

**FRANCISCO ANTONIO BATALLER (1751-1800) Y LA ADAPTACIÓN DE SU OBRA EN EL
REAL SEMINARIO DE MINERÍA**

Alejandro R. Garcíadiego
UNAM – México

Magally Martínez Reyes
UAEM Valle de Chalco - México

(aceito para publicação em junho de 2008)

Resumen

El interés por la física experimental, en particular la newtoniana, llevó a algunos novohispanos del siglo XVIII no sólo a consultar textos europeos de la época, tanto de difusión como especializados, sino a escribir algunas lecciones, cursos, e incluso tratados esencialmente relacionados con la materia. Uno de estos casos es el de Francisco Antonio Bataller. El objetivo de este escrito es examinar la originalidad de sus trabajos con respecto a uno de los más importantes representantes de la física de este período, Isaac Newton.

Palabras Claves: Física newtoniana, matemáticas novohispanas, Bataller, Siglo XVIII

Abstract

The interest for experimental physics, Newtonian in particular, motivated some novohispanic scholars of the XVIII century not only to consult European texts of those days, both popular and specialized, but to write some lessons, notes, and, including, complete textbooks associated with the subject. One of these cases correspond to Francisco Antonio Bataller. The goal of this essay is to examine the originality of his works in comparison to the most prominent representative of the period, Isaac Newton.

Keywords: Newtonian physics, Novohispanic mathematics, Bataller, XVIII Century

Introducción

En el último cuarto del siglo XVIII, la corona española realizó una de las más vigorosas tentativas de renovar las técnicas mineras novohispanas de extracción y beneficio

de la plata, el más importante renglón de la economía de la colonia [Trabulse 1991, 218]; por lo que, en este siglo, la explotación minera se convirtió en una de las actividades favorecidas por los grupos económicos e intelectuales de la Nueva España. Estos estudios se reflejan en múltiples documentos de la época y en la misma creación del *Seminario de Minería*. Surgieron obras científico prácticas que pretendieron resolver problemas técnicos en los procesos de extracción y laboreo de las minas, así como material para la capacitación técnica de los peritos con ayuda de teorías científicas, como los de Joseph Saénz de Escobar [1749], que con ayuda de algunos resultados matemáticos buscó dar solución a los problemas de inundación en minas, aguas y tierras; o la de Francisco Javier Gamboa (1717-1794), en la que propuso reformas jurídicas y económicas, además de sugerencias científico técnicas para mejorar el estado de la minería.

Por su parte, Francisco Antonio Bataller escribió un libro de texto para el curso de física: *Principios de Física Matemática y Experimental* [1802], cuyo contenido era esencialmente de física aplicada a la minería. En general, la tendencia de los científicos novohispanos fue aplicar la ciencia de forma práctica para solucionar problemas reales de la actividad minera mexicana, e incluso en otros ámbitos.

El *Seminario de Minería*, en 1792, se convirtió en la primera institución en México que enseñó oficialmente física y matemáticas. Para impartir las cátedras en el colegio fue necesario contar con un laboratorio, una biblioteca y libros de texto. Se tienen reportes de la serie de instrumentos que fueron solicitados, aunque no aparece documentada la forma en que los usaron. Fausto Elhuyar y Lubice (1755-1833), director de la escuela, pidió a España los materiales e instrumentos para las primeras clases, entre ellas las obras de Benito Bails y cincuenta estuches de matemáticas y materiales de dibujo [Ramírez 1982, 80]. Para elaborar la lista de instrumentos, Elhuyar se basó en la obra de *Elementos de física teórica y experimental* de Sigaud de la Fond (1730-1810), ya que este autor había indicado las máquinas e instrumentos más simples que hasta esa fecha se habían inventado para su uso de los cursos de física; pero además se pidió a Bataller escribir un libro de texto para esta materia. Este fue uno de los intereses de la institución: Dotar del material adecuado para la enseñanza de la física y las matemáticas acordes al contexto de la minería [Minería 1789-1800, 14].

El *Seminario de Minería* fue una institución abierta, no sólo a las teorías científicas contemporáneas sino, en particular, a la obra newtoniana. La mecánica newtoniana fue necesaria para comprender el funcionamiento de varios instrumentos y máquinas útiles para la minería. Para el estudio de dicha mecánica se usaron libros europeos de gran renombre, como el *Cours de Physique Expérimentale et Mathématique* [1796] y el *Elementa Physicae* [1734] de Pierre Van Muchenbroek (1687-1748); el *Physices Elémenta Mathématique Expérimentis Confirmata* [1721] y el *Philosophiae Newtonianae Institutiones in usus Académicos* [1723] de Willem Jacob S'Gravessande (1688-1742); los *Elementos de Física Teórica y Experimental* [1787] de Sigaud de la Fond (1730-1810), las *Leçons de Physique Expérimentale* [1783] de Jean Antoine Nollet (1700-1770) y los *Principios de Matemática* [1772] de Benito Bails. Los cuatro primeros conocidos divulgadores de las teorías newtonianas, y el último, un libro de texto en idioma español que resultó un compendio importante para la asimilación del conocimiento de la época, en especial, el pensamiento newtoniano.

