

REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: UNA REVOLUCIÓN TÉCNICA

Lic. Hernán Van der Laat Ulloa*

El presente artículo constituye un aporte más a la labor interdisciplinaria iniciada con el artículo "Energía, civilización y medio ambiente", publicado en la antología titulada "Cultura, Ciencia y Técnica" de la Escuela de Estudios Generales de la Universidad de Costa Rica.

El enfoque del análisis social de la ciencia está basado fundamentalmente en las ideas contenidas en las obras de John D. Bernal, citadas en la presente bibliografía.

En este artículo, se analiza específicamente la relación recíproca entre ciencia y técnica en torno a la revolución industrial, sin dejar de lado el inevitable vínculo existente entre lo científico y lo social.

Se da un énfasis especialmente al nacimiento y desarrollo de la Termodinámica, una de las ramas más importantes de la física y derivada del estudio exhaustivo del funcionamiento de la máquina de vapor.

REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: UNA REVOLUCIÓN TÉCNICA

En el proceso de evolución social y cultural, a lo largo de la historia de la humanidad, el hombre ha generado en ciertas épocas cambios trascendentales que dejaron una honda huella en las sociedades vigentes y fueron relevantes en el proceso transformador de éstas, alterando sustancialmente la forma de vida existente en el momento. Por su importancia en este proceso de evolución social y cultural(**) de la humanidad, dichos períodos se estudian cuidadosamente, analizando las causas que fueron determinantes para que se dieran estos cambios y también las consecuencias que se produjeron en el momento y posteriormente en dichas sociedades. La época comprendida fundamentalmente entre los años de 1760 y 1830, se le ha denominado revolución industrial, por el impacto que causó inicialmente en varios países europeos y, finalmente, en el resto del mundo. Este hecho transforma a unas naciones en productoras y exportadoras de bienes de consumo elaborados industrialmente y, a otras, en consumidoras de éstos y suministradoras de materias primas.

¿Hasta qué punto la ciencia influyó en la técnica utilizada en la citada revolución? ¿Cómo repercute la máquina de vapor en el desarrollo científico posterior? ¿Qué preparación y conocimiento científico tenían los primeros diseñadores y constructores de estas máquinas, que lograron transformar a las sociedades de la época, impulsando una sustitución paulatina en la producción básicamente artesanal por la mecanizada? ¿Hasta qué punto podemos considerar a la revolución industrial como una revolución tecnológica? Las respuestas a estas interrogantes sirven para clarificar aspectos que nos permiten caracterizar y entender mejor dicha revolución.

Sabemos que la técnica es tan antigua como el hombre. Siempre acompañó al ser humano desde sus inicios. Constituye uno de los aspectos diferenciadores entre el hombre y el resto de las especies. La técnica fue propiedad de todos. La simple transformación de elementos naturales como: piedras, ramas, huesos de animales, etc., en utensilios sencillos, estaba al alcance de cada ser humano y aunque muy probablemente, unos eran más diestros que otros en el oficio, todos tenían acceso a este trabajo.

La ciencia y la técnica deben ser consideradas como dos de las grandes expresiones de la cultura, junto con la religión, la filosofía y el arte.⁽¹⁾ Estas formas de conciencia social, como también la denominan los autores anteriormente citados, se van dando a lo largo de la historia de la humanidad. Así, la religión desempeña un papel preponderante en la Europa Medieval y la ciencia durante el siglo XVIII. Esta última y la técnica, unidas "ambas en un todo difícil de descomponer y analizar, son el elemento agente del ritmo acelerado del progreso actual".⁽²⁾

El hombre en su afán de entenderse a sí mismo y al universo con el que interactúa, describe la realidad o lo que percibe como realidad,(***) a través de las diferentes expresiones de la cultura. Si lo hace tomando a la ciencia como

* Lic. en Física. Profesor Asociado de la Universidad de Costa Rica. Actualmente profesor de la Sede Regional de Occidente.

** Proceso mediante el cual el hombre continúa construyendo preservando y transmitiendo a las futuras generaciones su patrimonio socio-cultural.

*** La realidad percibida por Newton lo lleva a construir su modelo mecánico, sin embargo, es limitado si se compara con el modelo relativista de Einstein, el cual es más general. Desde este punto de vista, ambos percibieron la realidad de manera diferente. En la concepción Newtoniana el tiempo es considerado absoluto, mientras que en la de Einstein éste es relativo.

vehículo de expresión, proyecta esa realidad en forma de conceptos y categorías. En cambio, si utiliza al arte, lo importante en su interpretación es la imagen artística. De esta manera, las ciencias tratan de explicar, interpretar o reflejar los fenómenos naturales y sociales, definiendo categorías fundamentales, tales como: espacio, tiempo, masa, etc., y formulando conceptos, como por ejemplo: fuerza, cantidad de movimiento y trabajo mecánico, entre otros.

Conceptualizando a la técnica, los mismos autores que ya he citado, afirman que “La técnica, como valor fin, es la dimensión constructora del hombre. No es un mero hacer, no se refiere sólo a las creaciones materiales, sino a la totalidad de las construcciones u obras humanas, sean éstas materiales o espirituales”.⁽³⁾

La técnica existió en el pasado al margen de la ciencia. En la antigüedad y también en otras épocas, se llevaban a cabo realizaciones técnicas sin conocimiento científico alguno, como ocurría con el proceso de aleación de metales. Sin embargo, posteriormente y desde que apareció la ciencia moderna, cada logro científico implicó contar necesariamente con el apoyo de la técnica. Siempre fue necesario para la primera contar con la dimensión constructora del hombre, tanto desde su nacimiento como para su posterior desarrollo. Esto último se debe, sobre todo en el caso de las ciencias naturales, a que la experimentación es fundamental en el desarrollo científico.

Esta independencia que mantenía la técnica respecto de la ciencia la va perdiendo poco a poco y en las últimas décadas, la interrelación entre ambas es tan estrecha que no es posible considerar una al margen de la otra. Actualmente ambas están fuertemente unidas, pues cualquier aspecto técnico trascendental tiene implicaciones científicas importantes y viceversa.

