del Curso de Verano NASA Ames/Universidad de Stanford de 1975. Este estudio, uno de la serie anual auspiciada por la NASA y realizada en colaboración con la American Society of Engineering Education (Sociedad Americana para la Enseñanza de la Ingeniería), disponía ya de fondos asignados, y el director del laboratorio era libre de elegir cada año el tema de debate.

De resultas del artículo aparecido en *Physics Today*, se sucedieron las demandas de disertaciones durante el curso académico 1974-75. Fueron más de cincuenta las invitaciones recibidas, y deseoso de someter la idea a una crítica rigurosa frente a un auditorio competente e interesado, acepté un gran número de ellas. Durante un tiempo se celebraron coloquios sobre Física en Yale y en Harvard, en el viernes y lunes que definían un fin de semana, y una reunión especial con un grupo del Instituto Tecnológico de Massachusetts el sábado intermedio.

Al volver la vista atrás pienso que semejante revisión era necesaria, pese a resultar agotadora, aunque durante el curso académico siguiente no hubo más remedio que proceder de manera más selectiva. El concepto de la humanización del espacio ha superado ya la fase del debate en el marco de un coloquio departamental específico. El tema es por naturaleza interdisciplinario, de modo que las exposiciones que llegan a un amplio espectro del público son, a mi entender, las más adecuadas: disertaciones integradas en la serie habitual de conferencias de una universidad o centro de estudios superiores, comunicaciones en sociedades profesionales, en las compañías más importantes y en laboratorios de gran envergadura, así como entrevistas de proyección superior a la local. Todo grupo sinceramente interesado en saber de esas nuevas posibilidades merece una respuesta a sus preguntas y, así, me someto indefectiblemente al propósito hecho de traspasar a colegas plenamente calificados las invitaciones que me es imposible atender personalmente.

En octubre de 1974 varias personas activas en el ámbito de los estudios espaciales fueron invitadas al Goddard Spaceflight Center (Centro Goddard de Vuelos Espaciales), cerca de Washington, para informar al Comité «Perspectivas del Espacio», formado en el seno de la NASA. Este grupo, presidido por el doctor Donald Hearth, se encargaba de preparar para la NASA una lista de tareas posibles en el espacio durante el resto de este siglo. Krafft Ehrlicke, Bruce Murray, George Field y yo ofrecimos nuestras respectivas impresiones, y allí fue donde por primera vez oí hablar al doctor Peter Glaser, de la Arthur D. Little Company de Boston, sobre sus ideas acerca de la generación de energía eléctrica a partir de la solar en el espacio, y de su transmisión a la Tierra por medio de un haz de microondas.

Hasta aquel momento, aunque vagamente consciente de algunas de las ideas del

doctor Glaser, las había venido desechando sistemáticamente como imprácticas, habiendo supuesto que el problema que presentaban las microondas era insoluble. Para mi sorpresa, tuve conocimiento entonces de los enormes progresos efectuados en la transmisión de microondas, y de que los principales escollos aún existentes se relacionaban con la logística de toneladas, dólares y elevación desde la Tierra a una órbita geosincrónica. En el curso de los días siguientes a la reunión en Goddard procedí a efectuar algunos cálculos, y pronto descubrí que la construcción de estaciones satélites de energía solar a partir de materiales extraídos de la Luna y en una instalación industrial en órbita elevada, en una colonia espacial, resolvería fácilmente algunas de las pegadas más graves con que se enfrentaba la idea del doctor Glaser. Esos cálculos formaron la base de un artículo enviado a la revista *Science* a finales de diciembre de 1974. La aceptación fue pronta, y tras extensiva puesta al día y revisión, el artículo fue publicado el 5 de diciembre de 1975^[8]. Los editores lo incorporaron al contenido del número y usaron como portada del mismo una artística ilustración de un hábitat espacial temprano.

A principios de 1975 gran parte de nuestros esfuerzos se dedicaron a la organización de una segunda convención. La situación había cambiado considerablemente en el plazo de tan sólo unos meses. La primera convención había constituido un evento no oficial, doméstico por así decir, propiciado por una pequeña subvención de una fundación de no mayor envergadura. La segunda iba a ser una Princeton University Conference, oficial, sufragada con subvenciones especiales de la NASA y de la National Science Foundation y copatrocinada por el Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica (AIAA), la sociedad profesional activa en el terreno de las ciencias aeroespaciales. La magna reunión iba a durar dos días y medio y daría a la luz unos treinta comunicados científicos.

En la organización de la segunda convención era necesario mantener un elevado nivel de seriedad y profesionalidad. Un año antes no habíamos sido sino una pequeña banda de revolucionarios; ahora, con creciente reconocimiento por parte de organismos oficiales y profesionales, era preciso adoptar una actitud prudente y pragmática. Como título del evento elegí el de «Convención sobre Producción Espacial. Universidad de Princeton». Vino luego la cuestión del anuncio formal y objetivo del acontecimiento. Las características esenciales del concepto de las comunidades espaciales no dependían de una estructura geométrica particular para el hábitat inicial, y para subrayar precisamente este hecho elegí como portada del anuncio-programa una fotografía del edificio Woodrow Wilson de Princeton. Esta construcción modernista y grácil, adornada de un estanque y una fuente, iba a albergar nuestro encuentro.

La Convención de 1975 fue considerada un éxito notable. Las charlas sobre aspectos económicos de cohetería se complementaron con consideraciones en torno a los aspectos legales, históricos, psicológicos y humanísticos de la habitación del espacio. La aplicación de la propia industria en el espacio a la solución de la crisis

energética de la Tierra recibió especial atención. En la última mañana del evento fueron dados cuatro resúmenes, correspondientes a las sesiones de medio día celebradas. El doctor Jerry Grey, funcionario de la AIAA y antes profesor de Ingeniería Aeroespacial en Princeton, impartió el primer resumen. Le siguió el doctor John Billingham, jefe de Ciencias Biológicas del Laboratorio Ames, el doctor Albert Hibbs, del Laboratorio de Propulsión en Cal Tech (Esta institución, JPL, había realizado y dirigido muchas de las pruebas espaciales a la Luna y a los planetas).

Como ocurriera un año antes, la Convención encontró mucho eco en todos los medios de comunicación, con lo cual se inició una nueva ronda de artículos y entrevistas. Poco después de la clausura de la Convención partí con mi mujer en mínima vacación de diez días en un entorno y marco de actividades absolutamente distintos: de acampada en un pequeño aeródromo de Pennsylvania donde pudiera practicar el vuelo sin motor y aprender asimismo el de propulsión mecánica. Al recordar ese breve período se me antoja un verdadero oasis de calma y apacible placer en un año que se había revelado de una intensidad excesiva la más de las veces.

El Estudio Ames de 1975 fue el primero de varios, pero el único subvencionado gracias a una donación procedente del programa ASEE. El primer día de dicho estudio ofrecí a mis alumnos, para que los copiaran en uso propio, todas mis notas y cálculos de casi seis años de investigación en el terreno de la colonización espacial. Poco después recibimos asimismo copias de todas las ponencias leídas en las convenciones de 1974 y 1975.

Conforme a las condiciones de los estudios ASEE, el objeto de aquel curso estival era primariamente educacional; no se exigía de los estudiantes la preparación y confección de un proyecto o diseño «más probable» en su viabilidad o «más económico», ni se imponía línea alguna restrictiva de acuerdo con un plan preconcebido. Los participantes eligieron el siguiente tema: diseño de los elementos necesarios para el establecimiento de una colonia en el espacio capaz de albergar y mantener a 10.000 personas. Ya a principios de nuestras actividades se decidió que el objetivo primario no sería el envío de energía o dividendos a la Tierra, sino simplemente el diseño y construcción de un hábitat apto para alojar permanentemente una muestra aleatoria de la población que incluso comprendiera personas con algún problema médico, mujeres embarazadas, niños y hasta individuos anormalmente susceptibles al mareo. Esta elección restringía la libertad en cuanto a diseño, pero llevó a una meticulosa y rica exploración de la rueda (toro) en sus aspectos de capacidad, área útil, equilibrio y otros. En cualquier estudio de diseño y en toda fase temprana de un proyecto nuevo, los detalles más aptos suelen ser aquellos de mayor generalidad, es decir, menos constreñidos a una configuración concreta. Desde este punto de vista muchos de los logros de aquel curso de verano de 1975 pueden traducirse en el futuro en importantes hallazgos en el campo de la productividad (en toneladas/persona-año), de la agricultura intensiva, de la ecología en ciclo cerrado y

del procesado químico^[9]. El descubrimiento individual de mayor relieve fue debido al doctor Eric Hannah, quien reunió los artículos e información más importantes acerca de la intensidad de los rayos cósmicos a una distancia dada de la Tierra.

Los estudios siguientes fueron muy diferentes en cuanto a financiación y objetivos: fueron subvencionados por el cuartel general de la NASA con el fin de desarrollar vías prácticas a corto plazo hacia el establecimiento de una industria en el espacio, con especial énfasis en la fabricación de estaciones energéticas satélites y otros productos útiles en órbita elevada. Entre estos últimos fueron considerados los hábitats para el personal activo y en calidad de componentes necesarios de un sistema global en lugar de constituir fines por sí mismos. Sus conclusiones en torno al tema se centraban en unas unidades modulares y en el empleo eficiente de la masa estructural y de protección anticósmica. El diseño esférico de Isla Uno, económico en sus requisitos de masa, superó el examen como probable hábitat espacial. El diseño tórico reflejó las mejores condiciones habitacionales, contando además con una considerable superficie de terreno cultivable en relación a su masa estructural. Entre las formas elegidas atendiendo al mejor uso del volumen, más que de la superficie, nuevamente la esfera se reveló la mejor, de acuerdo con un estudio realizado en 1977 en torno al tema de la habitabilidad comparada. Implícito en esos trabajos de contrastación se hallaba el supuesto de que habría de ser posible examinar a los componentes de la plantilla o fuerza laboral destacada, desechando a los desafortunados que revelaran trastornos de oído interno causados por la rotación. El diseño tórico, de masa varias veces mayor que la de Isla Uno a igual superficie utilizable, no pareció en esos estudios últimos suficientemente competitivo desde el punto de vista del coste.

