



Por el Capitán Farmacéutico CARLOS GONZALEZ ORTIZ  
y Teniente Farmacéutico JOAQUIN CACHO Y CACHO

Diversos autores han considerado al oro, petróleo y carbón como la trilogía que rige los destinos del mundo en la época actual. Si no de la misma importancia, pero sí de un interés también primordial, debido al gran desarrollo que han alcanzado en todos los países los transportes, tanto en la vida civil (en los Estados Unidos circulan más de 30 millones de coches) como en una potencia en estado de guerra, podemos considerar al caucho como uno de los factores que influyen en la vida y porvenir de una nación.

En efecto, en la guerra del año 14, Francia poseía un camión por cada 25 hombres; los ingleses, uno por cada 24. En las maniobras francesas del año 33 se contaba un vehículo por cada 10 hombres. Steinberger prevé en la "Deutsch Wehr" del 16 de enero de 1936 un camión por cada 33 hombres. Possony, especialista austriaco, englobando los autos, motos y camiones de frente y retaguardia, cuenta con un vehículo por cada 12 hombres. El mismo autor considera dos casos en la nación beligerante:

- 1.º Defensiva por tierra y ofensiva por aire.
- 2.º Ofensiva sobre tierra dirigida por un potente Ejército acorazado y aéreo.

En el primer caso calcula como necesarios unos 400.000 camiones, y 835.000 en el segundo.

Estos datos, anteriores a la guerra última, no estaban muy lejos de la realidad, pues de todos es conocido el enorme número de vehículos de transporte que han sido empleados en las batallas relámpago realizadas por Alemania y por los aliados, así como el que se necesita para el aprovisionamiento y municionamiento de las grandes masas de combatientes. Más aún, por haber sido guerras de movimiento, el consumo en cubiertas es máximo.

También la Aviación necesita caucho, no solamente para las cubiertas del avión, sino también para la fabricación de depósitos de gasolina estancos, juntas y otras muchas piezas cuyo número pasa de las 400, etc.; pero, como es lógico, en cantidad muy inferior.

El material sanitario, las máscaras antigás, los tra-

jes antiperíticos, la industria eléctrica, conservera, de calzados, de juguetes, mangueras y otros muchos objetos empleados en la industria, llevan caucho como uno de sus componentes.

De todo lo dicho se desprende que las naciones hayan luchado por la posesión de plantaciones, y aquellas que no las han logrado hayan realizado el máximo esfuerzo por lograr la producción sintética de un material de tanto valor.

Iremos viendo a través de estas líneas su historia y obtención, la constitución y propiedades, los trabajos realizados para su síntesis, la producción, la distribución mundial y el consumo.

#### Historia.

Las primeras referencias sobre el caucho se deben al español Fernández de Oviedo y Valdés, quien en 1536 describe en una comunicación el juego de pelota de los indígenas de Africa del Sur, con pelotas obtenidas del jugo lechoso de ciertos árboles. La Condamine, en el año 1735, da una descripción más exacta, indicando se trataba del latex desecado de cierto árbol que fué descubierto por Fresneau en 1751.

Desde tiempo inmemorial era empleado por los indígenas para la confección de zapatos, recipientes, etc., y en pequeña escala fué utilizado a partir de mediados del siglo XVIII para los mismos usos en el mundo civilizado.

El caucho bruto, por sus propiedades, era poco apropiado para el empleo en la industria; pero en el año 1839 su porvenir está asegurado cuando el americano Goodyear descubre la vulcanización. Observa Goodyear que el caucho bruto adquiere cuando se le calienta con azufre propiedades totalmente diferentes, adquiriendo tenacidad y perdiendo su viscosidad. Algunos años más tarde, en 1846, encuentra Alexander Parkes el procedimiento de vulcanización en frío mediante el cloruro de azufre, y finalmente Peachey muestra que el azufre que se desprende de la reacción entre el anhídrido sulfuroso y el ácido sulfhídrico rea-



liza la vulcanización con especial energía. Sin embargo, este último procedimiento se ha empleado raras veces.

Desde estos momentos su consumo aumenta considerablemente, y para atenderle se procedió a una explotación devastadora de los bosques vírgenes del Brasil, y aunque éstos parecieron totalmente inagotables, se temió llegar al momento donde el transporte principalmente estaría erizado de grandes dificultades. Se intentó, pues, explotar en regiones tropicales más fácilmente accesibles plantas suministradoras del caucho; y así se realizó en la A. C., Africa y la India.

