

# Importancia de la química en los vuelos espaciales: En recuerdo de las cinco décadas del Apolo XI

Manuela Martín y Gabriel Pinto

**Resumen:** Con objeto de conmemorar el cincuenta aniversario de la llegada del hombre a la Luna queremos resaltar la importancia que tuvo la química para que aquel viaje fuera un éxito y cómo ha sido y sigue siendo una ciencia importante en los trabajos de la NASA. Los químicos y los ingenieros químicos han jugado, y siguen jugando, un papel esencial en los viajes espaciales. A su vez, la búsqueda de soluciones para poner a punto estos viajes ha supuesto un gran desarrollo de la industria química en todos sus aspectos, lo que ha mejorado la vida diaria en múltiples campos por sus aplicaciones.

**Palabras clave:** Química, viajes espaciales, materiales químicos, generadores de energía, propulsores de cohetes.

**Abstract:** In order to commemorate the fiftieth anniversary of the arrival of man on the Moon, we want to highlight the importance of chemistry for making this trip a success and how chemistry has been, and continues to be, an important science in the work of NASA. Chemists and chemical engineers have played and, continue to play, an essential role in space travel, and in turn, the search for solutions to fine-tune these trips has meant a great development of the chemical industry in all its aspects, improving daily life in multiple fields for its applications.

**Keywords:** Chemistry, space travel, chemical materials, energy generators, rocket propellants.

## INTRODUCCIÓN

El presidente Dwight David Eisenhower (1890-1969) fundó en 1958 la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA quitándole el carácter militar, y dándole una orientación que sirviera para fomentar las aplicaciones pacíficas de la ciencia espacial. El 29 de julio de 1958 se aprobó la Ley Nacional del Espacio y la Aeronáutica y el 1 de octubre de ese año comenzó a funcionar la nueva agencia.<sup>[1]</sup> Por tanto, en 2018, se celebraron las seis décadas de funcionamiento de la NASA y, con ese motivo, la revista Chemistry

World de la Royal Society of Chemistry publicaba un artículo de Gege Li<sup>[2]</sup> que lleva el título “NASA has contributed to Chemistry”, que es un interesante resumen sobre lo que ha supuesto la química para los viajes espaciales, por lo que creemos que sería más correcto que el título fuera “Cómo la química ha sido la base de los trabajos de la NASA”. Teniendo en cuenta que este año se cumplen los cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna, el 16 de julio de 1969, queremos resaltar la importancia que tuvo la química en el éxito de esta hazaña haciendo un resumen de en qué sentido ha intervenido y cuáles son las aportaciones que, como indica Gege Li, van desde el descubrimiento de nuevos materiales de todo tipo, hasta la explicación de por qué falló el transbordador lanzado en 1986 que desapareció en 73 segundos muriendo todos sus ocupantes, o cómo se superaron los problemas del Apolo XIII.

Los químicos de la NASA son los inventores de materiales como adhesivos, polímeros plásticos y propelentes que han permitido tener los productos necesarios para estos viajes. También han sido los estudiosos del universo y su composición por lo que han actuado como asesores para misiones espaciales. Ingenieros químicos en la NASA desarrollan, entre otras, tecnologías de control térmico vitales para cualquier nave espacial y prototipos para poder estudiar y conocer la superficie y la atmósfera de la Luna y Marte.

Nuestro trabajo pretende ser un resumen de algunos de los descubrimientos más importantes al respecto.<sup>[1-3]</sup>



M. Martín<sup>1</sup>



G. Pinto<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, Reales Sociedades Españolas de Química y de Física, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.

<sup>2</sup> E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, 28006 Madrid.

C-e: [mmartins@ucm.es](mailto:mmartins@ucm.es)

Recibido: 10/07/2019. Aceptado: 23/09/2019.

## PROPULSORES QUÍMICOS DE COHETES

Para lanzar los satélites al espacio se necesitan reacciones altamente exotérmicas, tener en cuenta la forma de la cámara de combustión y considerar si las sustancias utilizadas son sólidas o líquidas para elegir el propelente. A esas mezclas que no necesitan del aire atmosférico se les conoce como propergoles. Los sólidos son mezclas heterogéneas de un material elastomérico, generalmente polvo de metales como magnesio, aluminio o circonio y un oxidante como el preclorato amónico, o bien homogéneas como mezclas coloidales de nitrocelulosa, nitroglicerina o dinitrato de etilenglicol.

A estas mezclas se le suelen añadir otros aditivos que mejoren la combustión, necesitando un dispositivo que la inicie. Tienen el inconveniente de que, una vez encendidos, no se puede parar la reacción y, además, se deben almacenar a temperaturas bajas para impedir que de forma espontánea o por un choque o golpe comiencen a reaccionar de forma inesperada.

