



## JUSTUS LIEBIG, LA QUÍMICA AGRÍCOLA, Y EL COLAPSO DE UNA ECONOMÍA BASADA EN EL SALITRE

Richard Korswagen y Alfredo Ibáñez  
*Pontificia Universidad Católica del Perú*  
*Departamento de Ciencias, Sección Química*  
*Apartado 1761, Lima, Perú*

Publicación dedicada a la celebración del Segundo Centenario de la  
llegada de Alexander von Humbolt al Continente Americano

### RESUMEN

Por décadas el salitre chileno fue materia prima esencial para la agricultura (especialmente la europea) y la industria química, pero a partir de los inicios de 1930 perdió mucha importancia en el ámbito mundial debido a la aparición de los fertilizantes químicos.

Estos fertilizantes químicos fueron la consecuencia directa de la aplicación de las teorías de Justus Liebig acerca de los nutrientes minerales, aplicación que resultó en el aumento de la producción de alimentos gracias a la agricultura intensiva.

Es un hecho que sin los fertilizantes minerales la tierra sólo podría satisfacer con una buena nutrición a mil quinientos millones de personas. Hoy en día son alrededor de seis mil millones de personas quienes teóricamente reciben una alimentación equivalente a 12500 KJ por día, sólo de la producción de granos.

Además, las directrices de Liebig son de gran importancia, pues no sólo trataron lo referente a los fertilizantes, sino a la necesidad de realizar cultivos cíclicos, y de esta manera reciclar los nutrientes en la tierra, esto gracias a su estudio de los ciclos biogeoquímicos.

## INTRODUCCIÓN

### *¿Quién fue Justus Liebig?*

Justus Liebig [1,2,3] fue el hijo de un droguero, nació en Darmstadt, Alemania, el 15 de mayo de 1803, e inicialmente se dedicó al estudio farmacéutico.

No terminó sus estudios de Gimnasio (secundaria superior alemana), pues al llevar su penúltimo curso, a los dieciséis años, decidió ingresar como aprendiz en la farmacia de Heppenheim en la Bergstrasse.

En el otoño de 1820 se matriculó en la Universidad de Bonn, y luego se trasladó a la Universidad de Erlangen.

En marzo de 1822 recibió una beca del Gran Ducado que le permitió marchar a París a continuar sus estudios y allí asistió a las conferencias que daban Gay-Lussac, Thernard, Laplace, Cuvier y otros científicos franceses de la época.

Fue en el laboratorio de Vanquelin donde inició sus investigaciones sobre sales del ácido fulmínico. El informe de este trabajo lo presentó a Gay-Lussac en una sesión de la Academia de Ciencia, a la cual asistió también Alexander von Humboldt, quien sorprendido por la habilidad de Liebig, lo recomendó ante Gay-Lussac para que formara parte de su laboratorio privado. Esta simple recomendación constituye, como veremos, uno más de los muchos aportes de Alexander von Humboldt a la humanidad.

Liebig, a su regreso de París, en 1824, fue designado profesor extraordinario en la Universidad de Giessen, gracias a la intercesión –nuevamente– de von Humboldt ante el Gran Duque de Hessen.

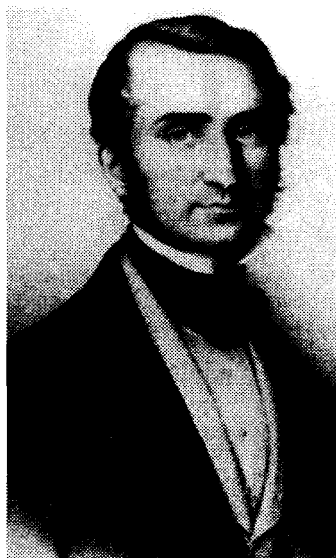
En diciembre de 1825 obtuvo el nombramiento de profesor ordinario, y por medio de las clases que realizó en el laboratorio fundó la enseñanza científica de la química. Es más, fundó el laboratorio de investigación tal como hasta hoy lo conocemos.

Su prestigio como investigador y como maestro fue aumentando progresivamente y en 1845 fue honrado por el Gran Duque de Hessen con el título de barón.

En 1852 aceptó la honrosa invitación de la Universidad de Munich, con la condición expresa de ser liberado de la enseñanza de laboratorio; esto le permitió dedicar todo su tiempo a la investigación, la cual desarrolló de palabra y por escrito.