Hablemos ahora de la tecnología. Toda tecnología es necesariamente una técnica, aunque no podamos decir lo mismo en sentido inverso. La tecnología no es simplemente técnica fundamentada en la ciencia, pero, para que un aspecto pueda ser considerado como tecnológico, es condición necesaria que tenga asidero en la ciencia. La base científica es uno de los aspectos que caracterizan a un proceso técnico como tecnológico, o bien como lo dice Padilla: “Ciencia no es lo mismo que tecnología. Pero no hay tecnología, entendida en sentido estricto, sin ciencia. Entre la ciencia y la tecnología no hay una relación de identidad, sino una relación de condicionamiento. La ciencia es, para emplear una expresión de raigambre kantiana, la condición de posibilidad de la tecnología”.⁽⁴⁾ Sin embargo, en la actualidad, no es posible concebir una sociedad tecnológica, sin pensar también antes en un complicado sistema de patentes, infraestructura física, mercadeo, etc. Si nos detenemos a analizar la televisión, podemos ver no solamente la influencia de la ciencia y de la tecnología en el logro de esta invención, sino también, entre otros aspectos, la importancia que tuvo la viabilidad comercial de este artefacto electrónico en ese momento. La televisión aparece en el mercado hasta después de la Segunda Guerra Mundial, aunque pudo haber hecho su debut unas cuantas décadas antes. “El lento desarrollo que tuvo la televisión no se debió a que sus principios no se comprendieran pronto —en realidad, los lineamientos que se siguen son esencialmente los mismos que fueron propuestos por Campbell Swinton desde 1911—, ni tampoco a que hubiera dificultades técnicas para el registro o para emplear una banda ancha en la transmisión de ondas cortas. Lo que ocurrió fue que las grandes empresas eléctricas —incluyendo las nuevas industrias que se desarrollaron con la radiodifusión— tenían demasiado interés por las ganancias inmediatas, como para decidirse a iniciar una nueva inversión tan cuantiosa”.⁽⁵⁾

En general, podríamos decir que la tecnología es un aspecto reciente de la civilización humana y tuvo que esperar, para hacer su aparición, a que la ciencia tuviera un desarrollo fuerte, consolidado y sobre todo a que adquiriera un matiz más popular, dejando de ser patrimonio exclusivo de las élites. Así paulatinamente, la ciencia empezó a complementar con sus aportes, a la actividad puramente práctica, habilidosa e ingeniosa, que generaban los inventores carentes de preparación científica.

La tecnología tiene propósitos prácticos y emplea un saber fundamentado en la ciencia y no un saber que tiene origen en experiencias casuales, sin planeamiento científico previo.

El hombre en ciertas épocas, como se ha dicho, dejó huellas muy hondas en las sociedades vigentes en ese momento. Se produjeron cambios trascendentales que alteraron sustancialmente la forma de vida en dichas sociedades. Entre estas etapas históricas nos interesa puntualizar aquellos períodos en que la dimensión constructora del hombre rebasa de una manera sustancial los límites establecidos por la tradición, y sobre todo, el período correspondiente a la revolución industrial. Como lo señalan Torres y Chavarría: “etapas históricas que implican grandes cambios sustantivos; que significan trascendentales rupturas con el pasado. Se trata de hechos humanos, de productos humanos, que marcan una época. Esto es lo que ocurre con las revoluciones técnicas”.⁽⁶⁾ En estas épocas, el saber práctico del hombre puede estar influido o no por la ciencia. Fundamentado o no en ésta. Debe quedar claro, que para poder hablar de una revolución tecnológica, es condición necesaria que los aspectos técnicos que la caracterizan se fundamenten considerablemente en el saber científico.

Es por esta razón y de acuerdo a los conceptos anteriormente citados, que no se debe considerar a la historia como una sucesión, en parte de revoluciones tecnológicas, como lo señala en su libro *El Proceso Civilizatorio*, Darcy Ribeiro: "La historia de las sociedades humanas en los últimos diez milenios puede ser explicada en términos de una sucesión de revoluciones tecnológicas y de procesos civilizatorios a través de los cuales la mayoría de los hombres pasa de una condición generalizada de cazadores y recolectores a otros modos, más uniformes y menos diferenciados, de proveer su subsistencia, de organizar su vida social y de explicar sus propias experiencias".⁽⁷⁾

La historia en cambio, desde nuestro punto de vista, podría considerarse como una sucesión de revoluciones técnicas en lugar de tecnológicas. Una revolución tecnológica deberá tener necesariamente influencia de la ciencia en su saber y quehacer, como condición imprescindible aunque no suficiente, para que sea considerada como tal. Al hablar de ciencia hago referencia a la ciencia moderna, la que nace con Galileo y su método experimental.

De acuerdo con los criterios y conceptos anteriores, no deberíamos hablar por ejemplo, de la tecnología para fundir metales que tenían los antiguos; sino más bien referimos a estos procesos de fundición y aleación como una técnica sin base científica alguna.

Las causas de todo proceso revolucionario suelen ser muy variadas. Existen condiciones previas a una revolución que de una u otra manera, estimulan el inicio y desarrollo de la misma.

En general se da una convergencia de factores críticos y favorables que permiten que dicho proceso se realice.

Las revoluciones técnicas presentan estas características. A manera de ejemplo, podríamos decir que la revolución agrícola, aparece en un momento de condiciones críticas, originadas por la escasez de alimentos para la recolección y la caza, en ciertas regiones que presentaban condiciones favorables o adecuadas para implantar la nueva economía neolítica. Las causas de esta crisis son de orden natural. El cambio de clima favoreció ciertas regiones al derretirse la capa de hielo de las sabanas, por otro lado perjudicó a otras, permitiendo que se iniciara el proceso de transformación de las tierras fértiles en desiertos. En estas últimas, es donde empieza a darse la crisis alimentaria. Esta situación afectaba negativamente a los grupos humanos que las habitaban y que lograban satisfacer sus necesidades básicas por medio de la recolección y la caza, en estas tierras fértiles que empezaron a convertirse paulatinamente en desiertos. La salida a esta crisis fue la invención de la agricultura y la ganadería en estas regiones.⁽⁸⁾

La respuesta o salida a la crisis en este caso, implica cambios cualitativos de fondo y así, en este último, el sistema productivo tradicional, fundamentado en la recolección y la caza, se va complementando paulatinamente con el cultivo de plantas y la domesticación de animales. Las consecuencias derivadas de estos cambios son enormes desde todo punto de vista. El hombre empieza a dejar de depender exclusivamente de lo que espontáneamente le suministra la naturaleza, para pasar progresivamente a proveerse de alimentos de una manera más regular, con una mayor cantidad y variabilidad de éstos. En la medida que se va consolidando el nuevo sistema productivo basado en la agricultura y la ganadería, se va abriendo paso lentamente la sociedad sedentaria, generando paulatinamente cambios culturales trascendentales, estimulados por la nueva economía. Aspectos culturales importantes tales como: escritura, astronomía, matemáticas, etc., irán apareciendo cada vez más aceleradamente durante la época de las grandes civilizaciones de Egipto y Babilonia, estimulados ahora por un excedente alimentario.⁽⁹⁾

La revolución industrial como proceso revolucionario se da en una época de condiciones críticas, por un lado, y favorables, por otro. Uno de los aspectos claves en ésta y que contribuyó a consolidar el proceso de producción mecánica fue la máquina de vapor. ¿Qué influencia tuvo la ciencia en el diseño y construcción de esta máquina, que fue determinante para que la revolución industrial fuera un éxito? ¿Qué repercusión tiene en el desarrollo científico el estudio de la citada máquina y las mejoras que se le introducen posteriormente?