Los propulsores líquidos son más fáciles de usar porque es mejor el sistema de alimentación y más fácil de controlar la reacción, pero tiene el inconveniente de que se deben almacenar y manejar a temperaturas muy bajas. En algunos casos, como sucede con la hidracina y el tetróxido de dinitrógeno, la ignición se produce nada más mezclarlos, y se conoce como hipergólica. Sin embargo, en el caso del oxígeno con el hidrógeno se necesita un dispositivo bujía, encendedor o una mezcla hipergólica para que se inicie. En el lanzamiento de los satélites Gemini se usaron tetróxido de dinitrógeno líquido como oxidante y una mezcla de hidracina y dimetilhidracina como combustible. Para el Saturno V, lanzador del Apolo XI, se utilizaron oxígeno como oxidante con hidrógeno líquido o keroseno refinado como combustible en las máquinas F1 (Figura 1) en la segunda y tercera etapa (Figura 2). Los propulsores hipergólicos se emplearon en el programa Apolo, en particular en los motores del Módulo Lunar, que debía trabajar de forma absolutamente fiable, y en el motor F-1 del Saturno V se utilizaron propergoles hipergólicos para arrancar.<sup>[3,4]</sup>

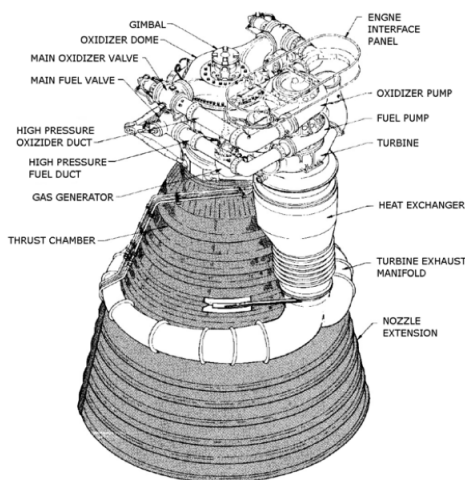


Figura 1. Esquema de la cámara de combustión del Saturno V. 3



Figura 2. Fotografía del Saturno V, cohete de lanzamiento de la misión Apolo XI (tomada de la NASA)

## BATERÍAS ELÉCTRICAS

Para que funcionen una gran variedad de dispositivos: cámaras fotográficas, relojes, dispositivos de propulsión, radios, reguladores de temperatura y muchos otros, se necesita electricidad. Esta electricidad se puede generar por diversos métodos nucleares, solares o químicos. Nos limitamos al estudio de estos últimos por ser los más relacionados con la química.

El uso de las baterías eléctricas es imprescindible en los vuelos espaciales por su eficiencia porque mientras que una reacción química a veces se realiza muy despacio, sin embargo, esos mismos reactivos en una batería reaccionan con solo mezclarlos. Un ejemplo podría ser la reacción entre el oxígeno y el hidrógeno cuya velocidad es prácticamente cero a temperatura ambiente y, sin embargo, en una célula electroquímica montada adecuadamente reaccionan rápidamente.

En las células electroquímicas que se utilizan para dispositivos en el espacio, además de su eficiencia, se deben tener en cuenta otras muchas características como peso, tamaño, temperatura a la que operan, si pueden funcionar en gravedad cero y en vacío y, si son recargables, cuánto tiempo es necesario para esta operación.<sup>[5]</sup>

Entre las más utilizadas están las baterías de plata cadmio,  $\text{AgO}/\text{KOH}/\text{Cd}$ , níquel cadmio  $\text{NiOOH}/\text{KOH}/\text{Cd}$  o plata zinc,  $\text{Zn}/\text{KOH}/\text{AgO}$ , que pueden ser primarias o se-

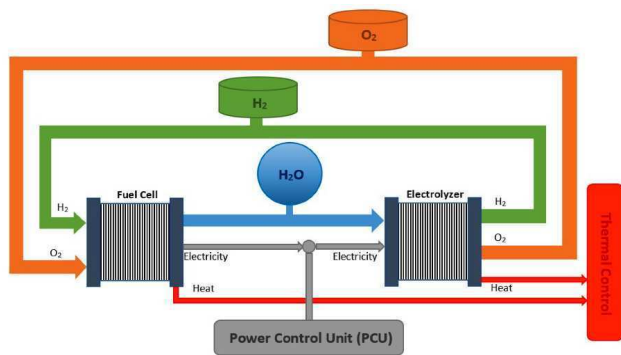


Figura 3. Esquema de una pila de combustible para aplicaciones especiales, tomada de Brey<sup>[6]</sup>

cundarias. Las secundarias se recargan con células solares que funcionan directamente con energía solar y la recarga se produce con cierta periodicidad en cada proyecto.

También se buscan baterías capaces de funcionar a 500°C con electrodos de magnesio y una mezcla de los óxidos de cobre (I) y cobre (II) en una mezcla de los cloruros de litio y de potasio fundidos. Se almacenan a baja temperatura y para ponerlas en funcionamiento se funden las sales mediante un dispositivo pirotécnico que se dispara mediante uno eléctrico.