Uno de sus mayores logros personales fue el de ser presidente de la Academia de Ciencias de Baviera, lo cual le otorgó prestigio internacional.

Muere el 18 de abril de 1873, en la ciudad de Munich, como consecuencia de una inflamación pulmonar.



*Figura 1. Justus Liebig*

## *¿Cuál fue la obra de Justus Liebig?*

Liebig [1,2,3] se mostró como un programático, sus mayores y más notables trabajos fueron los siguientes:

- La enseñanza experimental, gracias a Liebig y a su sistema de enseñanza, la química fue introducida al área de ciencias naturales exactas, además de hacer de la química una ciencia enseñable y aprendible.
- Mejoró el análisis elemental, facilitó la determinación de carbono y nitrógeno en los materiales orgánicos y sus compuestos derivados.
- Teoría de los radicales libres, con ayuda de su colega y amigo, Friedrich Wöhler.
- Teoría mecano-química de la fermentación, según la cual planteaba que los fermentos, debido a su rápida descomposición, causaban la descomposición de las sustancias que la ocasionaban.
- En cuanto a la química agrícola Liebig publicó dos libros: "Química en la aplicación a la agricultura y fisiología" en 1840, y "Química orgánica y su aplicación a la fisiología y patología" en 1842.

En estos trabajos, él defendió la hipótesis de que la alimentación de las plantas se debía a la absorción de compuestos inorgánicos y no de compuestos orgánicos. Es decir, que los excrementos de los animales no fertilizan por el contenido de sus compuestos orgánicos sino que lo hacen en forma indirecta, por los productos inorgánicos residuales de su putrefacción.

En ambos libros se planteó que el fertilizante orgánico, que se compone de plantas y animales, se puede sustituir por compuestos inorgánicos. Estos fertilizantes inorgánicos deberían contener principalmente: amoníaco, ácido nítrico, ácido fosfórico, cal, etc.

Debido a la oposición inicial ante este trabajo por parte de la comunidad agrícola y científica, Liebig se vio en la obligación de reestructurar su obra y la volvió a presentar con un mayor número de datos experimentales, los cuales le dieron finalmente la aprobación de toda la comunidad agrícola.

El punto de la absorción de las sustancias alimenticias del suelo marcó el principio de la verdadera gran industria de los fertilizantes químicos artificiales y favoreció al hecho de dirigir la agroquímica a la interpretación racional de los problemas que le surgieran.

En resumen, en su obra Justus Liebig señaló que la planta recibe el ácido carbónico de la atmósfera, lo cual se oponía a la errónea observación que señalaba que provenía de la tierra, mientras que el agua le proporciona, en solución, los metales alcalinos, alcalino-térreos, fosfatos y nitratos necesarios para su desarrollo. En caso de que uno de estos compuestos no se encuentre, esto se reflejará en que la planta no podrá desarrollarse adecuadamente.

Se puede aumentar la cantidad de carbono asimilada por las plantas, mediante sustancias tales como la cal, la cual no le suministra carbono a la planta, pero sí suministra a los campos los minerales que las plantas que se encuentran en ellos necesitan (esto comprobado por datos experimentales), y por tanto incrementan la producción del campo de tal manera que se ve aumentada la cantidad de carbono presente en él (como biomasa).

Es decir que, con las adecuadas cantidades de minerales presentes en la tierra, la cantidad de ácido carbónico absorbido por la planta de la atmósfera va a ser solamente limitada por la capacidad de absorción de las hojas.

Además, sostuvo que la acción de los fertilizantes sintéticos sobre la superficie de los campos de cultivos se puede ver acelerada e incrementada por las operaciones mecánicas que se realizan en la agricultura, permitiendo de esta manera que cada planta tenga acceso a la acción del oxígeno y el ácido carbónico presentes en la atmósfera y a los minerales solubles que se encuentren en la tierra.

Justus Liebig señaló que un fertilizante debe contener los siguientes compuestos inorgánicos: amonio, fosfatos y silicatos alcalinos, para poder favorecer una mayor producción en las cosechas, pues los otros compuestos necesarios tales como ácido carbónico y el oxígeno, son extraídos naturalmente por la planta de la atmósfera.