En 1876, un jardinero, Wickhain, de Kew Gardens, logra llevar a los jardines de su patria semillas del "Hevea brasiliensis" en condiciones de germinar. Las plantas cultivadas fueron enviadas a Ceilán y Singapur, y de aquí, a través del tiempo, las plantaciones fueron extendiéndose a las regiones limítrofes con tal rapidez, que en el año 1918 existían aproximadamente 70.000 hectáreas, dedicadas casi exclusivamente al cultivo de la "Hevea". El capital invertido llegó a unos cien millones de libras esterlinas, noventa de los cuales eran de origen británico.

La mitad del terreno dedicado a las plantaciones está dentro de dominios ingleses. De la otra mitad, la parte principal está en las llamadas Indias Neerlandesas.

Como es lógico, el caucho de plantación ha desalojado del comercio el caucho silvestre, y su producción ha sido tan elevada que el precio descendió tan rápidamente, que hubo que preocuparse de buscar nuevas aplicaciones de este producto.

#### Obtención. Elaboración.

El caucho se obtiene del jugo lechoso de ciertos árboles tropicales, pertenecientes a las familias de las euforbiáceas, artocarpáceas y apocináceas. La mayoría del caucho lo suministra el género "Hevea", de la familia euforbiácea, cuya especie, "Hevea Brasiliensis"; nos da la clase más estimada, que lleva el nombre de caucho de Pará, por ser Pará el sitio por donde se le exporta. Pero no solamente el caucho natural, sino también en gran parte del producido por cultivo, procede de plantas del género "Hevea", que, como ya hemos dicho, ha alcanzado enorme desarrollo en el Asia Oriental. De las artocarpáceas merecen especial atención la castilloa elástica y la ficus elástica, que crecen

en la India, ocupando enormes extensiones. Este último árbol posee grandes dimensiones; Griffith ha medido el tronco de uno de ellos, cuyas dimensiones eran 34 metros de altura y 35 metros de circunferencia, e incluyendo las raíces aéreas del tronco medía 41 metros de contorno y ocupaba un área de 208 metros cuadrados. En la familia de las apocináceas se encuentra la urceola elástica, que crece en Borneo y Sumatra también en grandes cantidades; el crecimiento de esta especie es rapidísimo, de modo que en cinco años alcanza 68 metros de altura y 0,5 a 0,75 metros de diámetro, produciendo de 25 a 30 kilos de caucho al año.

El sangrado de los árboles del caucho para obtener el jugo lechoso o latex se verifica aún hoy día por trabajo manual. Con un hacha pequeña se golpean los troncos, cuidando que el golpe no sea tan profundo que dañe al cambium, pues entonces sobreviene una cicatriz obturante que ya no permite sangrar de nuevo el árbol en el mismo sitio, y se coloca rápidamente un recipiente debajo del corte. Esta operación la repiten cada dos días. El rendimiento medio de un árbol asciende por día a siete gramos de latex, que contiene del 20 al 50 por 100 de hidrocarburos de caucho. El latex, que está formado por una emulsión coloidal de finísimas gotitas de caucho, se coagula la mayoría de las veces inmediatamente en el lugar de obtención. Para lograr la coagulación hay diversos procedimientos: el de fumigación, en seco, por agentes químicos y separación mecánica. El viejo procedimiento de fumigación se funda en la acción del ácido acético que contiene el humo. Una maza de madera se sumerge en el jugo lechoso y se mantiene con movimiento giratorio en el humo producido por un fuego de madera. Al mismo tiempo que se produce la coagulación se evapora la mayor parte del agua. Este proceso se repite tantas veces como es necesario para colocar alrededor de la maza de madera una gruesa pelota de caucho bruto. Por último, se corta a lo largo para separarlo de la maza y se dispone para el envío.

Los procedimientos de separación en seco y mecánicamente tienen una cierta semejanza. Los primeros se fundan en la cualidad que poseen ciertos latex de solidificarse espontáneamente en contacto del aire o bien lograr ésta por la adición de agentes separadores y conservadores.

La separación mecánica se funda en eliminar el suero por sustancias porosas, como arcilla, barro, etc., y a veces por membranas semipermeables y ulterior centrifugación.