A mediados del Curso de Verano de 1975 fui llamado a declarar ante el subcomité dirigido por el congresista Donald Fuqua perteneciente a la Comisión sobre Ciencia y Aplicaciones del Espacio de la Cámara de Representantes del Congreso de Estados Unidos^[10]. La recepción de que fui objeto fue muy cordial, y el tiempo asignado para la discusión pertinente, generoso y bien aprovechado. Naturalmente, subrayé los beneficios económicos y en el campo de la energía derivables de la existencia de una industria espacial; huelga decir que los miembros presentes estaban más interesados en esos detalles que en cuestiones filosóficas a largo plazo relativas a lo que Krafft Ehrlicke ha llamado con toda propiedad «El Imperativo Extraterrestre». El 1975 fue un año de grandes progresos. En sus comienzos, y pese a que el interés público por el tema de la colonización del espacio era ya considerable, la labor de carácter académico e intelectual independiente brillaba por su ausencia, salvo en Princeton. Hacia finales de año, grupos activos compuestos por estudiantes y claustro en universidades tales como el M. I. T. y el New York Polytechnic Institute, habían empezado a investigar de modo totalmente espontáneo, y cada uno de los participantes en dicho Curso de Verano llevó a su *alma mater* el entusiasmo e interés por este campo, cuyas ideas básicas defendió ante audiencias varias. En Princeton se

formaron grupos ciudadanos independientes, sobre todo la L5 Society^[11], con el fin de proporcionar información acerca de las nuevas posibilidades y comentarios, en forma de circular, sobre los últimos logros.

A primeros de 1976 se produjeron dos acontecimientos de particular importancia. En primer lugar, y pese a las restricciones presupuestarias de la NASA, se llegó a la decisión de subvencionar un estudio especial durante el verano de 1976, estudio que iba a tener lugar en el Ames Laboratory, con la colaboración de la junta directiva del mismo centrada en tres temas técnicos claves: el impulsor de masas, el procesado químico del suelo lunar para obtener oxígeno, metales y vidrio, y la evolución —dentro de las restricciones impuestas por la necesaria coraza de protección anticósmica, y a la vez el logro de unas condiciones de vida cualitativa y fisiológicamente aceptables para la fuerza de trabajo destaca— de una primera estación de construcción en L5, preámbulo de Isla Uno.

Fuimos muy afortunados al contar para este estudio con un equipo de alto nivel en materia aeroespacial; profesionales provistos cada uno de un montón de datos y cálculos reunidos a lo largo de numerosos años de experiencia en la resolución de problemas científicos y de ingeniería. Asistidos por un excelente equipo de estudiantes, a las pocas horas de su llegada se encontraban enfrascados en el estudio de los tres temas asignados, para cuyo avance contaron a partir de la segunda semana de trabajo con el concurso de especialistas solicitados en calidad de consultores.

La sensación de que nos hallábamos en el buen camino aumentó gracias a varios logros alcanzados en el curso de nuestra labor. Cada uno de los especialistas expresó enfáticamente la opinión de que las cifras críticas supuestas y usadas como hipótesis de trabajo, las que aparecen citadas en este libro (aceleración y eficacia del impulsor de masas, costes de elevación del HLV, masa de la planta energética lunar, etc.) eran excesivamente conservadoras y podían ser sustancialmente mejoradas sin gran riesgo de carácter técnico. El profesor Henry Kolm, del Instituto Tecnológico de Massachussetts, cabeza de un grupo que había llevado con éxito el concepto del magnetoplano al nivel de pruebas con un modelo de devanado superconductor comparable dimensionalmente al «cesto» del impulsor de masa, aportó al poco información detallada a propósito de la investigación en curso sobre la levitación magnética, estudiada en el marco de programas con un presupuesto superior a los 100 millones de dólares anuales tanto en el Japón como en Alemania. En razón de los conocimientos técnicos reunidos entre todos, cabía decir con toda plausibilidad que el impulsor de masas podía operar con un rendimiento del 80 al 90 por ciento, y alcanzar aceleraciones de más de 100 g, en lugar de las 29 g supuestas por mí en mis primeros cálculos.

El doctor James Arnold, del Laboratorio de Propulsión de Cal Tech, profundamente interesado y activamente empeñado en planes para crear una nave espacial de trayectoria orbital en torno a los polos de la Luna —y que bien puede que reciba el nombre de «Prospector»— estimó muy probable que las zonas lunares que

se encuentran permanentemente en sombra contengan vastos depósitos de hidrógeno, carbono y nitrógeno en forma de hielo y de diversos compuestos.

El doctor Brian O'Leary les siguió científicamente la pista a unos asteroides de clase especial conocida por el nombre de Apolo/Amor. A diferencia de los que conforman el cinturón principal, en los que se basaron mis cálculos recogidos en el capítulo 11, los Apolo/Amor quedan separados de L5 por intervalos de velocidad de sólo dos o tres kilómetros por segundo; recordemos que los asteroides del cinturón principal lo están por intervalos de velocidad de diez kilómetros por segundo. Por una afortunada coincidencia, tan sólo a los pocos días de haber iniciado nuestro estudio de 1976 fue descubierto el primer Apolo/Amor de tipo carbonáceo conocido, rico en carbono, nitrógeno e hidrógeno.

Como ocurriera en 1975, tuve que abandonar brevemente la labor para acudir a Washington, en esta ocasión para entrevistarme con el doctor James Fletcher, administrador de la NASA, y con su delegado el doctor Lovelace. A instancias del primero preparé, con la ayuda del grupo de estudio, una lista de más de cien temas que requieren una investigación sistemática y metódica si deseamos que el concepto de la industrialización del espacio pueda pasar, en palabras de Goddard, «de la esperanza de hoy a la realidad de mañana».

En 1976, el concepto de comunidad espacial rué elegido por la NASA como uno de los cuatro principales temas expuestos en la Tercera Muestra Americana del Siglo del Centro Kennedy de Vuelos Espaciales, celebrada a lo largo de tres meses en Florida durante el verano de aquel año. La muestra fue llevada seguidamente a San Francisco, concretamente a la Academia de Ciencias de California, donde permaneció durante seis meses en 1977; ulteriormente ha sido exhibida en otros museos y centros importantes.

Por invitación del Instituto Tecnológico de Massachussetts pasé el curso académico de 1976-77 en calidad de profesor Jerorne Clarke Hunsaker de Ciencias Aeroespaciales, mientras disfrutaba de excedencia sabática de la Universidad de Princeton. Fue, ciertamente, un año sumamente productivo, y en octubre de 1976 pude suministrar a la NASA los artículos que resumían lo hecho en el Curso de Verano de aquel año. Posteriormente aquella documentación fue elegida como volumen de la serie «Progreso en Aeronáutica y Astronáutica» del Instituto Americano homónimo, y tras su revisión por varios colegas fue publicada en 1977.

A finales de 1976 me habían interesado especialmente las posibilidades del desarrollo de impulsores de masas, y en el curso de primavera de 1977 llevé a cabo una serie de conferencias y cuatro seminarios sobre la teoría pertinente, bajo el título común de «Vuelo espacial mediante las ecuaciones de Maxwell». Todo ese año tuve el gran placer de trabajar en estrecha colaboración con el profesor Henry Kolm, del MIT. Juntos diseñamos el modelo de impulsor de masas descrito en el capítulo 8, el cual fue construido en el curso de los primeros meses de 1977 por el doctor Kolm, asistido por un grupo de estudiantes voluntarios.

Mientras permanecí en el Instituto Tecnológico de Massachussetts, consideré la aplicación del principio del impulsor de masas a un motor de reacción capaz de elevar cargas acumuladas por el transbordador que ascendieran a muchos centenares de tone-ladas, desde una órbita baja en torno a la Tierra a otra geosincrónica o lunar. Dado que la serie de seminarios se prolongó a lo largo de 1977, descubrí que tal ingenio a reacción podría rendir mucho más que el mejor cohete de tipo químico por el momento disponible, que sería lo suficientemente ligero como para ser llevado a órbita con sólo cuatro a seis cargas y que podría utilizar como masa de reacción el material —de otro modo inservible— que formaba los depósitos exteriores del transbordador, que en el plan original de la NASA debían desecharse en cada vuelo. Valiéndome de los últimos datos del estudio de 1976 además de las nuevas ideas surgidas a consecuencia de los logros teóricos postreros, pareció que el coste de llegar al «punto de ignición» en cuanto a la industria espacial podría reducirse considerablemente hasta una cifra muy por debajo de la vieja cota de los cien mil millones de dólares. Este trabajo, descrito en el capítulo 8, constituyó el punto de partida para la planificación de programas de tiempo, meta que nos habíamos fijado para el estudio de 1977. Sugería asimismo que el desarrollo de sistemas ecológicos cerrados y grandes hábitats monolíticos, anteriormente estimados como requisito previo esencial para llegar a la industrialización del espacio, más allá de la correspondiente al logro de un elevado nivel de productividad.