## CONTEXTO HISTÓRICO

La segunda industrialización ocurrió entre los años de 1850 y 1914, con ella no sólo aparecieron nuevas invenciones tales como el teléfono, la cámara fotográfica, la máquina de escribir, la máquina de coser, la bicicleta y el automóvil, sino que también impulsó el desarrollo de los lazos económicos internacionales, lo que se debió al deseo de los países de alcanzar un mayor grado de producción en el mundo.

Durante esta época los europeos y estadounidenses dominaban inicialmente el 35% de la superficie terrestre mundial y hacia 1914 ya controlaban el 84%, esta expansión acelerada tiene su origen en un movimiento llamado Imperialismo [4]. El imperialismo surge debido a que la demanda que se presentaba de los productos de primera necesidad era a veces muy superior a la cantidad que podía ser ofrecida por la industria interna.

Esto ocasionó que los países industrializados organizaran la búsqueda de productos o sistemas con los cuales cubrieran las necesidades de sus poblaciones. Un caso especial fue Inglaterra, que debido a que no poseía grandes superficies de tierras aptas para una producción agrícola adecuada, tuvo que comprar grandes cantidades de fertilizante orgánico a Perú, Bolivia y luego a Chile. Esto de acuerdo a que en el siglo XIX se creía que la materia orgánica del suelo, comúnmente llamada humus (la cual provenía principalmente de los residuos vegetales, los excrementos de animales y especialmente los despojos de éstos) era la que le proporcionaba el alimento a las plantas para desarrollarse, y gracias a ella se podía aumentar el rendimiento del suelo.

### *El salitre chileno y la dependencia europea*

Durante esta misma época (a partir de 1836) Chile observó la importancia de la producción industrial y de la competencia comercial. Mientras que Perú podía progresar por su propio impulso, en gran medida por la explotación del guano, Chile necesitaba imprescindiblemente de una vigorosa disciplina administrativa para fomentar su progreso. Una vez reconocida la importancia y la cuantía de los recursos guaneros del Perú internacionalmente, era inquietante para Chile que Perú y Bolivia disfrutaran de otra nueva y alta entrada de ingresos:

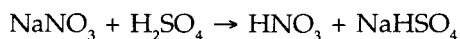
el salitre, que es el nombre del nitrato de potasio (comúnmente llamado "Nitro"), pero que en este caso se aplicó también al salitre de las pampas, que es salitre de sodio (hoy en día llamado comúnmente salitre de Chile).

Fue en este contexto en el cual Chile vio la oportunidad de disfrutar de este nuevo recurso y, por tanto, planeó y llevó a cabo una guerra contra el Perú y Bolivia, la misma que lo dejó con una gran cantidad de deudas internas. Estas fueron en gran parte cubiertas con la puesta en venta del salitre al resto del mundo, siendo su principal cliente el continente europeo.

El salitre chileno era y todavía es extraído de los yacimientos ubicados al norte de Chile, en la zona de Tarapacá y Arica (la escasez de lluvias en estas zonas evita que se laven las sales solubles que se acumulan en la superficie). El yacimiento se encuentran de 2 a 5 metros sobre el nivel de la superficie, y se extiende hasta una profundidad de 15 metros.

Los métodos que se utilizaban para la extracción del salitre eran el método Shank y el método Guggenheim (que aun es el método actual de extracción) [5]. Los productos obtenidos por estos métodos eran transportados por el canal de Magallanes en barco hasta Europa. El precio en el mercado europeo entre los años 1939 y 1940 era de \$29.00 y \$29.40 dólares por tonelada de nitrato de sodio (pero en décadas anteriores había sido mucho mayor).

Como un ejemplo de la dependencia del mundo industrializado del salitre chileno, hasta la década de 1930, figura la producción del ácido nítrico a partir de la acción del ácido sulfúrico sobre el salitre [5]:



Mediante este proceso se producía ácido nítrico de una concentración de 98 a 99%. Cabe anotar en este punto que, para los hasta entonces siempre beligerantes países europeos, el salitre era también materia prima para uso militar: la fabricación de explosivos (obtención de pólvora en base a nitratos, algodón-pólvora por nitración de la celulosa, y otros).