Por último, la separación por agentes químicos emplea como coagulante el ácido acético, deducción del antiguo procedimiento de fumigación, o bien el ácido fluorhídrico muy diluido.

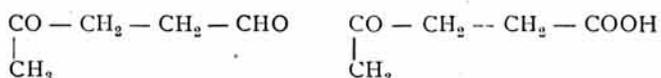
Después de esto, el caucho pasa al comercio para su venta en formas diferentes según su procedencia. Así, las clases más finas del "Hevea Brasiliensis" se presentan en panes y bolas formadas por películas finas arrolladas, de típico olor a humo. El caucho de castilloa viene en forma de bolas, planchas, tiras, etc. Los cauchos de plantación, que hoy día tienen el ma-

por interés, se presentan en forma de pieles claras u oscuras, en parte ahumadas, y de superficie lisa o rugosa.

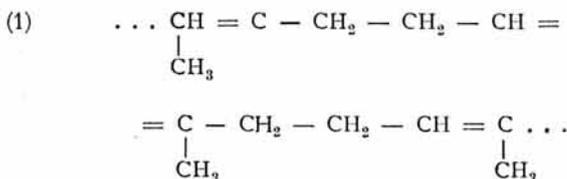
**Constitución.**

Por su fórmula  $(C_5H_8)_x$  debe considerarse al caucho como un derivado del isopreno. En efecto, ya en 1838 Himley, Williams y Bouchardat obtenían en la destilación seca del caucho un producto que contenía un 3 por 100 de isopreno, y la adición de halógenos e hidrácidos demostraba que era una combinación no saturada que poseía un doble enlace por cada cinco átomos de carbono. Pero el esclarecimiento definitivo de su estructura se debe principalmente a los trabajos realizados por Harries en el año 1905 con el caucho de Pará.

La acción del ozono sobre éste da lugar a la formación de ozónido, que se descompone por la acción del agua de una manera casi cuantitativa en ácido y aldehído levulínicos:



Ahora bien; en esta escisión, el carbonilo o carboxilo aparece siempre en el lugar que ocupaba el doble enlace; por tanto, debe presentarse en el caucho el siguiente agrupamiento:



El método de formación de ozónidos no nos dice nada sobre el número de moléculas de isopreno que se agrupan para formar la del caucho. Esta cuestión ha sido estudiada principalmente por Staundiger basándose en la relación que existe entre la viscosidad y la magnitud molecular de las combinaciones en forma de cadena. Por este procedimiento fija en 1.300 el número de moléculas de isopreno que concatenadas forman una de caucho, correspondiendo a éste un peso molecular de alrededor de 90.000.

El método de Debye y Scherrer de interferencias con rayos X hace llegar a la conclusión, ya establecida anteriormente, de que en el caucho debe de presentarse el agrupamiento (1). Aún más, fija su estado físico como amorfo, si bien el caucho estirado, cuando pasa de un cierto límite, produce diagramas de interferencia, es decir, pasa al estado cristalino. Se calculan diagramas que indican la posición de las moléculas de isopreno, en la cadena que constituye la del caucho, cadena que se supone rectilínea en el caucho estirado y arrollada en espiral en el estado normal, con lo cual puede explicarse su elasticidad. Es interesante consignar que ninguno de los cauchos sintéticos, a excepción del cloropreno, presenta la estructura del na-

tural ni aun estirado. El cloropreno estirado presenta el estado cristalino, y con esta semejanza concurre el hecho de que sus propiedades son muy semejantes a las del verdadero.

**Propiedades. Vulcanización.**

Hemos dicho anteriormente que el caucho natural puro era poco apropiado para su empleo, pues no conserva ilimitadamente su elasticidad, sino que se endurece paulatinamente y se vuelve quebradizo, probablemente por una despolimerización de su molécula bajo la acción de la luz y el oxígeno del aire. Pero esta elasticidad se mantiene durante un tiempo ilimitado mediante la vulcanización.