En 1977 el progreso hacia la humanización del espacio fue aún mucho más rápido: la Convención de Princeton de aquel año, copatrocinada por la AIAA, agencias varias del Gobierno y por la General Electric Corporation, reunió a casi dos centenares de interesados. En esa ocasión se hizo una demostración con el modelo de impulsor de masas construido en MIT bajo la supervisión del doctor Kolm. Significativamente, ese modelo, construido con un presupuesto casi nulo, reveló ya una aceleración de más de treinta gravedades, más de lo que yo había considerado el non plus ultra de los rendimientos posibles. Por entonces se había logrado ya una subvención regular de la NASA para proseguir en nuestro programa de investigación en torno a ese nuevo y prometedor concepto. Simultáneamente, la ininterrumpida búsqueda de nuevas vías en lo tocante al procesado químico de los minerales lunares había dado resultados en forma de subvención fija para ahondar en el tema; varios centros de la NASA, amén del Laboratorio Ames, empezaron a investigar en esa línea.

Con la ayuda de organismos dependientes de la NASA y del propio cuartel general de la institución, en 1977 se organizó y llevó a efecto otro estudio, de envergadura cuatro veces mayor que el anterior. Una de sus tareas consistía en la elaboración de un plan de investigación con varias opciones, de cara a un programa capaz de establecer la industria del espacio en la década de los ochenta. El grupo llegó a la conclusión de que, con las restricciones impuestas por la era del transbordador espacial sobre el lanzamiento de vehículos, la industria espacial podría llevarse a «ignición» por vía del programa «bootstrap»; en semejante marco, la primera

elevación de equipo podría tener lugar a mediados de los ochenta y que ya para los primeros años de los noventa sería posible obtener un rendimiento valorado en muchos miles de millones de dólares anuales a partir de la industria establecida. El grupo de estudio de 1977 determinó asimismo que una inversión de aproximadamente 60.000 millones de dólares, comparable a la efectuada en el Proyecto Apolo en moneda de 1977, bastaría para sufragar la labor de investigación y desarrollo necesario, así como para atender a los gastos de construcción, salarios y costes de elevación, hasta el punto en que el programa se revelara autosuficiente. Finalizado el estudio, los participantes estimaron que era absolutamente preciso un aumento en las asignaciones para proseguir la investigación. Los retrasos gubernamentales en cuanto a una decisión al respecto parecían ser entonces las limitaciones más graves con que tropezaba todo posible progreso; los resultados técnicos eran aún más brillantes que antes, aunque no se podía descartar la eventualidad de que surgiera todavía algún escollo imprevisto.

En 1977, la Asociación de Universidades para el estudio del Espacio (Universities Space Research Association), que contaba con 55 miembros, completó la formación de un cuadro de expertos asesores de un Grupo Delegado para la investigación de grandes estructuras en el espacio; estableciendo un precedente en la USRA, este cuadro no sólo incluía representantes de los campos de la ingeniería y las ciencias, sino también de la industria eléctrica, de los sindicatos y del mundo de la inversión financiera.

La dirección de este cuadro y del grupo de estudio de USRA habría sido una tarea excesiva para mí, de no haber sido por el hecho de que durante aquellos años se sumaron a la labor una serie de amigos y colegas tan competentes como dedicados. Actualmente estamos llegando a esa clase de colaboración productiva en la que es imposible identificar a nadie en particular como responsable de nuevas ideas constructivas.

Gracias a la generosidad de amigos interesados en nuestra labor, se formó en 1977 una organización patrocinadora, el Instituto de Investigación Espacial (Institute of Space Research, Inc.) con sede en Princeton. Facultado para la admisión de donaciones no imponibles, el Instituto^[12] nos ayuda de diversos modos, particularmente atendiendo a los gastos administrativos necesarios para vérselas con millares de consultas relacionadas con el tema de la humanización del espacio. Los funcionarios del instituto prestan sus servicios, justo es decirlo, sin compensación económica.

La demanda de nuevos artículos informativos, tanto procedente de este país como del extranjero, sigue sin cesar; por otra parte, en el escaso tiempo que podemos sustraer a la incesante investigación hay que atender a las conferencias y entrevistas que siguen sucediéndose sin interrupción. El diálogo con personajes del Gobierno y del mundo de las finanzas es asimismo cada vez más frecuente. No hemos llegado al punto en que una agencia determinada del Gobierno esté dispuesta a arrostrar por sí

misma el coste implícito en un plan de actividad a gran escala; sin embargo, el progreso hecho en cuanto a aceptación y ayuda al respecto de esas nuevas ideas ha sido tan grande en el plazo de un solo año, que poco antes habría sido impensable. En verdad podemos decir que la humanización del espacio se ofrece hoy como una de las posibilidades más hacederas, así como más fascinantes, que le han sido abiertas a la humanidad en el transcurso del último cuarto de siglo.

Para cerrar esta memoria sobre los orígenes del concepto de la humanización del espacio y su evolución temprana, representa para mí un motivo de especial placer reconocer las ideas y apoyo recibidos de mis amigos. Aunque no es posible agradecerles a todos lo hecho, vaya mi reconocimiento, en particular, a:

George Pimentel, John Tukey, Brian O'Leary y Freeman Dyson, quienes me animaron en mi trabajo desde el principio.

Janet, Roger y Ellie O'Neill, que, aún niños, aportaron infinidad de ideas y estímulo.

Harold David, cuya buena disposición ante toda nueva idea y gran apertura de mente llevó a la primera publicación sobre este tema.

Eric Drexler y Eric Hannh, cuyo interés e impulso hicieron posible gran parte de la Convención de 1974; a Bob Wilson, Joe Alien y Gerald Feinberg por su contribución respectiva a ella, y a Stewart Brand y Michael Phillips por su apoyo sin reservas.

Margaret Mead y John Stroud, quienes comprendieron y trabajaron en pro de muchas de las conclusiones ofrecidas ya en 1960.

Wernher von Braun, cuya meta última en el transcurso de numerosos decenios de trabajo ha sido el movimiento humano en el espacio.

Krafft Ehricke, cuya originalidad e iniciativa pueden identificarse inmediatamente en ideas sobre casi todas las áreas de desarrollo pertinentes al espacio.

John Yardley, Robert Freitag, Jesco von Puttkamer, George Deutsch y Stanley Sadin, del cuartel general de la NASA, por su apoyo a los trabajos de Princeton en difíciles tiempos de restricciones gubernamentales.

Hans Mark, por la perspicacia y visión futura que han hecho del Ames Laboratory de la NASA un centro ideal para el estudio entusiasta de toda nueva idea.

Jerry Grey, Rene Miller, Albert Hibbs, Gerald Driggers y David Criswell, por haber llevado a nuestro trabajo una notable medida de experiencia y conocimientos profesionales.

Stephen Cheston, por su cuidadosa y responsable guía en el laberinto washingtoniano.

Paul Donovan, por su asistencia y consejos.

Donald Fuqua, de la Cámara de Representantes del pueblo de los Estados Unidos, y el senador Wendell Ford, por su visión y realismo al celebrar audiencias y debates públicos sobre el tema.

Paul Ehrlich, por aportar los puntos de vista de un biólogo y experto en asuntos

demográficos.

Robert Heilbroner, por su autorización para hacer uso de referencias de su obra reciente.

Mark Hopkins, por su guía en el terreno de la economía básica.

Keith y Carolyn Henson, Richard Hoagland y Tom Heppenheimer, quienes no han dejado de esforzarse por ganar cada vez mayor audiencia a las nuevas ideas.

Isaac Asimov, cuyos artículos y conferencias defienden de manera elocuente la humanización del espacio.

William B. O'Boyle, David Hannah y Barbara Hubbard, por su vital solidaridad en tiempos críticos.

Ginie Reynolds, quien voluntariamente pasó a máquina la mayor parte de la primera edición de este libro.

Aquellos colegas de Princeton de cuya ayuda de años soy eternamente deudor: Debbie Welch, Pamela Czira y Shelley Krohnengold, quienes supieron mantener la calma en una atmósfera semejante a veces a la de una sala de máquinas.

Ruth Miles, por vérselas con autores agobiados de trabajo y con grabaciones inaudibles para preparar las actas de nuestras conferencias.

Roger Miles, quien después de haber creado una floreciente compañía ha llevado su talento organizativo a nuestras comunicaciones.

Fran Arnold, Sara Michlem y Hank Ketchem, por tantas horas de trabajo voluntario como estudiantes.

Y finalmente, a mi esposa Tasha, por hacer más leves todos los problemas y tanto mayores las alegrías.

Apéndice 2

EXTRACTOS DE

«SOLAR POWER FROM SATELLITES»

(Energía solar por medio de satélites)

(Debates ante el Subcomité de Tecnología Aeroespacial y Necesidades Nacionales, dependiente del Comité de Ciencias Aeronáuticas y del Espacio, Senado de los Estados Unidos, Congreso Nonagésimo cuarto, Segunda Sesión, 19 de enero de 1976). Presidente del Subcomité: senador Wendell Ford, Kentucky.

DECLARACIÓN DEL DOCTOR GERARD K. O'NEILL, PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD DE PRINCETON, PRINCETON, N. J.

«*Doctor O'Neill:* Gracias, senador. Mis comentarios serán similares en cuanto al espíritu, pero algo diferentes en lo tocante a detalle; y voy a tratar de darles forma breve con objeto de disponer de abundante tiempo para atender a las preguntas.

»Mis comentarios subrayan el punto de vista de que la investigación en todos los aspectos de la energía por vía de satélites debe proseguirse con todo vigor. Mi aportación se basa en el trabajo iniciador del doctor Peter Glaser y en la labor reciente de míster Woodcock, míster Stine y otros.

»Es necesario que abordemos la cuestión de la energía solar en el contexto económico. Nuestra posición al respecto es muy semejante a la de una partida de exploradores que de pronto tropieza con una enorme barrera montañosa que al parecer se extiende hasta el horizonte a derecha e izquierda. Las dificultades y peligros de un ataque frontal directo son evidentemente muy grandes, de manera que parece prudente el tratar de descubrir primero si existe algún paso inferior a uno u otro lado que permita salvarla fácilmente y con toda seguridad.