La revolución industrial es la segunda revolución técnica desarrollada por la humanidad, antecedida por la revolución agrícola y sucedida por la científico-técnica.^(*)

Este proceso revolucionario que empieza a darse hacia el año de 1760 d.C., produce hondas transformaciones en la economía, el comercio y otros campos, pero también repercute de una manera muy directa en el desarrollo de la ciencia.

* El desarrollo de la Biotecnología ha sido impresionante en las dos últimas décadas y la aplicación en muchos campos, de los resultados de las investigaciones biotecnológicas, muy probablemente generen cambios importantes y de tanta trascendencia, que con justa razón podríamos empezar a hablar de una cuarta revolución técnica: la revolución biotecnológica. En el año de 1973 se logra por primera vez implantar en el material genético de una especie, una cualidad hereditaria de otra. A partir de esta fecha el interés por la Biotecnología es muy acelerado.⁽¹⁰⁾

Si bien es cierto que antes de la citada fecha existían algunas máquinas movidas por el agua y el viento y que eran utilizadas en la producción, esta última era fundamentalmente de carácter artesanal. La revolución industrial complementa inicialmente al proceso de producción artesanal con el mecanizado, para ir luego sustituyendo cada vez más rápidamente al primero por el segundo, en el proceso productivo.

Dicha sustitución progresiva de lo artesanal por lo mecánico, en la manera de producir, sólo pudo concretarse definitivamente, cuando aparece la máquina de vapor inventada por James Watt y junto a ésta, el uso generalizado en la producción, de una nueva forma de energía; la calórica. Sin ambas, esta sustitución progresiva no hubiera sido factible. La Revolución Industrial como tal, muy probablemente no se habría dado y, por lo tanto, tampoco las profundas transformaciones que se dieron en esa época en la economía, el comercio y la sociedad en general. De igual manera, el desarrollo de la Termodinámica se habría retardado posiblemente algunas décadas más, a partir del momento en que empezó a gestarse, o quizás nunca hubiera sido una realidad.

“Antes de Watt, las máquinas de vapor sólo eran empleadas excepcionalmente en las minas apartadas de los yacimientos carboníferos: la máquina de Newcomen, aún cuando había sido perfeccionada por Semeaton (1724-1792), sólo resultaba costeable para el bombeo en las minas de carbón, en donde la extracción de la hulla resultaba extremadamente barata. Pero con la máquina de Watt, más eficiente y uniforme, se pudieron explotar fácilmente y a bajo costo los productos de la metalurgia pesada en la región de Cornwall; después se aprovechó en la industria textil y, por último, se propagó en el país entero”.⁽¹¹⁾

En realidad, la ciencia moderna tuvo poca influencia en el diseño y construcción de la máquina de vapor. La primera máquina fue construida por Savery a principios del siglo XVIII, con el fin de que fuera utilizada para desaguar las minas, es decir, como bomba extractora de agua. En 1712, Newcomen logró construir otra más eficiente, que utilizaba un pistón movido por el vapor de agua y que era también más segura que la anterior, porque la presión requerida no era tan elevada. En estas máquinas de vapor para hacer el vacío y succionar así el agua, es importante describir los aspectos físicos involucrados en su funcionamiento. En la primera, se lograba crear un espacio vacío, que se llenaba de agua por medio de la succión y luego ésta se expulsaba, al ser empujada o presionada por el vapor en expansión. En la segunda, también se crea el vacío por succión. En ésta el vapor de agua se expande y mueve un pistón hacia arriba. Manualmente se abre una válvula y el vapor escapa, lo que permite al pistón volver a su posición inicial, cayendo éste por su propio peso. La caída del pistón permite crear el vacío en un mecanismo paralelo y, por lo tanto, la succión hace que el agua ascienda. Son pues, el vacío y el trabajo realizado por la expansión del vapor, los aspectos físicos más importantes que se reflejan en estas máquinas.

Poco antes de la revolución industrial, Inglaterra vivió una crisis energética. La energía del agua y del viento utilizada en la producción antes de 1760, no era suficiente para promover esta sustitución progresiva, del trabajo artesanal por el mecanizado, en el proceso productivo. Señala J. Bernal, autor anteriormente citado que: “. . . la Revolución no habría ido más allá de hacer avanzar la manufactura textil en las regiones bien provistas de agua —como Lancashire y la rivera occidental de Yorkshire—, sin que sus frutos fueran mucho mayores que los producidos por las conquistas técnicas análogas logradas en la China muchos siglos antes”.⁽¹²⁾

Antes de 1760, como se señaló, la energía existente aprovechable no era suficiente para un país como Inglaterra que más que ningún otro en esta época podía generar una política de mercados de expansión, debido al control político y económico ejercido en sus vastas zonas coloniales^(*) y por el desarrollo alcanzado hasta entonces por su industria metalúrgica y textil. La convergencia de estos aspectos fue determinante para aumentar la demanda de bienes, lo que implicaba un mayor consumo de energía para la fabricación de éstos. Sin embargo, la energía generada por el agua y el viento no era suficiente para hacerle frente a una política de mercados de expansión y, por lo tanto, esta situación generaba una crisis energética, a pesar de la existencia de yacimientos de hulla en Escocia e Inglaterra.

La hulla había venido sustituyendo al carbón vegetal en los altos hornos de vaciado del hierro, no obstante, no existía el instrumento o máquina, ni la técnica capaz de hacer aprovechable la hulla, para que fuera utilizada inicialmente como complemento, y luego como sustituto de la energía hidráulica y eólica, en la industria textil y también en otras etapas del proceso productivo de la industria metalúrgica pesada. Esta última aprovechaba la hulla sólo como fuente de calor para la etapa de fundido del hierro. Este instrumento fue la máquina de vapor.

* “Podría dudarse de que antes del siglo XIX el mercado mundial fuese lo bastante extenso como para permitir la industrialización simultánea de dos o más países en escala moderna”.⁽¹³⁾

De esta manera, la energía calórica aprovechada en la producción, por medio de la máquina de vapor, fue la solución, fue la respuesta a la crisis energética. Crisis artificial, puesto que fue provocada por el hombre y no por la naturaleza. Desde luego que las causas que permiten que la revolución industrial se origine en Inglaterra alrededor de 1760, y no en España, Italia o en cualquier otro país de Europa son muy variadas. Empero, Inglaterra es el primer país que da una respuesta técnica, por medio de la máquina de vapor, y hace más aprovechable la energía suministrada por la hulla al convertirla en energía mecánica, logrando realizar el cambio en la manera de producir y satisfacer así las crecientes demandas.