Pero es importante señalar que en cualquier modelo económico viable, lo esencial es que la producción de un país esté destinada estrictamente a satisfacer la demanda interna y en menor cantidad la demanda externa. Además, los insumos necesarios para satisfacer esta demanda deben ser independientes de cualquier influencia externa, es decir que provengan del interior del país y no del extranjero, de tal manera que se evite la dependencia económica. Así, la dependencia europea del salitre chileno para cubrir dos vitales necesidades –alimentos y material bélico– sirvió de impulso para encontrar formas de obtenerlo artificialmente o de sustituirlo, siendo los trabajos de Liebig el fundamento de la solución del problema

## LOS FERTILIZANTES ARTIFICIALES

Como ya se había señalado, a inicios del siglo XIX se creía que la materia orgánica del suelo (humus) era la que le proporcionaba el alimento necesario a las plantas para desarrollarse. También, en esta época, gran parte de la humanidad, especialmente en Europa, padecía hambre. Fue Justus Liebig quien planteó que una agricultura organizada podría suministrar a la humanidad una gran cantidad de alimentos siempre que se lograra armonizar convenientemente el suelo, el hombre y las técnicas de la ciencia moderna y los recursos económicos. La tarea como la planteó era inmensa, pero él podía afirmar que no rebasaría los límites del poder humano. En sus publicaciones de 1840 y 1842 presentó la estrecha relación entre la química y la agricultura, y demostró la importancia de la combinación de éstas para lograr el arte de la producción de alimentos para animales y personas a gran escala.

Una observación inicial y fundamental en su trabajo es la que se refiere al desgaste del terreno, y daba como ejemplo el que si se cultivaba una misma planta sucesivamente año tras año en el mismo terreno, iba a llegar un momento en que el terreno sería despojado de todos los nutrientes que alimentaban a dicha planta. Por tanto no podría desarrollarse correctamente; la “productividad” del terreno se vería afectada negativamente.

Justus Liebig planteó que era necesario saber si en el suelo se encontraban los nutrientes adecuados para el cultivo que se deseaba realizar. En su obra, Justus Liebig señaló que es función de la ciencia



el poder determinar estos elementos, mediante análisis químicos. El estudio químico que él planteó consistía en quemar la planta de tal manera que los componentes inorgánicos que contenía pudieran ser detectados, señalando además en qué cantidad eran necesarios para la planta.

Otra observación que él desarrolló fue aquella referente a la "tierra labrantía", término agrícola que se utiliza para indicar que no se cultivará el terreno en un lapso de tiempo ("descanso del suelo"). Esto se efectúa con la finalidad de recuperar los nutrientes perdidos en anteriores cosechas. Este período de reposo no necesariamente debe implicar el no poder aprovechar el terreno, sino el posible cultivo de otra planta, que no requiera los mismos minerales para su alimentación. De tal manera que, durante el período de vida de la planta, se re-accumulen los minerales ya desgastados por el cultivo anterior (rotación de cultivos). Pero Justus Liebig buscó plantear otros procesos, en los cuales mediante reacciones químicas se logre lo mismo que en el proceso de labrar el suelo, que sería la forma más sencilla y barata de suministrar los minerales necesarios para que éstos sean accesibles para la alimentación de las plantas.

Liebig, gracias a sus investigaciones sobre los materiales que constituían los campos de cultivo, señaló que los principales compuestos que contribuían al crecimiento de las plantas eran inorgánicos, por ejemplo los fosfatos, en especial los fosfatos de calcio. Con esta aseveración Justus Liebig se opuso frontalmente a la teoría del humus, pues él planteó, por ejemplo, el uso de cal viva (la cual es capaz de disolver algunos silicatos gracias al calor que libera al reaccionar con la humedad en la tierra), para liberar los nutrientes inorgánicos que la planta necesita en la superficie del suelo, siendo un hecho conocido que la cal destruye la materia orgánica de la tierra (la cual se suponía, de acuerdo a la teoría del humus, que era lo que alimentaba). Su propuesta quedó demostrada mediante los experimentos en las tierras cercanas a Giessen, donde llegó a comprobar experimentalmente que eran los componentes inorgánicos los que la planta necesitaba para su desarrollo.