»En el concepto de energía solar por vía de satélites, tal como se presenta en la actualidad, entiendo que cabe apuntar dos puntos débiles. El primero consiste en el riesgo de producir daños ecológicos por medio del haz de microondas de baja intensidad. Este problema sólo podrá ser resuelto gracias a la investigación, pero no hay razón alguna para que ésta deba implicar costosas operaciones en el espacio.

»El segundo, y probablemente mucho más serio, estriba en que la energía por satélite basada en previo lanzamiento desde la superficie de la Tierra sólo puede alcanzar el éxito económico si varios objetivos, en la actualidad inasequibles, pueden lograrse en toda su plenitud. El más difícil de ellos es la reducción de notabilísimo orden en la

masa de las instalaciones energéticas y en el coste de elevarlas a una órbita geosincrónica. En la versión original del concepto a que nos referimos, el índice de rendimiento a alcanzar en este sentido es 15 veces mayor que la cifra estimada por la NASA en relación con sus satélites programados para mediados de la década de 1980.

»Las necesidades implícitas en cuanto a vehículos elevadores hace que éstos tengan que ser de una clase totalmente nueva, mucho más avanzada que la obtenible mediante ulterior desarrollo del actual transbordador espacial.

»En el más reciente proyecto basado en el empleo de turbogeneradores, que acaba de ser presentado, no parece haber posibilidad alguna de lograr esos bajos valores de masa necesarios y, por consiguiente, representa una carga aún mayor sobre los vehículos de elevación, a los que se hace operar a un coste de aproximadamente la décima parte del correspondiente al vehículo derivado del transbordador.

»Con los métodos de célula solar y turbogenerador, la solución real de las necesidades energéticas de la nación requeriría una flota de vehículos de lanzamiento tan grande que serían muchas decenas de millones las toneladas de productos de combustión liberadas en la atmósfera superior.

»Puede que esos objetivos sean alcanzados y que no surja objeción alguna de carácter ecológico a la presencia de flota tan descomunal. No sé. El principal problema de los sistemas energéticos satélites lanzados desde la Tierra es que nadie conoce exactamente sus consecuencias; apenas si podemos conjeturarlas.

»La alternativa viene a ser como la búsqueda de un paso en la cadena montañosa. Si existe y no lo buscamos siquiera, el futuro nos tachará de insensatos. Si de verdad existe, tendría que permitirnos alcanzar nuestra meta antes, con menos riesgos y a coste más bajo.

»En términos gravitacionales, aquí en la superficie de la Tierra es como si nos encontráramos en el fondo de una sima de más de 6.000 kilómetros de profundidad. Todo lo que queramos colocar en órbita geosincrónica debe ser izado desde lo más hondo de ese agujero.

»La alternativa, lo que podríamos llamar el concepto judo, es decir, recurriendo a la propia fuerza de nuestro adversario en lugar de malgastar la nuestra, consiste en construir los componentes más pesados de las estaciones energéticas satélites a partir del material que se encuentra ya presente y aguardándonos en la misma cumbre de esos seis mil kilómetros de ascensión.

»La superficie de la Luna se halla a un nivel gravitacional correspondiente a aproximadamente el 95 por ciento del camino a la órbita geosincrónica. Más aún, dado que la Luna carece de atmósfera y cuenta con una gravedad tan débil, habría de ser posible lanzar materiales desde ella con un método mucho más barato y eficiente que el que pudiéramos aplicar al efecto en la Tierra, o sea con maquinaria instalada en su superficie.

»Los principales componentes de una estación energética satélite serían metales, vidrio y posiblemente silicio. Por el proyecto Apolo sabemos que los suelos comunes

de la Luna se componen de un 40 por ciento de oxígeno, 20 por ciento de silicio y de 20 a 36 por ciento en peso de metales, precisamente los elementos que necesitaríamos para obtener casi toda la masa de un satélite energético.

»Los puntos clave en la fabricación orbital de las estaciones satélites productoras de energía serían, en primer lugar, el directamente derivado de las experiencias ganadas merced al Proyecto Apolo, es decir, el recurso a los propios materiales de la superficie lunar. En segundo lugar, el lanzamiento desde la Tierra de sólo una cantidad relativamente pequeña en cuanto a equipo y material, comparable en masa total a una sola estación satélite. Ese equipo conformaría una especie de destacamento minero en la Luna y una estación de obras en órbita elevada.

»Tan pronto como se contara con el suministro regular de minerales lunares en la estación orbital, ésta se dedicaría tanto a producir otras de su clase como satélites colectores de energía. De este modo, libres de la necesidad de acumular una enorme flota de lanzamiento y del posible impacto ecológico correspondiente en la atmósfera superior, el crecimiento del número de estaciones energéticas satélites sería en progresión geométrica, como la serie 1, 2, 4, 8, 16, 32, etc., en vez de lineal (1, 2, 3, 4, 5, 6).

»Ese es el camino para obtener grandes resultados a corto plazo.

»El tercer punto clave consistiría en depender solamente de la tecnología y vehículos de que estamos seguros: estaciones energéticas al nivel tecnológico del presente, es decir, similares a la descrita en la última charla, la cual se está poniendo actualmente en funcionamiento en Oberhausen, Alemania Occidental; asimismo, habría que depender sólo de cohetes cargueros que puedan derivarse fácilmente y a bajo coste del Transbordador Espacial, cuyas máquinas principales usarían; el Transbordador mismo constituiría ya, en su forma presente, una parte esencial de este programa.

«Claramente, pues, vale la pena proseguir la investigación sobre plantas energéticas de escasa masa y vehículos de elevado rendimiento en carga. Pero el concepto de la industria en el espacio supone, en nuestra opinión, la diferencia entre el animar simplemente dicha investigación y apostar sin reservas por su éxito total. Si la energía vía satélite triunfa, en algún momento atraerá al capital privado, y cuanto antes mejor. Sin ella, éste tendrá que gastarse en instalaciones nucleares y de carbón unos ochocientos mil millones de dólares en los próximos veinticinco años.

»Por el momento no son muchas las probabilidades de que se atraiga capital privado a la investigación de esas fuentes de energía satélite, debido a que los riesgos son todavía muy grandes y los resultados de cálculo demasiado vagos. Para atraer la financiación privada será necesario eliminar en lo posible el factor desconocido.

»En mi opinión, ello puede conseguirse si no se fuerza excesivamente la tecnología actual, es decir, explotando el paso descubierto a través de la barrera montañosa.

»Se me ha pedido que trate de la energía solar establecida en la superficie de la Tierra. Me parece digna de ser investigada, pero, francamente, hasta el momento no la he encontrado muy prometedora, pues con semejante emplazamiento es demasiado

fraccionaria en el tiempo y excesivamente incierta.

»Si se realizaran espectaculares avances tanto en la conversión de la energía como en su almacenamiento, la situación, huelga decirlo, podría cambiar sustancialmente.

»En la declaración escrita que sometí al subcomité me permití recomendar algunas líneas de investigación. No las repetiré aquí, pero sí señalaré dos características: que su sentido es garantizar que nada importante sea desatendido, en lugar de concentrarse prematuramente en una línea de investigación que pudiera no ser la mejor, y en segundo lugar, que se trata de sugerencias sobre tareas que pueden llevarse a cabo en modesta escala aquí en la Tierra, y a bajo coste en comparación con el que importaría cualquier actividad que tuviera que desarrollarse en el espacio.

»La primera de las figuras presentadas representa una visión esquemática de uno de los varios diseños posibles para una estación de construcción en órbita elevada. (Figura D.)

»Su interés reside no en la forma concreta descrita —son muchas y muy diferentes las posibles—, sino en que todas tienen algo en común. En la figura que discutimos los elementos esenciales son una zona de talleres en la que podría atenderse a la industria ligera, una zona interior habitacional a la que se lleva la luz del sol, vastos radiadores de calor que liberan al espacio exterior el que no se usa directamente dentro, y por último, una coraza de protección que reduciría la intensidad de la radiación cósmica a que estaría sometido el personal, a niveles aproximadamente iguales que los determinados en la superficie de la Tierra.

»La siguiente muestra una vista exterior de esa estructura concreta, donde se aprecia la presencia de los radiadores de calor excedente, las zonas agrícolas y la coraza anticósmica principal, la cual, en nuestra opinión, podría construirse de escorias resultantes de la propia actividad industrial en curso en el lugar. (Figura A.)

»Dedicaré algo más de tiempo al examen de la última figura C, ya que ofrece detalles sobre el aspecto económico. Debo añadir que, según me han dicho, no se acostumbra a incorporar a extrapolaciones como ésta las cargas por interés. Sin embargo, aquí han sido consideradas a razón de un 10 por ciento anual en dólares constantes de 1975, lo cual equivale aproximadamente a un descuento del 17 por ciento, según viene siendo aplicado generalmente por los economistas.

«Estimamos aquí un período de aproximadamente seis años, plazo en el cual tendría lugar la construcción de las primeras instalaciones fabriles (la primera de las estaciones energéticas satélites construidas en las instalaciones industriales del espacio entraría en funcionamiento aproximadamente uno o dos años después).

»Vemos al mismo tiempo el volumen de inversión, más intereses, determinante de la representación en línea quebrada descendente correspondiente a coste neto. Debido al proceso de multiplicación “bootstrap”, es decir, al hecho de que cada instalación industrial satélite ha de construir otras similares, a la par que las estaciones energéticas, llegamos a ese crecimiento geométrico del número de estaciones satélites —1, 2, 4, 8, etc.—, aunque en esta ocasión, y por razones técnicas, hemos estimado

un desarrollo algo más lento. En todo caso, ese crecimiento geométrico ha de determinar un gran impacto en un plazo relativamente breve.