Si el estudio del vacío de la presión del aire, el empleo de la bomba de aire y en general, la idea de utilizar el vacío para el bombeo, fue trabajada por personas que dedicaban sus esfuerzos a la actividad científica, como Boyle, Hooke y otros más,⁽¹⁴⁾ y fue previo a la construcción de la máquina de vapor, no ocurre lo mismo con el segundo aspecto, que tiene que ver con la transformación del calor en trabajo mecánico. Cuando Newcomen construye su máquina en 1712 y aún cuando en 1765 James Watt la mejora y, a partir de ese momento, concibe el diseño de una diferente, la Termodinámica, disciplina que se encarga de estudiar las relaciones entre el calor y el trabajo, ni siquiera estaba en el umbral de la ciencia. Simplemente no existía y su desarrollo es bastante posterior a la fecha en que se construyó la primera máquina de Watt.

Existía entonces una contribución de la ciencia en el aspecto técnico, en lo que a presión y vacío se refiere, no obstante, la transformación del calor en trabajo mecánico, donde el agua absorbe el calor necesario para convertirse en vapor y expandirse dentro de un cilindro, poniendo en movimiento a un pistón, respondía en esta época una actividad eminentemente práctica y muy ingeniosa, pero sin ningún fundamento en la ciencia.

Newcomen carecía de adiestramiento científico y no por ello dejó de construir una máquina más eficiente que la de Savery.⁽¹⁵⁾ En 1765 se introduce en dicha máquina una aplicación práctica fundamentada en conceptos relacionados con la física del calor; el calor específico y el calor latente, recién descubiertos por Joseph Black. Esta fue una aplicación consciente de la ciencia en la técnica y se lleva a cabo precisamente cuando se trata de mejorar el funcionamiento de una máquina que resultaba muy poco eficiente, por la pérdida de vapor que tenía mientras operaba, ya que éste se lanzaba simplemente al aire, después de haber realizado su expansión empujando al pistón. De esta manera, era necesario sustituir el equivalente de esa cantidad de materia perdida y, por esta razón, se introducía en la caldera agua a la temperatura ambiente. La máquina debía entonces gastar cierta cantidad de energía, para elevar la temperatura de esta masa de agua, desde su estado ambiental hasta los 100 grados centígrados. Era más rentable e implicaba menos trabajo para la máquina, que se condensara el vapor en un condensador separado y convertirlo en agua a 100 grados centígrados o a una temperatura menor, pero próxima a ésta, e introducirla de nuevo en la caldera.

El que Watt, quien había estudiado ciencia básica en la Universidad de Edimburgo,⁽¹⁶⁾ introdujera el condensador para convertir el vapor nuevamente en agua a alta temperatura, implicaba que tenía claro el concepto de calor latente; pero también, el del calor específico. Probablemente, sin tener una idea clara sobre ambos conceptos, no se le hubiera ocurrido enfriar el vapor y volver a aprovechar esa cantidad de materia realimentando a la máquina con agua a muy alta temperatura, en vez del agua a la temperatura ambiente que se introducía en la caldera, para sustituir al vapor lanzado al aire, como se había venido haciendo hasta entonces.

A pesar de esta influencia de la ciencia en la técnica, que contribuye a aumentar la eficiencia en la máquina de vapor, el estudio de la conversión del calor en trabajo mecánico, —aspecto primordial por ser el fundamento básico científico que explica como opera dicha máquina— es aún posterior y nos conduce hasta las primeras décadas del siglo XIX. Es a partir de entonces, que se emprende el análisis racional y sistemático del funcionamiento de la máquina de vapor. Sin embargo, hubo que esperarse hasta mediados de ese siglo para completar el marco teórico de las relaciones entre el calor y el trabajo.

La razón de esta lenta influencia de la ciencia en la técnica, se debía al poco desarrollo de la primera. También, a que en la ciencia moderna desde su nacimiento tuvieron participación personas, cuyo interés giraba más en torno a las posibles respuestas que la primera podía dar a los problemas que presentaba por esa época la astronomía, que a buscar su proyección en aplicaciones prácticas para bien de la sociedad.

Lo importante para estos primeros científicos de la ciencia moderna, era construir un modelo que diera explicaciones coherentes sobre el fenómeno de las mareas y los movimientos orbitales de la luna, de los planetas, como también el de los cometas. Un modelo teórico que interpretara científicamente estos fenómenos de acuerdo a la realidad observada en esos momentos. En la actualidad, el modelo newtoniano se aplica para analizar una vasta cantidad de fenómenos naturales, a pesar de que su nacimiento fue impulsado por la crisis tan aguda en que había caído la astronomía en

el último tercio del siglo XVII. Su origen es ese y no otro. Las dificultades de tipo práctico que existían en las máquinas de la época y que requerían en muchos casos de una explicación científica adecuada para poder superarlas, no tuvieron ninguna influencia en el amanecer científico. En realidad, la sociedad británica contaba en ese momento con pocas máquinas movidas por el viento y por el agua y aún con su ineficiencia, bastaban para satisfacer la demanda existente, junto a la producción artesanal. Así que no era una necesidad urgente mejorarlas y mucho menos introducirles nuevos mecanismos que las convirtieran en máquinas más eficientes, partiendo de una investigación científica previa.

Además, el hecho de que la Mecánica Newtoniana lograra imponerse ante la comunidad científica hasta mediados del siglo XVIII,⁽¹⁷⁾ permite que se atrase la proyección de la ciencia en la sociedad, impidiendo así que la primera adquiriera desde su nacimiento un carácter más popular y, por lo tanto, accesible a los constructores de máquinas; hombres eminentemente prácticos, de poca o ninguna preparación científica.

Todos estos factores anteriormente señalados, nos lleva a considerar que la construcción de la máquina de vapor tiene una dimensión fundamentalmente artesanal y su realización responde a una actividad técnica con escasa participación de la ciencia. Así, a pesar de que las primeras máquinas tienen detalles desarrollados por algunas personas vinculadas a la actividad científica, los aspectos fundamentales de su funcionamiento y, sobre todo, los que tienen que ver con la transformación del calor en trabajo mecánico, que son los más importantes para que las máquinas de Newcomen y de Watt puedan operar, se diseñan al margen de la ciencia.