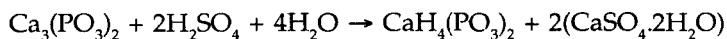
En la agricultura de la época los abonos se aplicaban principalmente en forma de cenizas de los huesos de animales y en forma de guano (ambos abonos orgánicos). Se sabía por experiencia que gracias a cien kilogramos de guano, se podían producir ochocientos kilogramos de

trigo. Un ejemplo de esto se dio en el Reino Unido, donde los suelos se encontraban desgastados por siglos de procesos agrícolas sin control. Debido a este motivo Inglaterra se encontró en dependencia de países que pudieran suministrarle estos fertilizantes, ya fuesen hueso o guano, para que ella fuera capaz de alimentar a su creciente población.

De acuerdo a una serie de estudios realizados por Liebig, la gran importación de guano que realizó Inglaterra para devolverle a su suelo los fosfatos y fertilizarlos nuevamente, era insuficiente debido a que el terreno estaba ya muy desgastado. Liebig señaló en 1827 que la importación de guano, que se redondeaba en alrededor de 40000 toneladas (las cuales poseían un valor de alrededor de 100000 a 200000 libras esterlinas), eran insuficientes para recuperar la fertilidad de las tierras de Inglaterra y Escocia. Además señaló que sería necesario fertilizar la tierra de esta manera por cincuenta años para que la tierra apenas aumentara su producción en un tercio por un lapso de cinco a diez años, lo que sería equivalente a una inversión de miles de toneladas de guano.

Para Liebig la acción de un químico debía ser la de simular este proceso natural. Un ejemplo de esta filosofía lo realizó su colega, el Dr. Buckland, en 1842, quien le escribió a Liebig señalando que había descubierto los coprolitos. Liebig los estudió y determinó que eran parte de una capa geológica que contenía guano fosilizado; este guano contenía un 18% de fosfatos de calcio, el cual podía ser quemado y esparcido en las tierras inglesas como abono, siendo el sustituto perfecto para el guano importado.

Justus Liebig a su vez desarrolló la síntesis del superfosfato, uno de los primeros fertilizantes químicos artificiales, el cual aun es muy utilizado. El superfosfato fue preparado por la acción de ácido sulfúrico (62% a 70%) sobre fosfato de calcio[5].



El sulfato de calcio en forma de yeso se mantiene en la mezcla con la sal de monofosfato cálcico, y es esta mezcla la que se denomina superfosfato.

En el proceso industrial de la síntesis del superfosfato, la roca es reducida a polvo por medio de un triturador de mandíbula y una pie-

dra de molino continuo. El polvo obtenido se coloca con cantidades iguales de ácido frío en un mezclador de fierro con paletas, la mezcla se bate por dos minutos y rápidamente se vierte en un recipiente donde permanece 24 horas. Después de este lapso se remueve la masa del depósito, ya sea por transportadores o elevadores de balde y se almacena en pilas donde se permite que el superfosfato se curta por 8 a 10 semanas. La acción de curtir se refiere a la reacción de liberar ácidos que se encuentren en la roca. En caso de que no haya curta la masa pasa a una molienda donde se divide en granos finos y uniformes y se apila, listo para embarcar.

La cantidad de ácido sulfúrico añadido es menor a la necesaria para la reacción principal, a fin de evitar el intercambio del ácido fosfórico residual. El agua, que se agregó al inicio del proceso, permite humedecer completamente el polvo de roca. Una parte del exceso se mantiene como agua de cristalización; el superfosfato pesa más que la roca de fosfato debido a que el ácido sulfúrico se mantiene en el producto en forma de yeso.

Ajustando la cantidad de ácido, contenido de agua, temperatura (que se varían de acuerdo a la roca usada) se obtiene un producto que es seco, que se convierte en polvo fácilmente y el cual no se pega al taladro o rastrillo que se utiliza para aplicarlo al suelo. Se ha propuesto la producción de un superfosfato granular, es decir un superfosfato denso cuyos gránulos sean mecánicamente fuertes y de tal manera que se puedan acortar los procesos de producción de varios días a media hora; esto puede hacerse en un autoclave rotatorio horizontal.

Los fertilizantes químicos sintéticos, en general, pueden ser considerados a menudo como sustitutos de los fertilizantes orgánicos, pero esa interpretación es errónea. Es cierto que los fertilizantes orgánicos mejoran las condiciones del suelo y le proporcionan una gran variedad de nutrientes, pero son esencialmente subproductos de la granja, es decir, no son selectivos en su función, mientras que el empleo de fertilizantes químicos sintéticos permite introducir nutrientes suplementarios en el ciclo de vida de las plantas, aumentando la producción de materia orgánica en el suelo.