»En segundo lugar, hemos considerado que la propuesta sólo tendrá sentido si supone efectivamente un notable impacto en cuanto a las necesidades energéticas del país. Lo cual significa, suponiendo que tenga sentido, que en breve plazo de tiempo habrá de dominar el mercado de nuevas instalaciones energéticas. De ahí que, en dólares de 1975, hayamos supuesto que el coste inicial no debiera exceder de 15 milis./kwh. aproximadamente, lo cual contrasta con las cifras de 27 y 30 milis, citadas por ponentes anteriores.

»A su vez, y para asegurar la penetración en el mercado y el dominio de esa solución del problema energético sobre las demás, hemos supuesto que tras un coste inicial de 15 milis., con el tiempo habría de pasarse a 12, 10, 8, etc.

»Debido al rápido crecimiento determinado por la operación multiplicadora que llamamos “bootstrap”, ya en el año decimotercero de vigencia de un programa de esta clase la capacidad de producción de nuevas plantas energéticas satisfaría la necesidad anual de generación adicional en los Estados Unidos.

»A título comparativo debiéramos citar dos valores. Uno referido al hecho de que para el año undécimo de un programa como éste —a los once años del inicio de la construcción de las primeras instalaciones generadoras— se transferiría energía a las redes colectoras de la Tierra en cantidad que superaría la capacidad máxima del oleoducto de Alaska. Ello equivale a aproximadamente dos millones de barriles al día.

»Y hacia el año decimosexto o decimoséptimo, de acuerdo con el mismo gráfico, la cantidad total de energía importada del espacio y aplicada eficientemente a la red distribuidora de la Tierra sobrepasaría la capacidad máxima de reserva de la vertiente norte de Alaska estimada actualmente.

»Debiera añadir que cuando se calcula, como gustan hacer los economistas, la llamada razón beneficio/coste de un programa de esa clase, se observa que dicha razón es mucho mayor que la unidad. Ello resulta evidente en la gráfica adjunta por el hecho de que la inversión inicial cambia de sentido y se convierte en beneficio al cabo de cierto tiempo. Está claro que esos rendimientos podrían ser muy cuantiosos.

«Procede señalar aún otra posibilidad asociada a esas bajas tarifas eléctricas; no se trata de certidumbre, pero sí de posibilidad: parece ser que se podrán disminuir esas tarifas en medida suficiente para permitir la síntesis de combustibles artificiales aquí en la Tierra, de manera económica, que vengan a sustituir la gasolina y determinen lo que sería una auténtica independencia energética para el país.

»Como sabemos, la cantidad de energía correspondiente a la electricidad representa sólo un 40 por ciento aproximadamente del consumo total del país. El restante 60 por ciento se encuentra en forma de combustible para el transporte, aplicación directa de carácter industrial y calefacción doméstica. Si podemos hacer que bajen suficientemente las tarifas eléctricas se nos abrirá asimismo ese mercado.

»Para terminar, creo que la industria orbital debiera responder a criterios de máxima sobriedad, con personal muy motivado, rigurosamente seleccionado y laborioso, y ausencia de lujos superfluos.

»Si nuestra ingeniería es sensata y nuestros cálculos correctos, habría de ser posible atraer al capital privado con buenas perspectivas de rentabilidad.

»Por último: Presentamos un enfoque sistemático en el que se combinan de modo inédito cierto número de aspectos tecnológicos conocidos y dominados. No se requiere hallazgo especial alguno en la ciencia básica ni en cuanto a la tecnología de los materiales. Por esta razón recomiendo que la investigación se lleve a cabo teniendo en cuenta que el resultado puede hallarse mucho más próximo en el tiempo que mediante cualquier otro concepto cuya ciencia básica ha de ser aún completada.

»Muchas gracias».

(En el documento original se inserta en este punto una meticulosa declaración técnica para archivo permanente. La sesión continúa con el siguiente coloquio.)

«*Senador Ford*: Profesor, ¿es todo malo en el paraíso? (Risas.)

»*Doctor O'Neill*: En mi fuero interno, señor, debo admitir que espero que si se pone a 10.000 personas laboriosas y motivadas en una situación tal que cuenten con energía ilimitada y gran provisión de materiales, muy pronto darán con la forma de construirse ambientes muy atractivos.

«*Senador Ford*: Yo también busco energía ilimitada. ¿Qué probabilidades ve usted de cooperación internacional en una empresa como la que propone?

»*Doctor O'Neill*: Ha sido mucho el interés demostrado por algunos individuos, no pocos de ellos vinculados a gobiernos extranjeros. Así se deduce de los miles de cartas recibidas, muchas de ellas, como digo, del extranjero. He observado en muchas de esas misivas que se hace referencia a si eventualmente va a tratarse de una reserva americana o si cabe la intervención y participación de otros. Espero, por muchas razones, que la respuesta a la cuestión será que la aventura obedecerá a un programa de colaboración internacional.

»*Senador Ford*: Ha dicho usted que iba más allá de las extrapolaciones normales y, así, ha introducido los intereses en sus cálculos. No creo haber reparado en el coste total de su propuesta. ¿Puede ofrecernos una cifra global al respecto?

»*Doctor O'Neill*: Creo que preferiría establecer un margen. Si consideramos los costes de elevación característicos de la era del transbordador espacial — aproximadamente diez veces superiores a los estimados por el caballero de la Boeing — hablamos de cifras del orden de 40 a 200 mil millones de dólares, en cuanto a inversión, es decir, del 15 al 25 por ciento de lo que en tal concepto planea gastar la industria eléctrica en los próximos 25 años.

«*Senador Ford*: No es un margen poco amplio: 40 a 200 mil millones de dólares.

»*Doctor O'Neill*: A los físicos nos gusta disponer de un gran margen.

«*Senador Ford*: Y a los contribuyentes saber cuánto les va a costar; además, nosotros hemos de someterlo a juicio. Me parece que sus conocimientos habrían de permitirle

aproximar un tanto esos límites.

»*Doctor O'Neill*: No puedo admitir el cumplimiento acerca de mis conocimientos, señor, pero en cuanto al margen apuntado debiera decir...

»*Senador Ford*: Es usted modesto; prosiga.

»*Doctor O'Neill*: Depende en gran medida de las restricciones que nos sean impuestas. Creo que si pudiéramos hacerlo a mi modo seríamos capaces de sujetarnos a la cota inferior. Si nos vemos forzados a proceder sobrecargados con un gran número de programas marginales que pueden ser o no necesarios, el presupuesto habría de acercarse al extremo superior.

»*Senador Ford*: Estimo que su oferta representa una propuesta atractiva y creo que la NASA debiera examinar rigurosamente su idea, especialmente en lo tocante a las extrapolaciones económicas. Ha descrito usted el lanzador eléctrico capaz de enviar rocas desde la Luna a miles de kilómetros por hora, pero me pregunto qué aspecto tendrá el recogedor del otro extremo.

«*Doctor O'Neill*: Depende notablemente de las propiedades del lanzador. Si nuestros cálculos son correctos, la probabilidad de error circular, en términos militares, con que pudiera llegar el material lunar, sería de tan sólo unas decenas de metros. Y dado que el material se desplazaría a sólo una décima o vigésima parte de su velocidad inicial, es decir, de salida de nuestro satélite, su aprehensión no debiera ser difícil. Una de las grandes dificultades presentes con este sistema estriba en que hasta hace muy poco carecíamos de investigación al respecto. Nos encontramos ahora en el punto en que hasta la más mínima inversión en este sentido podría resultar enormemente rentable con miras a rebajar estas cifras.

»*Senador Ford*: ¿Qué ocurriría si el recogedor falla?

»*Doctor O'Neill*: El material se perdería en el espacio, para regresar eventualmente y caer de nuevo, probablemente en la Luna, pero dentro de miles de años.

»*Senador Ford*: ¿Representaría algún problema para la navegación alrededor de la llamada colonia?

«*Doctor O'Neill*: No lo creo así, señor, porque estimo que los fallos serán muy pocos.

«*Senador Ford*: Fallar o acertar no es ciertamente lo mismo, profesor.

»*Doctor O'Neill*: Por eso, precisamente, necesitamos investigar.

»*Senador Ford*: El Centro Marshall de Vuelo Espacial ha examinado su propuesta, si no me equivoco. Su informe, publicado hace un año más o menos, decía que iba usted a necesitar dos nuevos cohetes nucleares y otro de gran tracción elevadora. ¿Por qué no necesita ya esos cohetes para hacer viable su proyecto?

»*Doctor O'Neill*: Es cuestión de decidir de qué modo se va a proceder para resolver un problema. En el enfoque Marshall, lo describiría como una concatenación lógica. Han dicho: ésa es una nueva idea y, por consiguiente, la pondremos a la cola de una serie compuesta por todas las demás surgidas últimamente. Si se encuentra al final de ésta es necesario que, como parte integrante del programa, incluyamos prioritariamente todos los demás conceptos que nos interesan, y así, cohetes

nucleares, etc. En mi opinión esas cosas son innecesarias. Creo, de hecho, que todo lo que proponemos puede lograrse dentro de los parámetros del Transbordador Espacial y del vehículo derivado del mismo.

«*Senador Ford*: Me asombra un poco su declaración de que no necesitamos desarrollar nuevas tecnologías para llevar a efecto su plan. Si no me equivoco, el doctor Glaser y la Compañía Boeing parecen estimar que se necesitaría un importante logro tecnológico en el futuro próximo. ¿Cree usted que la mayoría de los demás científicos, inclusive los de la NASA, estarían de acuerdo en que no hace falta ya investigación adicional?