Como se ha dicho, no puede haber tecnología sin ciencia, por lo tanto, la máquina de vapor será un producto técnico no tecnológico y la revolución industrial basada técnicamente en dicha máquina, no puede ser por ende una revolución tecnológica.

En cambio, las repercusiones de la máquina de vapor en la ciencia son muy claras y están relacionadas directamente con el estudio de las relaciones entre el calor y el trabajo. El principio fundamental del funcionamiento de dicha máquina, se basa en el aprovechamiento del trabajo útil que se genera de la expansión del vapor, debido al calor absorbido por el agua. Hacia 1760 y aún muchos años después, se desconocía el fundamento teórico físico-matemático de estas relaciones entre el calor y el trabajo mecánico, pero aún así se utilizaban las máquinas en las minas y las industrias, ya fueran estas últimas textiles o metalúrgicas.

A partir de 1824 se emprende en Francia el estudio científico y concienzudo del funcionamiento de dicha máquina. Sadi Carnot (1796-1832), es quien inicia un análisis riguroso que va más allá de la simple descripción del fenómeno. Después de su muerte prematura, sus trabajos son reelaborados por Clapeyron en 1832, con una exposición de carácter matemático aún más riguroso y llegan a ser, a mediados del siglo XIX, el fundamento de la Termodinámica, o como diría J. Bernal: "llegaron a ser la base fundamental de la nueva ciencia de la termodinámica".⁽¹⁸⁾

La influencia del vapor y de las maquinarias movidas por éste, conducen lentamente al principio de la conservación de la energía. Contribuyen a su formulación, en diferentes países, con una participación muy notable y destacada: Robert Mayer (1814-1887), James Joule (1818-1889), Hermann Von Helmholtz (1821-1894) y L.A. Colding (1815-1888).

James Clerk Maxwell (1831-1879), también analizó rigurosa y sistemáticamente estas relaciones entre el calor y el movimiento. "La teoría cinética del calor, creada por Maxwell, permitió comprender los fenómenos térmicos sobre la base de la mecánica clásica".⁽¹⁹⁾ Sentó así los cimientos de la física estadística. El segundo principio de la Termodinámica tiene una explicación muy sencilla derivada de esta última disciplina. En relación con este aspecto, señala F. W. Sears: "que el concepto de entropía y el principio del aumento de entropía tienen una elegante y simple interpretación desde el punto de vista de la mecánica estadística".⁽²⁰⁾

Es importante, dar una breve explicación referente al concepto de entropía, porque a partir de este concepto, se puede enunciar el segundo principio de la Termodinámica.

En la naturaleza el calor fluye espontáneamente de los cuerpos calientes a los más fríos. Si consideramos como sistema físico aislado (no hay intercambio de energía con el medio exterior al sistema), un foco de alta temperatura (cuerpo caliente) y otro de baja temperatura (cuerpo frío) el paso espontáneo del calor (proceso) será del primer cuerpo al segundo.

La cantidad de calor por grado temperatura Q/T se denomina entropía del sistema. Así la disminución de entropía del cuerpo caliente será $-Q/T_c$ y el aumento de entropía del cuerpo frío será $+Q/T_f$. Como la cantidad de calor liberada por el cuerpo caliente debe de ser igual a la absorbida por el cuerpo frío, esto último en virtud del principio de la conservación de la energía, y como la temperatura T_c del cuerpo caliente es mayor que la del cuerpo frío T_f , esto implica

que al final del proceso la entropía total del sistema aumenta. Se da un aumento porque según lo expuesto anteriormente, se deduce que la disminución de la entropía en el cuerpo caliente siempre será menor que el aumento de ésta en el cuerpo frío. Así, de esta manera, el sistema, es decir el conjunto de ambos cuerpos, al final del proceso presentará globalmente un aumento de entropía. Este aumento de la entropía que se da en todos los procesos naturales implica un aumento del desorden. Así, el cuerpo caliente al liberar una cierta cantidad de calor, alcanza internamente un mayor grado de orden, mientras que el cuerpo frío al absorber dicha cantidad de calor, aumenta su desorden interno, de tal manera que este último será siempre mayor que el orden generado en el cuerpo caliente, produciéndose un aumento global del desorden en el sistema integrado por ambos cuerpos.

El desarrollo de las relaciones entre el calor y el trabajo mecánico estuvo influido, fundamentalmente, por la máquina de vapor, sin embargo, es importante describir las contribuciones que en este sentido aportó Benjamín Thompson, quien hizo notables observaciones al respecto, aunque sus trabajos no estuvieran vinculados al estudio de la citada máquina.

Debemos remontarnos al año de 1778, trece años después de que Watt introdujera mejoras a una máquina de Newcomen, fecha a partir de la cual Benjamín Thompson, conocido también como Conde Rumford, empieza a estudiar la teoría del calórico. Lleva a cabo experimentos sobre la fuerza de las explosiones de la pólvora, o bien, dicho de otra manera, sobre su fuerza expansiva. Debido a la reacción química que ocurre durante la explosión de la pólvora, se genera mucho calor y, por lo tanto, se consideraba que era el fluido calórico lo que impulsaba al proyectil inmediatamente después de que ocurriera ésta. De acuerdo a esta teoría, el calor producido en las explosiones debía ser una constante, cuando explotaban cantidades idénticas de pólvora, porque el monto del calórico liberado debía ser el mismo en cada una de éstas. Sin embargo, Thompson descubrió que esta concepción era errónea, al observar que la cantidad de calor generada al disparar un cañón sin balas, era mayor que cuando éste disparaba el proyectil, usando en ambos casos la misma cantidad de pólvora.

La teoría del calórico consideraba al calor como una sustancia fluida material capaz de entrar y salir de un cuerpo, según se calentara o enfriara. Lo más interesante es que, según la teoría, el calor pesaba. Rumford llevó a cabo experimentos que indicaban lo contrario y según sus demostraciones de laboratorio, los cuerpos pesaban lo mismo a diferentes temperaturas. Experimentalmente logró también refutar la idea de que el calórico poseía volumen. Así, si un cuerpo se enfriaba, necesariamente debía contraerse por su pérdida de calórico, sin embargo, Rumford observó que el agua se dilataba al enfriarse desde los 4 C hasta 0 C.^(*) De esta manera sembraba dudas sobre la consistencia de la teoría del calórico. Sus experimentos iban destinados más a refutar dicha teoría material del calor, que a sentar las bases de una nueva teoría más moderna y sobre todo, fundamentada sobre una base científico-matemática que permitiera concebir al calor como una forma de energía.

No obstante, la interpretación posterior de sus experiencias y resultados, influyeron también en los científicos, cuando empezaron a considerar al calor como una forma de energía.