Las mejores son las “pilas de combustible” funcionando con hidrógeno y oxígeno porque es fácil suministrar los reactivos cuando se van gastando, convierten directamente la energía química en eléctrica, el subproducto es agua, que se puede reciclar para otros usos, y los reactivos se combinan rápidamente y no hay pérdidas por polarización. Para su funcionamiento deben ir acopladas a generadores de estos gases que van suministrando las cantidades necesaria como se puede ver en la Figura 3 tomada de Brey.<sup>[6]</sup> Se usaron por primera vez en 1960 cuando General Electric desarrolló la primera membrana cambiadora de protones para las misiones Géminis de la NASA.

Los gases hidrógeno y oxígeno llegan a los electrodos por difusión y entran en contacto con el electrolito en la zona interior del electrodo. En el cátodo, el oxígeno se reduce a  $-2$  se combina con el electrolito y es transportado como  $\text{OH}^-$ . En el ánodo, el hidrógeno es oxidado a  $\text{H}^+$  que se combina con el  $\text{OH}^-$ , produciendo agua. Los electrodos suelen ser de grafito, que es conductor y bastante poroso. El ánodo está impregnado de un catalizador que normalmente es platino. El agua que se forma se saca de la célula y después de purificada se utiliza con otros fines que pueden ser hasta para lavarse los astronautas.

Las pilas de combustible, que pueden trabajar hasta temperaturas del orden de 1.000°C, están hechas de cerámicas especiales mezclas de óxido de circonio (IV) y óxido de calcio o bien óxido de itrio(III). Los electrodos son en forma de tubos y están recubiertos por dentro y por fuera de una capa porosa de platino. En estos tubos se produce la reacción, por eso, la longitud del tubo se ajusta para que

teniendo en cuenta la presión de los gases, la mayor parte del hidrógeno al pasar por el tubo se convierta en agua y el rendimiento sea mayor.

El método más utilizado para la obtención del hidrógeno es la electrólisis.<sup>[5,6]</sup>

## LUBRICANTES EN EL ESPACIO

Los lubricantes utilizados en la Tierra no sirven para el espacio porque las temperaturas, presiones, tiempo de utilización y velocidad a la que van a estar sometidos no se parecen en nada; estarán sometidos a presiones muy bajas en las que se pueden evaporar y a temperaturas muy altas que se pueden descomponer. Por otra parte, se necesitan unos lubricantes diferentes en el exterior donde estarán sometidos a temperaturas mucho más bajas que las más frías de la Tierra y mucho más altas cuando regresen a la atmósfera, y otros para el interior de la cápsula, donde las temperaturas serán normales. También se necesitan lubricantes para las cámaras de combustión que resistan altas temperaturas.<sup>[7,8]</sup>

Se usan dos tipos de lubricación: de película gruesa y límite o de película delgada. Los lubricantes de película gruesa son para las superficies de apoyo suficientemente alejadas y pueden ser hidrodinámicos o hidrostáticos según que el mecanismo se mantenga por sí mismo o por medios externos. En este tipo de lubricación son muy importantes las propiedades de los lubricantes porque es el que lleva la carga y condiciona la viscosidad, si el fluido es líquido, la temperatura de tolerancia, y la posible reactividad con los materiales de los rodamientos. Es esencial que el lubricante de película gruesa sea suficientemente viscoso como para garantizar que no entren en contacto las superficies de apoyo. Los lubricantes más utilizados son gases como aire o nitrógeno o líquidos como los metales sodio, galio o mercurio. Como su viscosidad es pequeña, es necesario tener en cuenta otras características como una mayor distancia entre las piezas para mantener una amplia temperatura. En los artefactos nucleares estos lubricantes pueden a su vez actuar como refrigerantes. Es importante que a la temperatura que adquiere no exista descomposición de las sustancias, esta limitación se puede evitar si el lubricante se desecha después de pasar por los rodamientos, método que está bien conseguido en la lubricación de las bombas de los propulsores líquidos de los motores de los cohetes. Tiene el inconveniente que reduce el recubrimiento de los óxidos de los metales que recubren los materiales, por lo que se pueden producir daños, sobre todo en el arranque y parada. También puede ser un problema utilizar lubricantes líquidos como el  $\text{N}_2\text{O}_4$  y el  $\text{O}_2$  que pueden oxidar los rodamientos provocando defectos en ellos. A pesar de todo es la lubricación más recomendable por la distancia que se mantiene entre las zonas de fricción.