«*Doctor O'Neill*: No me he declarado opuesto a la continuación de la investigación en esas áreas, señor. Más bien afirmo que el enfoque que proponemos equivale a buscar ese paso en la barrera montañosa más que empeñarnos en un ataque frontal. Si no damos con una alternativa que nos permita bajar el coste y eliminar algunas de las trabas que nos limitan, por ejemplo mediante la utilización de los minerales de la Luna, entonces habrá que optar por el asalto directo. Y ello sólo puede efectuarse reduciendo en medida considerable la masa de las plantas energéticas y los costes de lanzamiento y elevación. Sin embargo, con nuestro planteamiento creo que ninguna de éstas es necesaria.

«*Senador Ford*: ¿Disponemos actualmente de la tecnología necesaria para tomar rocas de la Luna, como dice usted, convertirlas en lingotes de aluminio y extraer oxígeno líquido, así como reciclar el carbono e irradiar el excedente de calor al espacio?

»*Doctor O'Neill*: Según las conclusiones de un grupo de trabajo del Laboratorio Ames de la NASA, que abordó esa cuestión el verano pasado, los sistemas de procesado químico requeridos son muy similares a los que se encuentran ya en curso de desarrollo en la Oficina de Minas en relación con gangas muy semejantes a las lunares. Creemos, por tanto, que no hay nada fundamentalmente nuevo en ese sentido. Pero ello no quiere decir que no se tenga que examinar la cuestión muy de cerca y trabajar en profundidad.

«*Senador Ford*: ¿Sabemos ya cómo erigir estructuras gigantescas en el espacio? Creía que eso sería algo que aprenderíamos una vez puesto en juego el Transbordador Espacial.

»*Doctor O'Neill*: Tiene usted toda la razón, señor. Necesitamos experiencia. Cuando digo que no nos falta ninguna tecnología básica nueva, no pretendo afirmar que podamos hacer un pedido mañana y recibir al poco satélites generadores o transmisores de energía. Queda aún mucho por hacer. Pero lo que sí sostengo es que no hace falta más progreso —que sea indispensable, quiero decir— en cuanto a tecnología de materiales, límites de temperatura, etc.

«*Senador Ford*: Los científicos nos dicen, vamos, me han dicho, que la Luna tiene una noche que dura 14 días. ¿De dónde se sacaría la energía para accionar el impulsor de masas?

«*Doctor O'Neill*: Los del Marshall, y también el estudio de verano último celebrado en el Laboratorio Ames, me han convencido de que deberíamos servirnos de una pequeña planta nuclear en la Luna para accionar el impulsor de masas durante el día lunar, al igual que durante la noche. Creo que presentan su caso con gran convicción.

«*Senador Ford*: ¿Disponemos de la tecnología necesaria para construir turbogeneradores de ese tamaño para su propuesta? Entiendo que Boeing afirma que para Powersat necesitaríamos un turbogenerador seis veces más poderoso que cualquier de los actualmente existentes.

«*Doctor O'Neill*: Mi impresión acerca de la propuesta Boeing, señor, es que intentan servirse de cierto número de pequeños elementos porque, en su caso, están limitados por la capacidad de un vehículo de lanzamiento individual. Conforme al enfoque de construir plantas generadoras de energía en el espacio a partir de materiales lunares, uno se vería libre de esta restricción y, a mi entender, construiría simplemente turbogeneradores que correspondieran a la tecnología óptima asequible.

«*Senador Ford*: ¿Cuántos lanzamientos de cohetes serán necesarios para atender a su plan? Y ¿supondrá ello riesgo alguno ecológico?

«*Doctor O'Neill*: El número de lanzamientos, senador, sería similar al que se precisaría para la puesta en órbita de un satélite energético si para ello hubiere que recurrir a vehículos de la clase que llamamos derivada del Transbordador Espacial. Es decir, del orden de varios centenares de lanzamientos en un plazo de 5 o 6 años. El impacto ecológico correspondiente sería de aproximadamente el 1 por ciento del causante en el ambiente por el lanzamiento desde la superficie terrestre de estaciones energéticas satélite en un plazo similar.

«*Senador Ford*: Hace poco ha prestado usted declaración ante un Subcomité de la Cámara, y según creo ha dicho: “Un nivel de medio a un millón de dólares es probablemente adecuado. La aportación de una cantidad mayor en este momento supondría seguramente un malgasto e impropiedad en cuanto a lo presupuestado para esta línea de investigación”. ¿Cree usted aún que eso es todo lo que se necesita por el momento?

»*Doctor O'Neill*: En el curso del año que viene, así es, señor. Y con esa cifra de medio a un millón de dólares me refiero a la investigación específica de la cuestión de construir en el espacio estaciones energéticas satélites a partir de materiales lunares. La investigación adicional destinada a subir el nivel en cuanto a vehículos elevadores y tecnología de plantas generadoras y demás, es decir, de todo cuanto contribuya a lo que podríamos llamar el asalto frontal, queda dentro de la línea del doctor Glaser, mister Woodcock y otros que están a favor de este enfoque. Y yo no me opondría, ciertamente, a ese apoyo adicional que han solicitado.

«*Senador Ford*: Su testimonio, pues, giraba específicamente en torno a un aspecto concreto y no al esfuerzo global relativo a la generación de energía de naturaleza solar, ¿no es así?

»*Doctor O'Neill*: Exacto, señor.

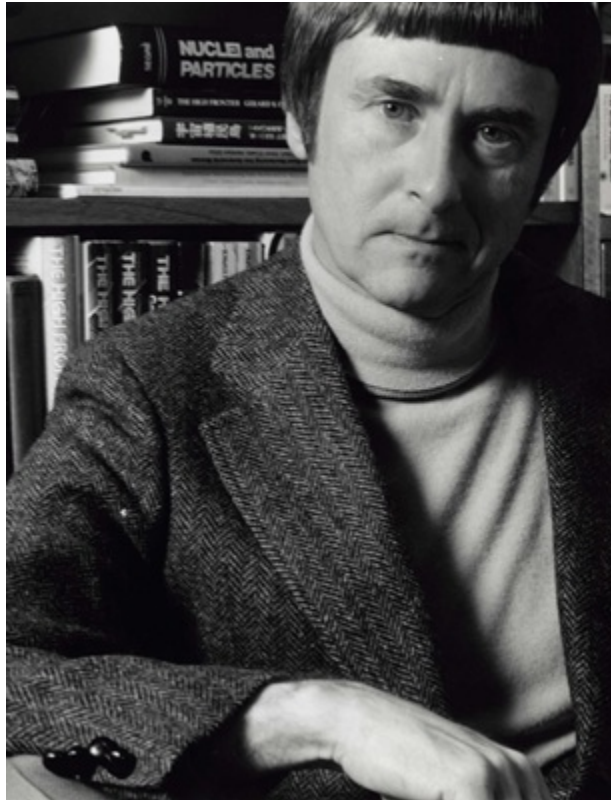
«*Senador Ford*: La NASA, según entiendo, afirma que habrá problemas con la radiación a órbita elevada. ¿Cree usted que ello representa un serio obstáculo en su plan?

«*Doctor O'Neill*: Creo que sólo en nuestro programa parece haber una solución adecuada a ese problema. Sé que éste es importante, porque la intensidad de la radiación en el espacio abierto, es decir, en órbita geosincrónica o más alta, es de aproximadamente 10 R por año —10 unidades roentgen al año—, lo cual se encuentra considerablemente por encima del nivel que se juzga hoy límite, por parte de la ERDA, en caso de exposición constante. Conforme al plan que propugnamos, en la vecindad inmediata de la instalación manufacturera del espacio se produciría la llegada continua de toneladas y más toneladas de material, gran parte del cual no sería esencial para la construcción de las estaciones energéticas satélites: se trataría de una especie de escoria industrial. En nuestro planteamiento hemos supuesto que en un período de dos o tres años después de que haya sido colocado en su lugar el esqueleto mínimo de la instalación productora, se habría acumulado en torno a ella una coraza de grosor suficiente para reducir la intensidad de la radiación cósmica en el interior a niveles semejantes a los que se desearan en la superficie de la Tierra.

«*Senador Ford*: Profesor, creo que ésas son todas mis preguntas. Deseo felicitarle por su imaginación y, en particular, por su dedicación a este campo; creo que es francamente encomiable. Permanezca en contacto con nosotros, ¿lo hará?, y trataremos de colaborar con usted tan estrechamente como nos sea posible.

»*Doctor O'Neill*: Gracias, señor.

»*Senador Ford*: Gracias a usted por su presencia hoy aquí.



GERARD K. O'NEILL nació en Brooklyn, N. Y. Licenciado en Físicas por el Swarthmore College en 1950, se doctoró por la Cornell University en 1954, año en que ingresó en Princeton como profesor adjunto, para acceder a la cátedra de su especialidad en 1965.

El doctor O'Neill ha venido dedicándose especialmente a la investigación de las partículas de elevada energía. En 1956 inventó la técnica del anillo acumulador para los haces de partículas colisionantes, método que hoy constituye la base de casi todas las nuevas máquinas de elevada energía. Inició sus estudios sobre la colonización humana del espacio en 1969, en el marco de sus clases en la Universidad de Princeton, y los dio a la publicidad por primera vez en 1974. El doctor O'Neill fue señalado en 1975 por los editores de *Aviation Week* como uno de los americanos que más contribuyeran al desarrollo de la ciencia aeroespacial en 1975. Durante el curso académico de 1976-77, y en el disfrute de una excedencia, concurrió al Massachusetts Institute of Technology como profesor Jerome Clark Hunsaker, de Ciencia Aeroespacial.