En relación con las experiencias llevadas a cabo por Rumford en 1798, en el depósito militar de Munich, donde con taladros girados por caballos, se perforaban futuros cañones, S. C. Brown señala lo siguiente "No cabe duda de que el experimento cuidadosamente realizado por Rumford puso de manifiesto una verdadera relación entre el calor y el trabajo mecánico. Sin embargo, su autor no nos da indicio alguno de haber pensado en esa vinculación sino en términos cualitativos. La vinculación cuantitativa, corporizada en mediciones del equivalente mecánico del calor, hubo de esperar hasta la brillante teoría de Sadi Carnot y hasta las precisas determinaciones de James Prescott Joule, hacia 1850. Muchos años después de Rumford, el mismo Joule señaló que las mediciones de Rumford podían haberse usado para establecer esta relación cuantitativa".⁽²¹⁾

Para demostrar esto último, Joule calculó el equivalente mecánico del calor^(**) tomando los datos que Rumford había publicado a partir de sus experimentos sobre la perforación de cañones. El resultado tiene un margen de error en relación a los resultados obtenidos por Joule. Este último con sus experimentos más precisos, logró formular cuanti-

* El aparato usado por Rumford, que pone de manifiesto este fenómeno de disminución de la densidad del agua, al decrecer la temperatura en este intervalo, es utilizado en la actualidad en los laboratorios de física con fines didácticos.

** El joule y la caloría son unidades de energía. La unidad de trabajo mecánico en el sistema mks se llama un joule. La unidad de calor es una caloría. El trabajo mecánico y el calor son formas de energía. Se puede medir el equivalente en energía mecánica de la energía calórica. Dicho equivalente es una caloría = 4,186 joules.

tativamente dicha equivalencia. De acuerdo a estos datos de Rumford, el valor del equivalente mecánico del calor, es mayor en un 25% al valor que la comunidad científica acepta en la actualidad.

Watt pudo medir el trabajo realizado en cierto lapso por un caballo y así al vender sus máquinas las garantizaba como unidades más económicas que los equinos. Evaluó, por un lado, el costo del carbón que requería una máquina de vapor para realizar una determinada tarea y por otro, el costo del forraje necesario que consumían los caballos para llevar a cabo la misma labor eficientemente. Los resultados indicaron que su máquina era más económica.

Anteriormente a Watt, como ya lo he indicado, se utilizaban las máquinas de Newcomen, pero resultaba más barato el uso de los caballos que éstas. Esta fue una razón de peso para que este modelo prácticamente fracasara y fuera de escasa propagación. El uso de estas máquinas no fue más allá de las minas, donde muy probablemente la utilización del caballo no era conveniente por razones ambientales. La industria textil en cambio, siguió funcionando con las fuentes energéticas tradicionales hasta la aparición de la máquina de Watt.

Watt logró establecer un nexo entre el carbón consumido para generar el calor y el trabajo mecánico realizado por la máquina. En realidad, era una relación indirecta entre el calor generado y el trabajo realizado. En 1798 Rumford estudió el sentido inverso de esta relación. Observó el trabajo que hacían los caballos al hacer girar el taladro que horodaba un cañón. Fue en el depósito militar de Munich, como lo señalé anteriormente, que llevó a cabo esta experiencia que le permitió poner de manifiesto este lazo entre ambos. Solamente con el calor producido por la fricción entre el taladro y el cañón, se lograba calentar y llevar hasta el punto de ebullición al agua que servía para enfriar a este último. Este era un vínculo trabajo realizado-calor generado. A pesar de esto, ambos hechos que entrelazan, de una u otra forma, el calor generado y el trabajo mecánico realizado, no quedaron rigurosamente descritos desde una perspectiva científica, porque ninguno de ambos personajes –Rumford y Watt– formuló una ecuación físico-matemática que encadenara ambos conceptos. Hubo que esperar varias décadas para lograr establecer entre éstos un vínculo cuantitativo preciso.

Sadé Carnot fue uno de los primeros en aplicar los principios físico-matemáticos para explicar el funcionamiento de la máquina de vapor. Estudió ingeniería, graduándose en la nueva Escuela Politécnica de París.⁽²²⁾ En 1824 publicó el libro: “Reflexiones sobre la fuerza motriz del calor y sobre las máquinas capaces de desarrollar esa fuerza”. Lamentablemente dicho trabajo no llamó la atención de la comunidad científica de la época.⁽²³⁾

El factor de conversión del carbón consumido en relación con el trabajo realizado, decrecía conforme las máquinas se perfeccionaban. Es decir, cada vez se consumía menos carbón para realizar el mismo trabajo, aumentando el rendimiento de la máquina. “No parecía vislumbrarse límite alguno a la eficiencia, pero era claro que debería existir dicho límite, porque en caso contrario sería posible el movimiento perpetuo”.⁽²⁴⁾ Carnot se cuestiona hasta qué límite es posible mejorar las máquinas. Consideró una máquina ideal^(*); logró desarrollar y demostrar en su libro, que sólo una parte del calor se puede transformar en trabajo útil y no el 100%, aún en una máquina de este tipo.

Su tesis brillantemente desarrollada en el libro anteriormente citado y sus trabajos no publicados debido a su muerte prematura en 1832, sirvieron posteriormente para sentar las bases de una disciplina Termodinámica con rigurosidad científico matemática.

Su corta vida le truncó la posibilidad, muy probablemente, de formular una teoría completa sobre las relaciones entre el calor y el trabajo mecánico. Debemos recordar a Newton (1642-1727), quien logró concebir una teoría coherente y sintetizada de la mecánica, publicó sus resultados hasta 1687, cuando ya contaba con 45 años. Si su muerte le hubiese llegado antes, no hubiera podido probablemente publicar sus “Principia” y quizás, nos referiríamos a él en la actualidad, como el científico que sentó las bases para que se formulara posteriormente la mecánica. Carnot no logró plasmar en forma concreta el segundo principio de la Termodinámica,^(**) pero señaló el camino para su posterior formulación. Son parte de sus contribuciones a la Termodinámica su descubrimiento del equivalente mecánico el calor, que no tuvo tiempo de publicar y su clara comprensión de que un motor térmico, que produce trabajo, requiere además del cuerpo caliente a alta temperatura, de otro cuerpo frío a una temperatura más baja, como en el caso de la máquina de vapor, la caldera y el condensador. Queda claro a partir de él que un cuerpo caliente no puede producir trabajo por sí solo y que requiere para conseguir este objetivo, de un segundo cuerpo a una temperatura más baja.