En el caso de la lubricación de película delgada, como el contacto entre las superficies es mayor el rozamiento también lo es. Para los cojinetes se utiliza un material más blando y con un revestimiento. Los lubricantes utilizados

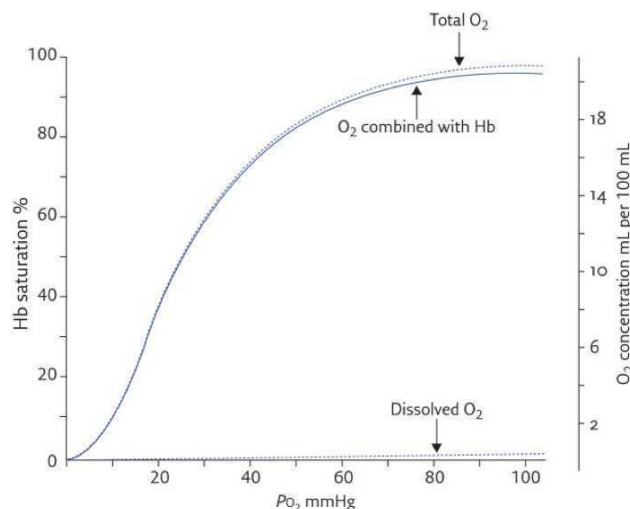
pueden ser fluidos o sólidos, estos últimos siempre que tengan estructura laminar: metales, plásticos, cerámica y cermets (materiales compuesto de cerámica y metales). También pueden ser óxidos, cloruros y sulfuros si tienen una estructura laminar. A veces incluso se le añaden azufre o cloro que reacciona con ellos dando lugar a una lámina más resistente.

Los lubricantes que se utilizan normalmente en la Tierra derivados del petróleo no se pueden utilizar en el espacio por el efecto del vacío, las altas temperaturas y la fuerte radiación a que pueden estar sometidos. Se han utilizado siliconas, metales alcalinos fundidos y mercurio. El poder lubricante del mercurio mejora añadiéndole disulfuro de molibdeno. Las sales fundidas tienen el inconveniente de ser muy corrosivas. Se puede utilizar el grafito pero su poder lubricante varía si lleva pequeñas cantidades de otras sustancias como agua o amoníaco. Como dice Feder: “el disulfuro de molibdeno, consiste en una capa de átomos de molibdeno entre las capas de azufre, estas tres capas forman láminas que se adhieren libremente a otras para formar cristales. Bajo presión, las láminas se deslizan unas sobre otras con relativa facilidad mientras proporcionan un escudo resistente que mantiene las superficies en movimiento, como un eje de vagón y una rueda, separados”.<sup>[9]</sup> El disulfuro de molibdeno tiene una gran variedad de propiedades, un bajo coeficiente de rozamiento que lo mantiene en un amplio rango de temperaturas, desde  $-70^{\circ}\text{C}$  a  $340^{\circ}\text{C}$  y, además, es estable en condiciones de alta radiación y alto vacío. No obstante, puede ocurrir que se produzcan retenciones de calor en determinados puntos que den lugar a su descomposición y sea necesario utilizar otros sólidos laminares que son estables a temperaturas más altas como el PbO y el PbS.

Como lubricantes se pueden usar metales como plata, oro, zinc, cadmio, plomo y estaño, pero solo los dos primeros permanecen sin evaporarse en alto vacío. Además, la plata y el oro son lubricantes hasta  $540^{\circ}\text{C}$  y estables a radiaciones penetrantes. Se pueden conseguir plásticos con propiedades similares a los metales y tiene la ventaja de tener una densidad muy baja, característica que es muy a tener en cuenta en los vuelos espaciales por problemas de peso. Por sus características, uno de los más apropiados es el teflón. Algunos carburos, aleaciones, cermets y cerámicas son los lubricantes ideales a temperaturas muy altas. Los carburos de wolframio, titanio y cromo pueden servir hasta  $800^{\circ}\text{C}$ . Los silicatos con aleaciones especiales de níquel y cobre, grafito y determinadas cerámicas tienen poder lubricante hasta  $1.100\text{-}1.600^{\circ}\text{C}$ .

### COMPONENTES DE LA ATMÓSFERA DE LA CABINA

Según los datos fisiológicos conocidos sobre la respiración en la atmósfera a una altura próxima a los 4.000 metros donde la presión es de unos 480 mm de mercurio y la presión parcial del oxígeno del orden de 100 mm de mercurio, ya no se puede producir la inhalación del oxígeno. En



**Figura 4.** Saturación de la hemoglobina y concentración de oxígeno en función de la presión de esta sustancia<sup>[10]</sup>

la inhalación, el aire entra en los pulmones hasta que la presión es del mismo orden que la atmosférica. Es necesario tener en cuenta en ese cómputo que también ejercen presión el dióxido de carbono y el vapor de agua, cuyas presiones parciales son del orden de 40 y 47 mm Hg, por lo que para una presión externa de 760 mm Hg la del aire inhalado solo sería del orden de 673 mm Hg. Por otra parte, como solo el 21% es de oxígeno su presión parcial en los pulmones sería de 141 mm Hg. Por la ley de Henry, el oxígeno se disuelve en la sangre con una presión parcial aún menor.