SOBRE EL ILUSTRADOR

Donald Davis es un artista independiente especializado en temas relacionados con el mundo aeroespacial. Ha aportado numerosas obras a la NASA, colaborando en el proyecto Viking, y es ilustrador científico del U. S. Geological Survey.

Notas

[*] Fue la concesión por parte del gobierno británico de la exclusiva de la venta del té en América a una compañía inglesa lo que movió a los seguidores bostonianos del independentista Adams a la destrucción de una partida de té por valor de 50.000 dólares, a la rebelión franca y, a la postre, a la independencia en 1776. (N. del T.). <<

[*] Unidades estándar de adquisición en órbita elevada electrónicamente controladas.
(N. del T.). <<

[1] Luciano de Samósata. *Historia verdadera e Icaromenippus* (data original A.D. 160), traducciones inglesas (respectivamente), New York: Murray, Scribner & Welford, 1880, Oxford: Clarendon Press, 1905. E. E. Hale, «La Luna de ladrillo», *Atlantic Monthly*, 24, octubre, noviembre, diciembre 1869. J. Verne, *En un Cometa*, París, 1878. K. K. Lasswitz, *Sobre dos planetas*, Leipzig, 1897. K. E. Tsiolkowsky, *Sueños de la Tierra y el Cielo*, Moscú, 1895. K. E. Tsiolkowsky, *El cohete en el espacio cósmico*, Moscú, Naootchnoye Obozreniye, 1903. <<

[2] R. H. Goddard, «La última migración», manuscrito fechado en 14 enero 1918, The Goddard Biblio Log, Friends of the Goddard Library, 11 noviembre 1972. R. H. Goddard, «2. Importancia de la producción de hidrógeno y oxígeno en la Luna y en los planetas», notas manuscritas, marzo 1920. H. Oberth, *El cohete en el espacio interplanetario*, Munich, 1923. G. von Pirquet, artículos, *Die Rakete*, 2, 1928. H. Noordnung (Potocnik), *Los problemas del vuelo espacial*, Berlín, Schmidt and Co., 1929. J. D. Bernal, *The World, the Flesh and the Devil* (Mundo, demonio y carne), Londres: Methuen & Co., Ltd., 1929. O. Stapledon, *Starmaker* (Hacedor de estrellas), Londres: K. Paul, Trench, Trubner & Co., 1929. H. T. Rich, «La ciudad volante», *Astounding Stories*, agosto 1930. <<

[3] F. Zwicky, «Astronomía morfológica», Conferencia Halley, 1948, dada en Oxford, 2 mayo 1948, *The Observatory*, 68, 142-143, agosto 1948. H. E. Ross, «Bases orbitales», *J. British Interplanetary Society*, 8, 1, 1949. A. C. Clarke, «El lanzamiento electromagnético, importante contribución al vuelo espacial», *J. British Interplanetary Society*, 9, 261, 1950. W. von Braun, «Cruzando la última frontera», *Collier's*, 22 marzo 1952. L. R. Shepherd, «Vuelo interestelar», *J. British Interplanetary Society*, julio 1952. A. C. Clarke, *Islands in the Sky* (Islas en el cielo). Filadelfia: John C. Winston, 1952. I. M. Levitt y D. M. Cole, «Explorando los secretos del espacio», Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, Inc., 1963, pp. 277-278. F. J. Dyson, «Búsqueda de fuentes de radiación infrarroja estelar artificial», *Science*, 131, 1.667, 1 junio 1960. V. P. Petrov, *Artificial Satellites of the Earth* (Satélites artificiales de la Tierra), traducido por B. S. Sharma y R. S. Varma, Ministerio de Defensa, Gobierno de la India, Nueva Delhi: Hindustan Publishing, 1960, p. 217. K. P. Osminin, «Cuestiones sobre Cooperación Internacional y Economía en las Operaciones Espaciales», *25 Congreso Internacional de Astronáutica*, Ámsterdam, Países Bajos, 30 setiembre-5 octubre 1974. K. A. Ehricke, «Estaciones Espaciales. Instrumentos de nuevo desarrollo en un Mundo Abierto», *25 Congreso Internacional de Astronáutica*, Ámsterdam, Países Bajos, 30 setiembre-5 octubre 1974. A. Berry, *The Next 10.000 Years* (Los próximos 10.000 años), Nueva York: Saturday Review Press/E. P. Dutton & Co., 1974. H. Harry Stine, *The Third Industrial Revolution* (La tercera revolución industrial), Nueva York: G. P. Putnam's Sons, 1975. (Sobre referencias 1-25 cf. R. Salkeld, «Colonización Espacial Ahora», *Aeronautics and Astronautics*, setiembre 1975, en recensión de F. C. Durant 111). <<

[1] Carleton S. Coon, *The Story of Man* (La historia del hombre), Nueva York: Alfred A. Knopf, 1954. <<

[2] Sebastian von Hoerner, «Explosión Demográfica y Expansión Interestelar», en *Einheit und Vielheit*, Göttingen: Van del Houck & Ruprecht, 1973. <<

[3] J. C. Fisher, Energy Crises in Perspective (Crisis energética en perspectiva), Nueva York: John Willey & Sons, 1973. <<

[4] E. P. Schumacher, *An Economics of Permanence* (Una economía de la permanencia), Institute for the Study of Non Violence, Aptdo. 1001, Palo Alto, California, 94302. <<

[5] Estudios Demográficos = 53, Departamento de Asuntos Sociales y Económicos de las Naciones Unidas, Nueva York, 1973. <<

[6] Von Hoerner, *op. cit.* <<

[7] Ibid. <<

[8] P. A. Taylor «Conferencia sobre Población Mundial», entrevista con Ansley J. Coale: Princeton Alumni Weekly, 22 oct. 1974, p. 8. <<

[9] David R. Safrany, «Fijación del nitrógeno», Scientific American, octubre 1974; 231: 4, 64-81. <<

[10] Fisher, *op. cit.* <<

[11] Associated Universities, Inc., AET-8, abril 1972. <<

[12] Fisher, *op. cit.* <<

[13] Jean-Jacques Faust, *L'Express*, 18-24 novembre 1974. <<

[14] Safrany, *op. cit.* <<

[15] Associated Universities, Inc., *op. cit.* <<

[16] J. McPhee, «La curva de energía de combinación», New Yorker, 17 diciembre 1973. <<

[17] Von Hoerner, *op. cit.* <<

[18] Schumacher, *op. cit.* <<

[19] Roberf Heilbrunner, *An Inquiry into the Human Prospect* (Una investigación de las perspectivas humanas), Nueva York: W. W. Norton, 1974. Referencias en págs. 17, 26, 27, 43, 44, 88, 93, 108, 110, 134, 136, 141. <<

[20] J. W. Forrester, *World Dynamics (Dinámica mundial)*, Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1971. <<

[1] *National Geographic*, enero 1975. <<

[2] Gerald Feinberg, *The Prometheus Project* (El proyecto Prometeo), Carden City, Nueva York: Doubleday, 1969. <<

[3] David Hafemeister, «Prueba en cuanto a Ciencia y Sociedad para los Científicos: La Crisis Energética», *American Journal of Physics*, agosto 1974. <<

[1] David R. Safrany, *op. cit.* <<

[2] J. C. Fisher, *op. cit.* <<

[3] G. Harry Stine, *op. cit.* <<

[4] Lewis Beman, «Apostando veinte mil millones de dólares en los superpetroleros», *Fortune*, agosto 1974. <<

[5] T. B. McCord y M. J. Gaffey, «Composición de la superficie de los asteroides según la espectroscopia de reflexión», *Science*, octubre 1974. <<

[6] E. K. Gibson, C. B. Moore y C. F. Lewis, «Nitrógeno total y riqueza de carbono en condritos carbonáceos», *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 35: 599, junio 1971; 6, pp. 599-604. <<

[7] K. Tsiolkowsky, *Beyond the Planet Earth* (Más allá del planeta Tierra), trad. por Kenneth Syers, Nueva York: Pergamon Press, 1960. <<

[8] K. Tsiolkowsky, «Obras selectas», Moscú: Mir Publishers, 1968. <<

[1] G. K. O'Neill, «Colonización en Lagrangia», *Nature*, 23 agosto 1974. <<

[2] G. K. O'Neill, «La Colonización del Espacio», *Physics Today*, setiembre 1974. <<

[3] «Cosecha múltiple. Esperanza para la hambrienta Asia», *Reader's Digest*, octubre 1972, p. 217. <<

[4] Richard Bradfield, comunicación particular. <<

[5] F. M. Lappe, *Diet for a Small Planet* (Dieta para un pequeño planeta), Nueva York: Ballantine Books, 1971. <<

[6] «Cosecha múltiple...», *op. cit.* <<

[1] G. K. O'Neill, «La Colonización...», *loc. cit.* <<

[2] Henry H. Kolm y Richard D. Thornton, «Vuelo Electromagnético», *Scientific American*, octubre 1973. <<

[3] Arthur C. Clarke, «Informe sobre el Tercer Planeta», Signet, 5409, Nueva York: New American Library, 1972. <<

[4] Richard Bach. Dedicatoria a *Jonathan Livingstan Seagull* (Juan Sebastián Gaviota), Nueva York: Macmillan Co., 1970. <<

[1] «Modelo de Ambiente Meteoroidal 1969 (De las proximidades de la Tierra a la superficie lunar)», NASA SP-8013, 1969. <<

[2] G. Latham, J. Dorman, et al, «Selenemotos, Meteoritos y el Estado del Interior de la Luna» y «Sismología lunar», en *Abstracts of the Fourth Lunar Science Conference*, 1973; Lunar Science Institute, 3303, NASA Road 1, Houston, Texas, 77058. <<