* El carácter ideal de la máquina consiste en que “no hay pérdidas ni de calor ni de trabajo, no hay radiación de calor hacia el exterior ni se gasta trabajo para vencer la fricción”.⁽²⁵⁾

** El segundo principio de la Termodinámica puede enunciarse de varias maneras y se demuestra que todas son equivalentes. Uno de estos enunciados es el siguiente: “No es posible ningún proceso cíclico cuyo único resultado sea la extracción de calor de una única fuente y la producción de una cantidad equivalente de trabajo”.⁽²⁶⁾

En 1834 Clapeyron reelabora los trabajos de Carnot imprimiéndoles un carácter más riguroso. Aún así las ideas de Carnot no repercuten y deben esperar para ser comprendidas hasta principios de los años cincuenta del siglo XIX.⁽²⁷⁾

Las personas que primero entendieron el principio de conservación de la energía,^(*) lo lograron a una edad relativamente temprana. El Ing. Colding a los 27 años de edad; el joven industrial Joule a los 25, el fisiólogo Helmholtz a los 32, el médico Mayer a los 28 y el Ing Carnot a los 34 años.⁽²⁸⁾ Sin embargo, fue este último el que logró concebir este principio antes que los otros. “De acuerdo con la publicación póstuma de *Reflection* (1872) del ingeniero francés Sadí Carnot (1796-1832), es claro que llegó al principio de la conservación de la energía antes que todos los otros”.⁽²⁹⁾

A pesar de las muy diversas especialidades de todas estas personas que llegaron a concebir este principio de conservación de la energía, “todos estos descubrimientos se hicieron bajo la influencia bastante directa del ambiente creado por la era del vapor y, particularmente, por la locomotora. Como lo apuntó Mayer: En la locomotora, el calor es destilado en la caldera, se convierte en trabajo mecánico en las ruedas en movimiento y, por último, es condensado de nuevo en calor en los ejes, en las zapatas de los frenos y en los rieles”.⁽³⁰⁾

Mayer, por ejemplo, se imaginó al hombre como algo similar a una máquina térmica.⁽³¹⁾ He aquí la influencia de los trabajos de Carnot en este connotado médico. En este sentido apuntaba Mayer que: “El calor que se desprende en su cuerpo, surge como resultado de la combustión (oxidación) del oxígeno en la sangre del hombre”.⁽³²⁾ Es decir, el calor es producto de la energía liberada en la reacción química, llevándose a cabo así la transformación de la energía, de una a otras formas, pero conservándose ésta totalmente durante el proceso. Mayer hizo estas observaciones en 1841.

Joule en cambio observó, también en 1841, este fenómeno de transformación de la energía, cuando estudiaba la viabilidad práctica del motor eléctrico, como dispositivo rentable capaz de convertir la energía eléctrica en mecánica. Llegó a la conclusión de que el calor que se desprendía de los conductores por los cuales circulaba la corriente eléctrica, era una consecuencia de la energía química de las baterías.

Con sus experimentos, los que llevó a cabo durante varios años, demostró el vínculo existente entre el calor producido y el trabajo realizado.

El trabajo mecánico, el calor, la energía eléctrica, etc., son diferentes formas de energía y Helmholtz, como lo he señalado, también contribuyó con sus trabajos a la formulación del principio de la conservación de energía.

“Helmholtz, en un intento de generalizar la concepción newtoniana del movimiento al caso de un gran número de cuerpos sujetos a mutuas atracciones, demostró en 1847 que las sumas de las fuerzas y las tensiones –que ahora llamamos energía cinética y energía potencial– permanecía constante. De esta manera expresó el principio de la conservación de la energía en su sentido más formal”.⁽³³⁾

Sin embargo, el primer principio de la Termodinámica quedó formulado hasta que se logró establecer el concepto de energía interna.^(**) Fue Clausius quien hizo este aporte, además de descubrir también teóricamente el concepto de entropía, partiendo de los trabajos de Carnot. “La explicación de la ley de la conservación de la energía y del principio de Carnot fue completada por Clausius. Su trabajo fue publicado en 1850 por Poggendorff en la misma revista en que no se encontró lugar para el trabajo de Mayer. Clausius fue el primero que habló de la equivalencia del calor y el trabajo, como del primer principio de la teoría del calor y escribió la ecuación que le faltaba a Carnot”.⁽³⁴⁾

Para finalizar señalaré brevemente aspectos relacionados por un lado con la escala absoluta de temperaturas y por otro con la mecánica estadística.

El estudio de la máquina de vapor, es lo que lleva a Carnot a sentar las bases, que permitieron posteriormente formular los principios fundamentales de la Termodinámica.

En 1848, dieciséis años después de la muerte del ingeniero Sadí Carnot, Lord Kelvin sacó una importante conclusión. Partiendo del teorema de Carnot demostró que se puede establecer una escala absoluta de temperaturas independiente de la sustancia que evoluciona en una máquina de Carnot. Es fácil deducir de esta escala que no es posible alcanzar una temperatura de cero absoluto o menor a ésta. Vemos así la influencia de los trabajos del ingeniero francés, motivados por el estudio científico de la máquina de vapor, en los trabajos de Lord Kelvin, cuyas conclusiones son de enorme trascendencia para la ciencia.

* “El primer principio de la Termodinámica es un enunciado del principio de conservación de la energía”.⁽³⁵⁾ Este primer principio de la Termodinámica señalada que, cuando un sistema termodinámico evoluciona de un estado inicial a otro final, la energía total que intercambia el sistema con el medio ambiente, se transforma en otras formas de energía, pero en conjunto ésta se conserva.

** “Considerando el modelo molecular de un sistema, podemos identificar la energía interna con la suma de la energía de cada una de las moléculas”.⁽³⁶⁾

Con su teorema, Carnot no logró plasmar de manera directa, como anteriormente lo indiqué, el segundo principio de la Termodinámica, pero abrió el camino para que Clausius fuera el primero en formularlo. Este último fue quien estableció el concepto de entropía de un sistema. El segundo principio de la Termodinámica puede enunciarse también en función de la entropía de la siguiente manera: “No se producirán transformaciones en las cuales la entropía de un sistema aislado disminuya, o lo que es igual, en cualquier transformación que se produzca en un sistema aislado, la entropía del sistema aumenta o permanece constante”.⁽³⁷⁾

Este concepto de la entropía tiene una interpretación muy elegante desde el punto de vista de la mecánica estadística. Fue Maxwell quien sentó los cimientos de la mecánica estadística, la cual se desarrolla con los trabajos de Boltzmann en 1872, cobrando fuerza y desarrollo con las contribuciones de Gibbs en 1902.