**Vulcanización en caliente.**

En primer lugar, las pieles de caucho se mezclan bien en cilindros mezcladores apropiados, junto con las cargas o materiales de relleno (negro de humo, carbonato magnésico, etc.), materias colorantes, azufre y aceleradores de la vulcanización. Con la masa homogénea que se obtiene se llenan los moldes de la forma del objeto que se desee y se somete a la acción de la presión y del calor, manteniendo el molde en prensas hidráulicas calentadas con vapor. La temperatura, así como el tiempo de vulcanización, depende de la característica de los aceleradores y de la cantidad de azufre entre otras causas. Si el azufre se ha añadido en la proporción de un 5 por 100, se obtiene la goma blanda de elasticidad y carga de ruptura, dependientes del tanto por ciento de cargas; si se ha añadido del 20 al 50 por 100 se obtiene la goma dura o ebonita.

Fué un gran paso en la industria del caucho el descubrimiento de agentes aceleradores de la vulcanización, pues con éstos se consigue vulcanizar a temperaturas más bajas, y, por tanto, modificar en menor grado la estructura de la molécula del caucho; de aquí que los vulcanizados modernos tengan una resistencia a la ruptura y al rozamiento mayores que los antiguos, datos de importancia, sobre todo para la industria de cubiertas de automóviles. Diremos cuatro palabras sobre ellos.

Podemos diferenciar aceleradores inorgánicos y orgánicos: los últimos son los que hay que tener en consideración; sin embargo, tanto unos como otros, son catalizadores verdaderos, ya que la vulcanización es una reacción de adición de azufre al doble enlace de la molécula del caucho. Todos ellos forman combinaciones más o menos complejas con el azufre, y hay que suponer que de este modo su capacidad de reacción se eleva sobremanera en comparación con la que posee en su estado elemental.

Los más activos pertenecen a la serie de los mercaptanos: R-SH y disulfuros R-S-S-R' (donde R y R' son radicales orgánicos cualesquiera); otros son combinaciones aldehídicas de las aminas. Desde luego, son muchos los que hoy se conocen, así como también es grande el número de las fábricas que se dedican a su preparación.



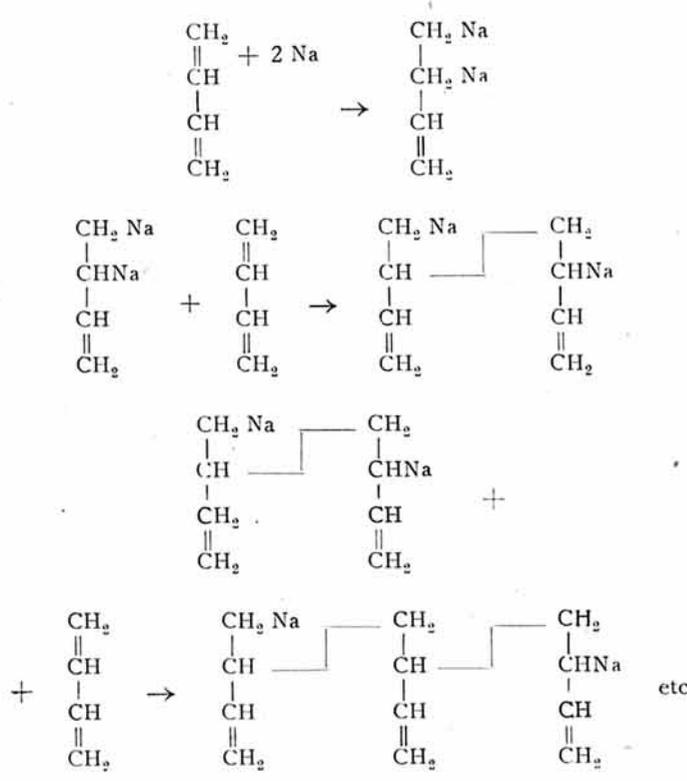
Este último procedimiento no puede llevarse a la práctica a causa de que simultáneamente se forma divinilacetileno de propiedades explosivas.

Obtenido el butadieno se polimeriza éste en presencia del sodio metálico (de aquí el nombre de Buna, formado con las dos primeras sílabas de butadieno y natrium), que es como se realizó en Alemania, o bien en presencia de anhídrido acético, como se realiza en parte en Rusia.