[3] R. E. McCrosky, «Distribuciones de Grandes Cuerpos Meteóricos», *Smithsonian Astrophysical Observatory Special Report*; 280, 1968. <<

[4] Morgan and Turner, eds., Natural Environment Radiation Exposure (Exposición a la radiación del entorno natural), Nueva York: John Wiley & Sons, 1967. <<

[5] G. M. Comstock, R. L. Fleischer, et al., «Huella de rayos cósmicos en plásticos: Experimento Dosimétrico Casco de Apolo», *Science*, 9 abril 1971. <<

[6] *Wissenschaften*, 60, 233, 1973. <<

[7] John McPhee, *The Curve of Binding Energy* (La curva de energía obligatoria), Nueva York: Parrar, Straus & Giroux, 1974. <<

[1] Edison Electrical Institute, *Statistical Yearbook of the Electric Utility Industry for 1973*, Nueva York: Edison Electrical Institute, 1973. <<

[2] G. D. Friedlander, *Spectrum* 12, mayo 1975, Institute of Electrical and Electronic Engineers. <<

[3] W. R. Cherry, *Aeronautics and Astronautics* (Aeronáutica y astronáutica), agosto 1973. <<

[4] Informe del Curso de Verano de 1975 NASA-Ames/Stanford University sobre Colonización del Espacio. <<

[5] H. Davis. Actas Conferencia 1975 de la Universidad de Princeton sobre Instalaciones Fabriles Espaciales, ponencia 1-6, Nueva York, AIAA. <<

[6] A. A. Tischler, *ibid.*, ponencia 1-5. <<

[7] G. K. O'Neill, «La Colonización...», *loc. cit.* <<

[8] A. C. Clarke, *Journal of the British Interplanetary Society* (Diario de la B. I. S.), vol. 9, 1950. <<

[9] H. H. Kolm y R. D. Thornton, «Vuelo electromagnético», *loc. cit.* <<

[10] Kevin Fine, Eric Drexler, Bill Snow, Jonah Garbus (M.I.T.), Jon Newman (Amherst). <<

[11] B. Mason y W. G. Melson, *The Lunar Rocks* (Las rocas lunares), Nueva York: Wiley-Interscience, 1970. <<

[12] G. K. O'Neill, «The Low (Profile) Road to Space Manufacturing» («Una vía realista hacia la producción en el espacio»), en *Astronautics and Aeronautics*, setiembre 1977. <<

[1] D. Hayes, *Science*, 27 junio 1975. <<

[2] W. R. Cherry, «Dominando la energía solar: Potencial», *Aeronautics and Astronautics*, agosto 1973. <<

[3] P. E. Glaser, «Cargas en el Transbordador Espacial, Presentación frente al Comité de Ciencias Aeronáuticas y Espaciales», Senado de EE. UU., 31 octubre 1973, Parte 2. <<

[4] W. C. Brown, Actas IEEE, enero 1974. <<

[5] Comunicado de prensa, Oficina de Información Pública, Laboratorio de Propulsión a Chorro, California Institute of Technology, Pasadena, 1 mayo 1975. <<

[6] G. L. Woodcock y D. L. Gregory, American Institute of Aeronautics and Astronautics, comunicación 75-640 presentada en la Conferencia AIAA/Sociedad Americana de Astronomía sobre Energía Solar para la Tierra, 24 abril 1975. <<

[7] K. Bammert y G. Deuster, ponencia presentada en la Conferencia sobre Turbinas de Gas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, Zurich, abril 1974. <<

[8] R. E. Austin y R. Brantley, presentación en la sede central de la NASA, Washington D. C., 17 abril 1975 (sin publicar). <<

[9] R. E. Austin, Centro de Vuelo Espacial Marshall/NASA, comunicación privada. <<

[10] G. K. O'Neill, «Colonias Espaciales y Suministro de Energía a la Tierra», *Science*, 5 diciembre 1975. <<

[11] G. K. O'Neill, Declaración ante el Subcomité sobre Ciencia y Aplicaciones Espaciales, del Comité sobre Ciencia y Tecnología. Cámara de Representantes de EE. UU., 23 julio 1975. Superintendente de Documentación, U. S. Government Printing Office, Washington D. C., 20402. <<

[12] Exxon Corporation, anuncio en la revista *Smithsonian*. Abril 1975. <<

[13] G. K. O'Neill, «Telescopio Orbital de Gran Resolución», *Science*, mayo 1968. <<

[14] R. N. Bracewell, «El Club Galáctico», Stanford Alumni Association, Stanford, California, 1974, y *Nature*, vol. 186, 1960. <<

[15] G. Cocconi y P. Morrison, «Búsqueda de Comunicaciones interestelares», *Nature*, vol. 184, 1959. <<

[16] F. D. Drake, «Proyecto Ozma», *Physics Today*, 14, 140, 1961. <<

[17] Ian Ridpath, *Worlds Beyond* (Mundos más allá), Nueva York: Harper & Row,, 1975. <<

[18] R. N. Bracewell, *op. cit.* <<

[19] Bernard M. Oliver, ed., «Proyecto Cíclope, Informe NASA, CR 114445, 1973. <<

[20] Carl Sagan, *The Cosmic Connection* (La conexión cósmica), Nueva York: Doubleday-Anchor Press, 1973. <<

[1] T. Taylor, «Propulsión de Vehículos Espaciales», en R. Marshak, *Perspectives in Modern Sciences*, Nueva York; Wiley-Interscience, 1966. <<

[2] R. Bradfield, «Cosecha múltiple...», *loc. cit.* <<

[3] F. M. Lappe, *loc. cit.* <<

[1] H. S. F. Cooper, Jr., *A House in Space* (Una casa en el espacio), Nueva York: Holt Rinehart & Winston, 1976. <<

[2] T. B. McCord y M. J. Gaffey, *loc. cit.* <<

[3] C. R. Chapman, D. Morrison y B. Zellner, «Propiedades de la Superficie de los Asteroides: Síntesis de Polarimetría, Radiimetría y Espectrofotometría», *Icarus*, vol. 25, 1975. <<

[4] *Ibid.* <<

[5] Por combinaciones de turbogeneradores del orden dimensional 1300 MW el comprador (TVA) pagó en 1975 \$56/KW al constructor (Brown-Boveri Corp.); (*Wall Street Journal*, 23 enero 1975). El coste correspondiente para 500 KW es de 28.000 dólares. En el texto la figura aparece duplicada con objeto de incluir componentes distintos a los turbogeneradores que integran la planta energética completa. <<

[6] R. Heilbroner, *loc. cit.*, p. 140. <<

[1] Klaus P. Heiss, «Aspectos económicos de la Investigación y desarrollo de nuestro Transbordador Espacial», *Aeronautics and Astronautics*, octubre 1971. <<

[2] G. K. O'Neill, *Nature*, *loc. cit.* <<

[3] Colón vivió de 1451 a 1506; Francis Drake, de 1545 a 1596; Miguel Ángel, de 1475 a 1564, y Shakespeare, de 1564 a 1616. <<

[1] Charles Dickens, *A Christmas Carol* (Villancico de Navidad). <<

[2] C. W. Allen, *Astrophysical Quantities* (Cantidades astrofísicas), Londres: Athlone Press, 3.^a edición, 1973. <<

[3] He puesto cuidado en no verificar los detalles de esta historia cerca del propio John; puede que hubiera sido algo adornada para cuando llegó a mi conocimiento, pero no deseo reventarla con mis juicios. <<

[4] Semejante disposición, citada en un capítulo anterior, ha sido llamada «Esfera Dyson». <<

[5] Que añadir a la lista postal de Circulares; dirección; Profesor Gerard K. O'Neill, Physics Department, Princeton University Box 708, Princeton, New Jersey, 08540.

<<

[6] O. K. O'Neill, *Nature*, *loc. cit.* <<

[7] G. K. O'Neill, «La Colonización del Espacio», *loc. cit.* <<

[8] G. K. O'Neill, *Science*, vol. 190, núm. 4218, 5 diciembre 1975. <<

[9] Colonizaciones espaciales; estudio de diseño. NASA SP-413. <<

[10] Colonización del Espacio y Suministro Energético a la Tierra: Declaración de G. K. O'Neill ante el Subcomité de Ciencia Espacial y Aplicaciones, del Comité de Ciencia y Tecnología, Cámara de Representantes de EE. UU., 23 julio 1975, loc. cit.

<<

[11] L5 Society, 1620 North Park Avenue, Tucson, Arizona, 85719. <<

[12] Institute for Space Research, Inc., Box 82, Princeton, New York.

Lista parcial de publicaciones:

Nature, 23 agosto 1974.

Physics Today, setiembre 1974.

«Colonización del Espacio y Necesidades Energéticas de la Tierra», *Science*, 5 diciembre 1975.

«Colonos del Espacio», *Science Year 1976*, setiembre 1975.

«Situación actual de los estudios sobre la industria en el espacio», *Aerospace Magazine*, noviembre 1975.

New York Times, 13 mayo 1974.

New York Times, 12 junio 1975.

New York Times, 18 enero 1976.

Instalaciones industriales en el Espacio/Colonias Espaciales, Actas de las Convenciones de Princeton 1974 y 1975;

Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica, Nueva York (publicadas en un volumen único).

«Cálculo de un Centro de Industria Espacial», *Aeronautics and Astronautics*, setiembre 1977.

Manufactura espacial a partir de materiales no terrestres: Estudio Ames de la NASA (en prensa, como serie: *Progress in Aeronautics and Astronautics*, AIAA, Nueva York, N. Y.).

Actas, Tercera Convención sobre Industria Espacial, Princeton/AIAA, 9-12 mayo 1977, AIAA, Nueva York, N. Y. <<