Vemos así que si la ciencia prácticamente no influyó en el diseño y construcción de la máquina de vapor, las mejoras introducidas a ésta si tienen fundamento científico. Por otro lado, el estudio cada vez más riguroso desde el punto de vista físico-matemático de esta máquina, es lo que permite surgir a la ciencia Termodinámica.

Fue Carnot, como lo había señalado, quien inició el estudio científico serio del funcionamiento de esta máquina como dispositivo capaz de transformar el calor en trabajo mecánico. Sus trabajos tuvieron una enorme influencia en el desarrollo de la ciencia. “La termodinámica, que surgió con el breve artículo de Carnot, aún hoy representa una creación extraordinaria de la razón humana”.⁽³⁸⁾

CONCLUSIÓN

A través del presente trabajo hemos señalado que estas dos grandes expresiones culturales —ciencia y técnica— o actividades del quehacer humano, sirvieron de base para el desarrollo de la humanidad, provocando profundos cambios que marcaron la ruptura de una época y que contribuyeron a forjar el concepto de modernidad.

El vínculo entre ciencia y técnica prácticamente no existía antes de la revolución industrial, sin embargo, a partir de ésta y a raíz del análisis teórico de la máquina de vapor, se nota fundamentalmente la repercusión de la técnica en la ciencia.

Este trabajo abre espacio para analizar la relación existente entre ciencia y técnica durante la revolución científica y tecnológica, sobre todo en la actualidad que nos encontramos en el umbral de una nueva revolución: La biotecnológica.

CITAS

- (1) Cf. Torres, R. y Chavarría, M., *Cultura, ciencia y técnica*, 1988, p. 16.
- (2) Loc. Cit.
- (3) *Ibidem*, p. 18.
- (4) PADILLA, H., *Las revoluciones conceptuales en la tecnología*, Antología: La filosofía y las revoluciones científicas, 1979, p. 260.
- (5) BERNAL, J.D., *La ciencia en nuestro tiempo*, Tomo II, 1979, pp. 71-72.
- (6) TORRES, R. y Chavarría, M., *Ob. Cit.*, p. 13.
- (7) RIBEIRO, D., *El proceso civilizatorio*, 1982, p. 21.
- (8) Cf. Childe, G., *Qué sucedió en la historia*, 1985, p. 61.
- (9) Cf. *Ibidem*, p. 81.
- (10) Cf. Junne, G., *Sorpresas para el Tercer Mundo: Biotecnología*. Revista Nueva Sociedad N° 96, 1988.
- (11) BERNAL, J.D., *La ciencia en la historia*, Tomo I, 1979, p. 560.

- (12) BERNAL, J.D., Ob. Cit., Tomo I, p. 503.
- (13) HOBBSAWM, E., *En torno a los orígenes de la revolución industrial*, 1971, p. 55.
- (14) Cf. Bernal, J.D., Ob. Cit., Tomo I, p. 451-452.
- (15) Cf. Ibídem, p. 557.
- (16) Cf. Brown, S., *El Conde Rumford*, 1965, p. 135.
- (17) Cf. Moulines, U., *Forma y contenido de las revoluciones científicas: el caso de la mecánica newtoniana*, Antología: La filosofía y las revoluciones científicas, 1979, p. 180.
- (18) BERNAL, J.D., Ob. Cit., tomo I, p. 564.
- (19) SMORODINSKY, Y., *La temperatura*, 1983, p. 26.
- (20) SEARS, F.W., *Termodinámica*, 1959, p. 185.
- (21) BROWN, S., Ob. Cit., p. 98.
- (22) Cf. Bernal, J.D., Ob. Cit., tomo I, p. 564.
- (23) Cf. Smorodinsky, Y., Ob. Cit., p. 28.
- (24) BERNAL, J.D., Ob. Cit., tomo I, p. 563.
- (25) SMORODINSKY, Y., Ob. Cit., p. 32.
- (26) SEARS, F.W., Ob. Cit., p. 104.
- (27) Cf. Smorodinsky, Y., Ob. Cit., p. 29.
- (28) Cf. Resnick, R. y Holliday, D., *Física*, 1971, p. 719.
- (29) Loc. Cit.
- (30) BERNAL, J.D., Ob. Cit., Tomo I, p. 566.
- (31) Cf. Smorodinsky, Y., Ob. Cit., p. 40.
- (32) Loc. cit.
- (33) BERNAL, J.D., Ob. Cit., Tomo I, p. 565.
- (34) SMORODINSKY, Y., Ob. Cit., p. 42.
- (35) SEARS, F.W., Ob. Cit., p. 38.
- (36) SEARS, F.W., Ob. Cit., p. 226.
- (37) Ibídem, p. 104.
- (38) SMORODINSKY, Y., Ob. Cit., p. 51

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNAL, John, D., *La ciencia en la historia*, (Vol. 1), 4ta. edición, México, D.F., Editorial Nueva Imagen, 1979.
- BERNAL, John, D., *La ciencia en nuestro tiempo*, (Vol. II), 3era. edición, México, D.F., Editorial Nueva Imagen, 1979.
- BROWN, Sanborn, C., *El Conde Rumford*, Buenos Aires, Editorial Universitaria, 1965.
- CHILDE, Gordon, V., *Qué sucedió en la historia*, Buenos Aires, Editorial La Pleyade, 1985.
- HOBBSAWM, Erick, *En torno a los orígenes de la revolución industrial*, 16a. edición, México, D.F., Editorial Siglo Veintiuno, 1971.
- JUNNE, Gerd, "Sorpresas para el Tercer Mundo: Biotecnología". En Revista *Nueva Sociedad*, Caracas, Venezuela, N° 96, de julio a agosto de 1988.
- MOULINES, Ulises, *Forma y contenido de las revoluciones científicas: el caso de la mecánica newtoniana*, Antología: *La filosofía y las revoluciones científicas*, México, D.F., Editorial Grijalbo, 1979.
- PADILLA, Hugo, "Las revoluciones conceptuales en la tecnología", Antología: *La filosofía y las revoluciones científicas*, México, D.F., Editorial Grijalbo, 1979.
- RESNICK, Robert, HALLIDAY, David, *Física*, 4ta. edición, México, D.F., CECSA, 1971.
- RIBEIRO, Darcy, *El proceso civilizatorio*, 2da. edición, México, Editorial Extemporáneos, 1982.
- SEARS, Francis, W., *Termodinámica*, Buenos Aires, Editorial Reverté, 1959.
- SMORODINSKY, Y., *La temperatura*, Moscú, Editorial Mir, 1983.
- TORRES, Raúl, Chavarría, Mayra, "Cultura, ciencia y técnica", Antología: *Cultura, ciencia y técnica*, San José, Costa Rica, Ediciones Guayacán, 1988.