Cuando el oxígeno se disuelve en la sangre, rápidamente es absorbido por la hemoglobina por lo que una nueva dosis de oxígeno puede llegar al pulmón y pasar a la sangre. Como se puede ver en la Figura 4,<sup>[10]</sup> cuando la sangre deja los pulmones la presión del oxígeno es del orden de 108 mm Hg, suficiente para producir una saturación de la hemoglobina próxima al 98%. En definitiva, sería suficiente mantener una presión parcial del 108 mm Hg de oxígeno, 40 mm Hg de dióxido de carbono y 47 mm Hg de vapor de agua, es decir, de 195 mm Hg para asegurar la oxigenación de la sangre.

Por otra parte, los estudios aseguran que se puede vivir durante largo tiempo sin necesidad de que el oxígeno vaya mezclado con nitrógeno siempre que se respeten unos límites de presión máxima de oxígeno. Teniendo en cuenta todas esas consideraciones la atmósfera de la cabina tiene solo oxígeno a una presión aproximada de un tercio de atmósfera y de esta forma el metabolismo es correcto.

La cabina tiene que ir provista de un sistema para eliminar el  $\text{CO}_2$  producido mediante un hidróxido de un metal alcalino. Se usa hidróxido de litio por problemas de peso, pero tiene el inconveniente de que se trata de una reacción irreversible y no se puede recuperar el  $\text{CO}_2$ . Por eso, se pensó en usar un óxido metálico como el óxido de plata que forma carbonato de plata que, por calentamiento, se convierte de nuevo en  $\text{CO}_2$  y  $\text{Ag}_2\text{O}$ . Otro sistema es con

una resina cambiadora de aniones que contiene iones hidróxidos intercambiables que reaccionan con el dióxido de carbono. Bajo la influencia de un campo eléctrico los iones carbonato emigran para ser regenerados en otra resina intercambiadora de cationes, dando el dióxido de carbono que se desplaza hacia un sistema de recuperación de oxígeno. En la actualidad el dióxido de carbono se absorbe directamente en una zeolita.

El oxígeno se proporciona a la cabina mediante tanques de oxígeno líquido y también recuperándolo de otros productos de desecho. Como ya hemos indicado, se utiliza el CO<sub>2</sub> mediante reacción con hidrógeno, siguiendo el método de hidrogenación catalítica de Paul Sabatier (1854-1941), premio Nobel de Química (1912):



El agua, por electrolisis, da de nuevo oxígeno e hidrógeno y, el metano, por pirolisis, produce también hidrógeno.

El agua en la cabina procede de depósitos, pero también de las pilas de combustible; incluso es posible obtenerla por destilación de la orina.

También se barajó la posibilidad de obtener metanol a partir del dióxido de carbono, oxidarlo a formaldehído y transformarlo después en hidratos de carbono o, siguiendo las ideas de Sabatier, pasar el dióxido de carbono a metano y este a formaldehído.<sup>[11,12]</sup>

## MATERIALES PARA LOS VEHÍCULOS ESPACIALES

Los viajes espaciales han supuesto un gran avance en el descubrimiento de nuevos materiales por las necesidades de buscar soluciones para situaciones que antes no existían. Entre estos tenemos los que recubren a las naves espaciales para que no sufran del calor a que se ven sometidos al entrar en la atmósfera por el rozamiento con el aire y la velocidad que llevan y que se conocen como ablativos. También se necesitan materiales que no se fundan al quemarse los gases propelentes que llegan a temperaturas entre 3.000 y 4.000°C, motivo por el que las paredes de la cámara de combustión deben de estar protegidas. Son necesarios recipientes criogénicos para gases como hidrógeno y oxígeno líquido con un rango de temperaturas entre -200°C y + 200°C y materiales con determinadas características para el control de las temperaturas.

Por otra parte, todos estos materiales deben de tener una serie de características como ser fáciles de soldar, de laminar, de manejar para hacer piezas, de ensamblar con adhesivos, sujetadores o mediante fusión, etc.

Se llama ablación el sacrificio del material mediante un proceso endotérmico, que puede ser por sublimación o descomposición que, de esta forma, absorbe el calor que podría deteriorar el vehículo o su estructura. Un material ablativo será interesante cuando se pierda poco

material con gran cantidad de calor. La temperatura del material va aumentando a medida que le llega el calor y si es mal conductor se concentrará en la superficie donde tendrán lugar los procesos de descomposición sin que sufran las partes interiores. Debe de ser un material que tenga gran capacidad para absorber el calor o rechazarlo, con baja conductividad térmica y baja densidad.