Existe una gran variedad de fertilizantes químicos, ya sean muy ricos en uno o más nutrientes para las plantas; si bien su proceso de

fabricación es más costoso en comparación al de los fertilizantes naturales, su precio de mercado resulta mucho más barato, debido a que no poseen un alto costo agregado debido al transporte (los fertilizantes químicos inorgánicos no son transportados grandes distancias como es el caso de los fertilizantes naturales, que viajan desde su fuente de producción hasta las tierras donde se utilizan).

Teniendo en cuenta que es el mercado el que declara, por regla general, dónde y cuándo se pugna por aumentar la eficiencia de un servicio como la producción de alimentos, surge la necesidad de usar mejores fertilizantes, los cuales deben ser más baratos y más eficientes. Debido a esto el consumo anual de fertilizantes químicos en el mundo (expresado en nutrientes compuestos nitrogenados +  $P_2O_5$  +  $K_2O$ ) aumentó, en medio siglo, de 11,5 a 20,2 millones de toneladas (datos desde 1900 hasta 1949), y el mayor incremento se ha detectado en lugares donde antes se consumían fertilizantes naturales: Europa occidental, América del Norte y Oceanía, los cuales están muy lejos de los centros de producción del fertilizante orgánico.

Finalmente, se llega a la conclusión de que el arar la tierra, aplicar cal o creta (tiza), el quemar paja, el aplicar materia orgánica o fertilizantes químicos sintéticos, todo esto se basa en el mismo principio químico planteado por Justus Liebig, el cual se refiere a acelerar la descomposición de los compuestos silicato a sales solubles o a añadir éstas y así facilitar estos minerales a las nuevas plantas que se van a cultivar.

## **CONSECUENCIA DE LOS DESCUBRIMIENTOS QUÍMICOS DE JUSTUS LIEBIG**

Desde sus inicios el salitre chileno fue destinado principalmente a la industria agrícola como fertilizante, pero buena parte de esta gran demanda disminuyó, primero debido a la depresión mundial, y luego perdió casi toda importancia debido a la fabricación industrial de sulfato de amonio sintético y de nitrato de sodio sintético.

Estos últimos descubrimientos tuvieron un efecto importante en la economía mundial y chilena, que se puede notar en el siguiente dato obtenido entre Junio de 1928 a Junio de 1929: la producción de salitre por parte de Chile era alrededor de 490000 toneladas métricas (expre-

sadas como nitrógeno), y a partir de esta fecha la producción se redujo hasta 71000 toneladas métricas entre los años 1932 a 1933 (alrededor de esta fecha colapsa la economía chilena y el Dr. Fritz Haber [5,6] desarrolla su proceso de fabricación del amoníaco). La razón principal por la que hoy se explota todavía el salitre chileno es para extraer yodo (que se encuentra en pequeñas cantidades como yodato de calcio), pero su importancia económica como fuente de nitratos y ácido nítrico se ha perdido, probablemente para siempre.

Es importante señalar que fue el genial trabajo de Justus Liebig el que dio inicio a una nueva era, en la que los descubrimientos de la química ya no sólo se limitarían al mundo científico, sino a toda la población y, para finalizar, cabe resaltar que todo este trabajo fue posible gracias a la acuciosa intervención de otro genial naturista: Alexander von Humboldt.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Justus Liebig, [http://www.uni-giessen.de/uni-veranst/english/teacher\\_students.html](http://www.uni-giessen.de/uni-veranst/english/teacher_students.html)
2. Justus Liebig, <http://www.ul.ie/~childsp/liebig/preface.html>
3. Bujarin, N.; *La economía mundial y el imperialismo*; Segunda Edición, Dover Publications Inc., Nueva York, 1971; pp 5-18, 33-70.
4. Riegel, E.; *Industrial Chemistry*; Cuarta Edición, Reinhold Publishing Corporation, Nueva York, 1942; pp. 51-62, 111-148.
5. Leincester, H.; *The Historical Background of Chemistry*; Primera Edición, Dover Publications Inc., Nueva York, 1971; Pp. 172-179, 213-219, 230-241.
6. Pledge, H.; *Science Since 1500*; Segunda Edición, Her Majesty's Stationery office, Londres, 1966; pp. 128-129, 200.