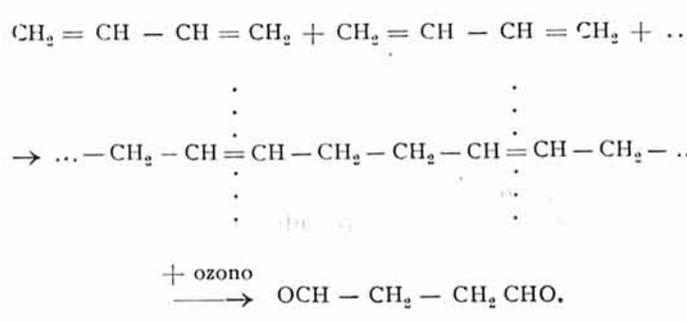
Los estudios realizados por Ziegler sobre la polimerización del butadieno en presencia del sodio explican ésta, según el proceso siguiente.

En primer lugar, una molécula del butadieno adiciona dos átomos de sodio, y el sodio-alquilo formado se adiciona a una segunda molécula de butadieno.

Por consiguiente, se forma un nuevo sodio-alquilo que puede reaccionar nuevamente con el butadieno, y así sucesivamente:



Esta interpretación concuerda con el hecho de que el Buna en la ozonización no suministra ningún aldehído del ácido succínico que debía esperarse de un caucho con cadena no ramificada:



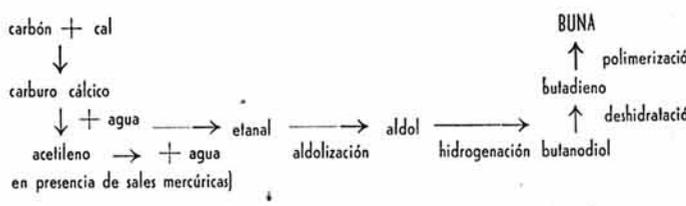
Del caucho Buna hay numerosas clases: algunas se denominan con números, como el Buna 85 y Buna 115; otras con letras, como el Buna S y el Buna N.

Las dos primeras clases se obtienen polimerizando el butadieno con sodio, según el proceso ya descrito, y los números indican la cantidad de moléculas de butadieno que entran a formar una de caucho artificial. Estas clases de Buna se caracterizan por su gran estabilidad frente al calor y se emplean en la industria en la confección de los artículos de caucho más diversos.

Las clases Buna S y Buna N se obtienen según un procedimiento que presenta algunas innovaciones; así el butadieno se polimeriza como emulsión, con lo que se hace semejante al caucho natural de Hevea y además se añaden combinaciones no saturadas como esteres del ácido acrílico o estírol.

Como en la ozonización aparece el dialdehído del ácido succínico, hay que admitir que la cadena es en parte lineal. Estas dos clases poseen cualidades que superan a las del caucho natural. El Buna S, que posee una gran resistencia al frotamiento y que es insensible a la acción del calor, se emplea con preferencia en la fabricación de cubiertas. El Buna N o perbuna, de gran resistencia al frotamiento y estable frente a ciertos disolventes orgánicos y aceites, como la bencina, aceites minerales, aceite de linaza, grasas animales, etc., se emplea en la fabricación de juntas, depósitos, etc., de uso en la industria química.

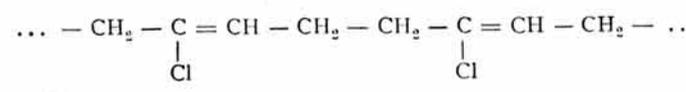
En Alemania, siguiendo la marcha del plan cuatrienal, se obtuvo sintéticamente el total del caucho que necesita para su consumo, siguiendo el método descrito de polimerización, y cuyo proceso total indicamos esquemáticamente a continuación:



**Caucho del cloropreno: dupreno.**

Recientemente en los Estados Unidos se polimeriza el 2-clorobutadieno o cloropreno, en un caucho artificial de propiedades muy semejantes a las del caucho natural, como dijimos al hablar de su constitución, y en ocasiones de cualidades superiores.

El cloropreno posee una capacidad de reacción superior al butadieno, y en consecuencia, su polimerización se realiza fácilmente, formando una cadena del tipo siguiente:



**Producción y consumo.**

En el año 1900 todo el caucho que se consumía en el mundo procedía de árboles silvestres; en 1905 solamente 145 toneladas del consumo mundial procedían



Recolección de látex en una plantación.

de las plantaciones; pero éstas, como ya dijimos anteriormente, se desarrollaron rápidamente, en forma que en 1912 el 12 por 100 del caucho consumido procedía de plantaciones; en 1914 alcanzaba ya el 59 por 100; el final de la guerra del 14 al 18, el 87 por 100, y en estos últimos años, con pequeñas oscilaciones, el 98 por 100 del consumo mundial.