En el caso de los plásticos orgánicos se forma una capa de carbono y, en la pirolisis, los gases producen una espuma que, al escapar, dejan una capa carbonosa y porosa. Es más importante que sea un material termoestable que termoplástico porque de esta forma se elimina la cadena macromolecular en lugar de romperse. El sistema de protección térmica (SPT) empleado en la cápsula Apolo en 1962 estaba compuesto de fibras de sílice impregnadas de un metacrilato como base refrigerante. Un material típico puede ser una matriz resinosa que lleva una sustancia generadora de gas como el nylon (polímero del ácido adípico y la hexametildiamina) con un material de refuerzo como grafito o sílice. Entre las resinas termoestables está el *novolac* (producto de condensación del fenol y formaldehído) que se convierten en un polímero entrecruzado por adición de una fuente de grupos metileno como la hexametilentetramina. Después de curado se le puede añadir nylon que actúa como generador de gas. Tienen el inconveniente de no ser recuperables y además ser demasiado pesadas. Tampoco se podían sustituir por metales por el peso y por eso, en 1965, se comenzaron a fabricar unas plaquetas de fibra de sílice que se mejoraron posteriormente al añadirle un agente de alta emisión térmica para facilitar la emisión de calor; por eso se recubrió con una base de vidrio de borosilicato al que se añadió Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con intención de mejorarlo, pero perdía capacidad de emisión por lo que se sustituyó por CSi. Como materiales silíceos inicialmente se usaron mullita (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>) o SiO<sub>2</sub>. En la actualidad, en lugar de esas plaquetas se utilizan fibras cerámicas de borosilicato de aluminio con una composición de 62 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>· 14 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>· 24 SiO<sub>2</sub> junto con fibras de sílice, porque son resistentes a temperaturas más altas, y se les añade CSi para mejorar las propiedades ópticas.

Los materiales utilizados en el morro y en la parte delantera de las alas se hicieron en 1958 de fibra de carbono compuestas por grafito que se impregnaba con una resina fenólica y se sometía a varios procesos de pirolisis. A partir de ese momento, a lo largo de los años, se han ido mejorando todas sus propiedades con diferentes tratamientos.

El material de los vehículos es el mismo que en las aeronaves: aleaciones de aluminio, aceros de alta resistencia, compuestos laminados o de titanio que se mejoran con la adición de otros metales. Las más utilizadas han sido las de aluminio mejorado con litio. Pueden ser aleaciones de aluminio con cobre en las que se forma el compuesto intermetálico CuAl<sub>2</sub> como principal ingrediente. Se agregan silicio y litio para hacerlas más duras y cantidades pequeñas de manganeso, magnesio y titanio

para que el grano sea más fino y se impida la corrosión. Posteriormente se le han añadido otros metales con objeto de conseguir mejores propiedades.

En las carcasas de los motores fue en uno de los primeros lugares donde se sustituyeron las aleaciones de acero al titanio por *composites*, resinas compuestas de sustancias de especies muy diferentes (resinas de poliéster, fibra de vidrio, etc.) que forman estructuras muy resistentes y de poca densidad mediante pultrusion (de “pull” y “extrusión”, proceso para conseguir materiales plásticos termorrígidos sometiendo las materias de distintos procesos de devanado, impregnado, curado y corte). Se sigue investigando sobre su composición y el tratamiento para mejorar sus propiedades. Se tiene esperanza de conseguir una importante mejora con los nanotubos de carbono y las láminas de grafeno cuyas propiedades térmicas, eléctricas, rigidez y facilidad de ensamblar son muy prometedoras.<sup>[12-14]</sup>

### MATERIALES DE PROTECCIÓN SOLAR

La astronave en el sistema solar está sometida a una radiación electromagnética recibida directamente del Sol y otra reflejada por los planetas próximos.<sup>[13-15]</sup> La fracción absorbida depende, sin duda, de la naturaleza de la superficie y de la naturaleza de la radiación incidente. A lo largo del viaje, la naturaleza de esta última puede variar según dónde esté situada en un momento determinado. Se puede conseguir que la radiación se refleje mediante pinturas blancas o espejos. La pintura se puede alterar en el trayecto, las pinturas con siliconas y óxidos de zinc o dióxido de titanio son estables a temperaturas altas pero poco estables frente a radiaciones de corta longitud de onda y además son difíciles de unir a la nave. Las cerámicas son más fáciles de unir al material de la nave y son más estables frente a la radiación, están hechas con pigmentos como silicatos de aluminio y litio en polvo, sílice, alúmina y óxido de zinc en agua o disoluciones de silicatos o de fosfatos alcalinos. Los espejos se hacen con un recubrimiento de un metal brillante. Un recubrimiento utilizado ha sido una película de aluminio sobre una capa de silicona.

La protección se puede hacer con reflectores planos que reflejan la radiación solar, pero emiten solo una pequeña parte de la infrarroja y se consiguen con metales muy pulimentados como plata o aluminio o pinturas con hojuelas metálicas, cuya capacidad puede variar por la corrosión de los metales. Otra posibilidad son los absorbentes planos, que tienen alta capacidad de absorción y de emisión, que se pueden hacer con pigmentos negros, como una mezcla de óxidos se usan  $\text{Cr}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$  y  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , o bien  $\text{Mn}_2\text{O}_3\text{-NiO}$ . Estos pigmentos se dispersan en elastómeros de silicona o en un silicato alcalino que se aplica en la estructura a pintar. Se pueden sustituir por metales como cobre o níquel seguidos de una oxidación o bien una anodización, porque suelen ir sobre una base

de aluminio o magnesio, lo que permite obtener una superficie de buenas propiedades ópticas resistente a la corrosión que se puede montar sobre una superficie oscura.

Existe otra posibilidad, que son los conocidos como absorbentes solares, cuyas características son que absorben la energía solar y emiten una pequeña proporción de radiación infrarroja. Los primeros que se utilizaron eran de acero inoxidable con óxido de aluminio oxidados a un color pajizo. Posteriormente, el aluminio se salpicó con pintura blanca. Concretamente en el Mariner IV (1965) se fueron utilizando protecciones más sofisticadas y con un gran número de capas, a veces hasta 30. Para cubrir la parte superior, se utilizó el plástico conocido como mylar que es tereftalato de polietileno (teflón), película fuerte y transparente con apariencia similar al aluminio recubierta con dracon negro (plástico del mismo tipo que el mylar pero impregnado por ambas caras de una resina). La parte inferior se cubría con teflón aluminizado. Los paneles de las células solares eran negros y pintados de negro para disipar la energía solar. El disco donde se sujeta la antena estaba pintado de verde y algunos componentes estaban recubiertos de oro.

Cada misión llevaba una serie de componentes específicos pero todos con un control de la temperatura externo mediante termopares.<sup>[16]</sup>

### MATERIALES PARA LA VESTIMENTA DE LOS ASTRONAUTAS

Los trajes de los astronautas del Apolo XI debían de cumplir una serie de características para poder pasear por la luna y soportar las condiciones de cambios presión y temperaturas (desde muy bajas a muy altas). Estaban hechos de varias capas con distintos objetivos, empezaron siendo once, en la actualidad ese número es mucho mayor. Varias son para evitar el impacto del polvo espacial conocido como micrometeoroides o micrometeoritos, son restos de rocas que se mueven a gran velocidad y que producen un enorme impacto sobre las naves espaciales y los trajes de los astronautas. Debajo llevan un traje conocido como LCVG (Liquid Cooling and Ventilation Garment) traje de enfriamiento y ventilación para mantener la temperatura y la respiración, entre otras cosas, para impedir que los líquidos interiores de los astronautas lleguen a hervir.<sup>[17]</sup> Para la confección de estas capas se usan distintos materiales como nylon, neopreno, teflón, mylar (resistente al desgaste y la corrosión y reflectante) o nomex (familia de las poliamidas aromáticas, que protege del fuego). La capa más interior es de algodón.

Sobre la espalda llevan una especie de mochila que se conoce como sistema de soporte vital primario (PLSS: *primary life support system*). Conservaba el oxígeno y eliminaba el dióxido de carbono producido en la respiración con recipientes con hidróxido de litio (Figura 5).

No cabe duda que muchos de estos materiales tienen aplicaciones importantes en la industria alimentaria, textil, deportes, automóvil, medicina y muchos otros sectores.

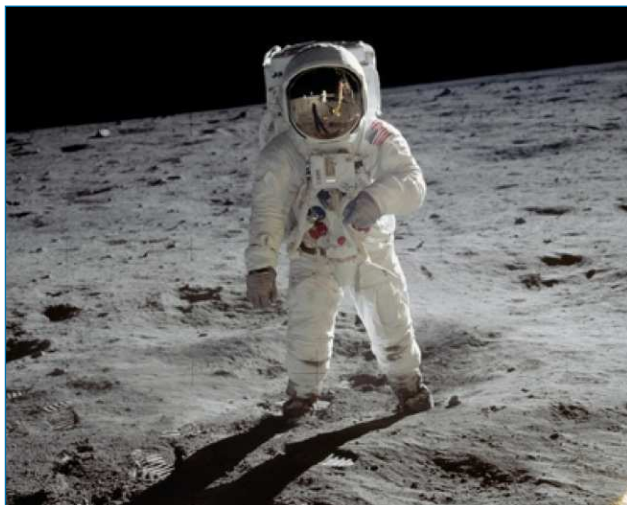


Figura 5. Astronauta sobre la superficie lunar<sup>[18]</sup>

Ante esta variedad de materiales, estamos de acuerdo con la idea de Teilhard de Chardin, cuando en 1961, en El Himno del Universo decía: “no digas nunca, como hacen algunos: la materia esta gastada, la materia está hasta el último instante de los siglos, la materia será joven y exuberante, resplandeciente y nueva para el que sepa entenderla”, según recogen Rincón y Romero.<sup>[15]</sup>

## CONCLUSIONES

Cuando se cumplen los cincuenta años de la llegada a la Luna, el 16 de julio de 1969, es importante recordar el papel de la química para que esta hazaña llegara a buen término.