A continuación indicamos la exportación mundial en toneladas durante los años 1936, 37 y 38, y en el gráfico núm. 1, durante el año 1939, que nos indican cómo después de los acontecimientos del Extremo Oriente ha pasado el dominio del caucho al Imperio del Sol Naciente.

	EXPORTACIÓN MUNDIAL EN TONELADAS			
	1936	1937	1938	1939
Malaya Británica.....	352.392	468.189	372.046	383.000
Indias Holandesas.....	310.593	432.683	298.096	378.000
Ceilán.....	40.685	70.353	49.387	62.000
Indochina.....	40.769	43.387	58.518	66.000
Siam.....	34.551	35.551	41.080	42.000
Sarawak.....	21.013	25.922	17.792	»
India y Birmania.....	15.816	16.919	15.179	9.000
Norte de Borneo.....	8.177	13.213	9.512	36.000
América del Sur.....	14.632	15.132	15.337	25.000
Africa.....	6.122	7.689	7.958	75.200
Méjico.....	1.228	2.701	2.454	»
Filipinas.....	1.619	1.717	1.921	»
	856.597	1.133.456	889.280	1.030.200

El precio del caucho ha sufrido grandes variaciones. En el año 1910 valía un kilo de caucho 28 marcos, y los beneficios de las Sociedades eran tan grandes, que se repartieron dividendos hasta de 375 por 100. Causa de este precio fué la lucha por conseguir su fabricación sintética, y es por estos años, como ya sabemos, cuando se registran las primeras patentes. Pero el caucho sufre una baja, y con ello se tiene que abandonar su fabricación; en efecto, a principio de la guerra europea su precio es de 10 a 11 marcos el kilo, y en diciembre

de 1920 alcanza el de 1,87 marcos. En años sucesivos sufre una ligera alza, cotizándose a 6,50 en 1925; a partir de este año se inicia la baja, y así al año siguiente su precio es de 4,50, y en 1933 alcanza el valor mínimo de 0,35 marcos el kilo.

Hoy día el caucho sintético sigue siendo más caro que el natural, aproximadamente el doble; pero las necesidades de independizarse las naciones en tiempo de guerra hace que el precio se considere como factor secundario, y las grandes potencias que no poseen plantaciones tienden a cubrir sus necesidades en caucho con el obtenido sintéticamente. Las estadísticas de producción no son muy exactas, pero podemos calcular en 30.000 toneladas la producción en Rusia, 15.000 la de Italia, así como la de Checoslovaquia y los Estados Unidos, y Alemania, la cantidad necesaria para cubrir su consumo.

El consumo, debido a las aplicaciones numerosas que ha encontrado, ha ido creciendo a pasos agigantados. Antes de la guerra europea ascendía a 130.000 toneladas, que se eleva a 805.000 en el año 1929. Con motivo de la crisis, el consumo baja a 676.000 toneladas en 1931, sube en los años siguientes y en 1936 pasa por primera vez del millón el consumo de toneladas.

Damos a continuación los datos estadísticos de los años 1936, 37 y 38, indicando, como en la producción, en gráfico los consumos del año 1938 para mayor claridad:

	CONSUMO MUNDIAL EN TONELADAS		
	1936	1937	1938
Estados Unidos.....	574.820	543.114	411.200
Inglaterra.....	80.840	112.068	106.900
Alemania.....	66.000	96.000	80.000
Francia.....	58.000	61.000	64.000
Japón.....	61.000	60.000	60.000
Canadá.....	29.000	34.000	35.000
Rusia.....	34.000	28.000	30.000
Italia.....	18.000	23.000	18.000
Bélgica.....	8.000	15.000	12.000
Otros países.....	90.440	111.018	110.000
	1.020.100	1.083.200	927.100

Se observa que los Estados Unidos consumen aproximadamente la mitad, Inglaterra un 10 por 100 más que Alemania y Francia, y nuestra Patria, por su pequeño consumo, se engloba en la cifra de "otros países".

España importaba antes de la guerra poco más de 5.000 toneladas anuales, que le permitían cubrir casi la totalidad de sus necesidades, y esperamos que en los momentos actuales de resurgimiento se creen instalaciones industriales que nos permitan sintetizar con exceso la cantidad necesaria para nuestra total independencia de los países extraños.