El Apolo XI, los anteriores y los siguientes viajes espaciales, han sido posibles gracias a los conocimientos científicos de química, de física y de ingeniería y el trabajo en este campo ha supuesto un avance que ha llevado a conseguir gran diversidad de materiales y dispositivos que han mejorado de forma significativa la vida diaria. La relación de tecnologías que benefician nuestras vidas va desde las válvulas que se utilizan en las intervenciones de corazón, los LED, prótesis, material deportivo, purificación del agua, alimentos enriquecidos, y un largo etc.<sup>[19]</sup>

Gracias a la química se consiguieron reacciones de combustión capaces de lanzar los satélites al espacio, se llegó a las pilas de combustión (el generador electroquímico más importante), se obtuvieron materiales adecuados para proteger la cápsula durante su entrada en la atmósfera y para reflejar los rayos solares y para los equipos de los astronautas.

También la química fue capaz de diseñar una atmósfera adecuada en el interior de la cápsula y al mismo tiempo hacer todo un programa para recoger y recuperar todas las sustancias que se generaban por la vida de los astronautas consiguiendo un rendimiento máximo y disminuyendo de

esta forma el peso en el momento del lanzamiento. Podríamos citar varios ejemplos quizás el más llamativo es recoger el dióxido de carbono para volver a producir oxígeno.

Y, por supuesto, no cabe duda que, gracias a la química y otras ciencias, un ser humano pondrá su pie en Marte en un futuro no muy lejano.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la ayuda recibida de la Fundación Obra Social “La Caixa” a través del proyecto “La tabla periódica: un icono de la ciencia que merece conocerse”.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://bit.ly/2ketv1J> (visitada el 25/5/ 2019).
- [2] G. Li, How NASA has contributed to chemistry, *Chemistry World*, **2018**, 15(10).
- [3] <https://go.nasa.gov/2kp9OYC> (visitada el 15/5/2019).
- [4] W. H. Bowman, R. M. Lawrence, Chemical Rocket Propellants, *J. Chem. Educ.* **1971**, 48(5), 335-337.
- [5] W. H. Bowman, R. M. Lawrence, Electrochemical Cells for Space Power, *J. Chem. Educ.* **1971**, 48(6), 359-361.
- [6] J. Brey, D. Muñoz, V. Mesa, T. Guerrero, Use of Fuel Cells and Electrolyzers in Space Applications: From Energy Storage To Propulsion/Deorbitation. E3S Web of Conferences. 2017. 16. <https://bit.ly/2kFp0kF> (visitada el 28/5/2019).
- [7] W. H. Bowman, R. M. Lawrence, Lubrication in Space, *J. Chem. Educ.* **1971**, 48(8) 526-528.
- [8] R. L. Fusaro, Lubrication of Space Systems <https://go.nasa.gov/2IYAEaq> (visitada el 2/6/2019).
- [9] B. J. Feder, Lubrication in Space Age, *The New York Times*, **1981**, 25 June, 2.
- [10] D. El Sherif, J. C. Knox, International Space Station Carbon Dioxide Removal. Concepts and Advancements. NASA Marshall Space Flight Center. <https://go.nasa.gov/2kU9zoy> (visitada el 2/6/2019).
- [11] W. H. Bowman, R. M. Lawrence, The Cabin Atmosphere in Manned Space Vehicles, *J. Chem. Educ.* **1971**, 48(3), 152-153.
- [12] W. H. Bowman, R. M. Lawrence, The Life Support Systems for Manned Space Flights, *J. Chem. Educ.* **1971**, 48(4), 260-262.
- [13] W. H. Bowman, R. M. Lawrence, Ablative Materials for High-Temperature. Thermal Protection of Space Vehicles, *J. Chem. Educ.* **1971**, 48(10) 690-691.
- [14] G. Henson, Materials for Launch Vehicle Structure. <https://go.nasa.gov/2T2fGCN> (visitada el 3 /6/2019).
- [15] J. M. Rincón, M. Romero, Revestimientos Cerámicos y Vítreos para Vehículos Transbordadores Espaciales. <https://bit.ly/2kpm63b> (visitada el 4/6/2019).
- [16] W. H. Bowman, R. M. Lawrence, Optical Surfaces for Temperature Control of Spacecraft, *J. Chem. Educ.* **1971**, 48(9) 605-607.
- [17] D. P. Gon, Complex Garment Systems to Survive in Outer Space, *Journal of Textile and Apparel Technology and Management* **2011**, 7(2). <https://bit.ly/2mkWTaI> (visitada el 6/6/2019).
- [18] <https://go.nasa.gov/2m3wMos> (visitada el 1/7/2019).
- [19] <https://go.nasa.gov/1JUyTLI> (visitada el 1/7/2019).