Lo que se enseñó de física experimental en el *Seminario de Minería* no sólo estuvo en función de los libros mencionados, al igual que en otras partes del mundo, sino que respondió a las necesidades de la Nueva España. Bataller, aparte de consultar los libros de estos autores, también se refirió en sus tratados a Newton (1642-1727), Leibniz (1646-1716), Boyle (1627-1691), Lavoisier (1743-1794), Huygens (1629-1695) y Jacob Bernoulli (1700-1782), entre otros, sin que su libro de texto fuera una copia o resumen de la de los científicos mencionados, lo que indica que existe una actividad extra a rescatar. Incluso, Bataller, consultó textos de autores que también realizaron investigación en mecánica y que no tuvieron amplia difusión en la Nueva España, como Euler (1707-1783), D'Alembert (1717-1783) y Lagrange (1736-1813). Si bien la simple mención de estos autores en la obra de Bataller no es un argumento para afirmar que existe influencia, si se requiere cierto manejo conceptual de algunas teorías para proponer mejoras y aplicaciones, por lo que trataremos de establecer a qué nivel se dio este dominio en su actividad práctica y en sus obras.

Francisco Antonio Bataller

Bataller fue alumno y posteriormente catedrático de matemáticas del *Colegio de Reales Estudios de San Isidro de Madrid*. En esta institución estudió física y matemáticas. En 1777, viajó a la Nueva España para encargarse de varios trabajos mineros. Fue designado para ocupar el puesto de profesor de física en el *Seminario de Minería* en 1791, pero no fue sino hasta 1793 que se abrió el curso de física a su cargo. Para iniciar este curso se construyeron aparatos para la clase por un convenio con el carpintero Pedro de Chause y el herrero Antonio Vecino. Se compraron otros instrumentos a Diego de Guadalajara y se solicitó la *Física Experimental* de Muchenbroek y la *Física Teórica y Experimental* de Sigaud de la Fond [Moreno de los Arcos 1985, 112; Izquierdo 1958, 44].

Al terminar los cursos de física y matemáticas en 1793, los alumnos presentaron examen sobre dinámica. Para 1794, Bataller compró espejos, vidrios de cristal, un *Tratado de Geometría Subterránea* y *Tratados de Física*. Al finalizar los cursos, en diciembre, los alumnos presentaron examen sobre dinámica e hidrodinámica. Al año siguiente, el catedrático inició la redacción de un libro de texto para la enseñanza de la física, especialmente dirigido a los alumnos de minería [Espinoza Sánchez 1994, 100-101; Minería 1789-1800, 119, 138, 144].

Bataller dictó a un escribano los cuatro volúmenes de sus *Principios de Física Matemática y Experimental* y quedó en forma manuscrita, ya que la obra nunca fue llevada a la imprenta. Este trabajo aparece fechado en 1802, pero fue terminado antes, ya que el autor muere en 1800. La obra consta de cuatro tratados que llevan por título: I. Tratado de las Propiedades de los Cuerpos, II. Tratado de Mecánica de Sólidos, III. Tratado de la Hidrodinámica y IV. Tratado de la Óptica [Libro de cuentas 1793].

Tratado I: De las propiedades de los cuerpos

En este primer tratado sobre las propiedades de los cuerpos, Bataller analizó y definió diversos conceptos como espacio, lugar, tiempo, vacío, entre otros, como era clásico de los libros de la época; sin embargo, se detiene en aquellos conceptos que más tarde le permitirán explicar algún fenómeno relacionado con la minería. Por ejemplo, respecto al

vacío, establece que las bombas hidráulicas, comúnmente usadas para desaguar minas, y en las jeringas, funcionan gracias al principio del vacío, pero se cuestiona sobre la existencia del vacío, probada por Newton y otros autores que le habían precedido, pero ante la falta de comprobación experimental lo dejó establecido como una hipótesis [Bataller 1802a, 11-22]. Realizó argumentos donde se observan los tipos de razonamientos estándar usados para la época y la convicción de no aceptar teoría que no pueda ser comprobada empíricamente, como se muestra enseguida, intenta probar la siguiente Hipótesis: El vacío perfecto existe en la naturaleza. Para probar la existencia de la naturaleza del vacío perfecto seguiremos el mismo método que ha tomado Muchenbroek, S'Gravesande y otros autores, esto es, probaremos primero que no se repugna la idea del vacío, segundo que el vacío es posible, y por último, que el vacío existe realmente en la naturaleza.

Para argumentar, primero apela al sentido común, que era manifestado desde los griegos: “Los antiguos miraban como imposible la existencia del vacío, veían que cuando se levanta el embolo de una jeringa, inmediatamente entraba el agua o el aire y ocupaba el vacío, que deja el embolo, y lo mismo advirtieron que sucede en las bombas hidráulicas como se dijo en su lugar”. Luego busca las causas del fenómeno

Si tocamos con las manos calientes un cuerpo, que tenga menos calor sentimos frío y nos parece que esta en la mano, pero en realidad nosotros somos los que tenemos más calor y lo comunicamos al cuerpo, que tiene menos cantidad de él. Estas y otras sensaciones o percepciones, así de nuestros sentidos, como de nuestra imaginación arguyen, que no hay imposibilidad alguna ni envuelve contradicción el considerar espacio sólido, o contenido dentro de un experimento superficial, como dicen los geómetras, y al mismo tiempo exento de toda materia.

De este ejemplo y algunos otros deduce el primer argumento para no repugnar la idea de vacío. Siguiendo el transcurso histórico del concepto de vacío para argumentar su existencia, presenta el siguiente argumento:

Hagamos esta otra suposición, figurémonos que hay tres grandes esferas, como las que representamos por A, B, y C capaces de contener toda la materia que hay en el universo. Es inevitable que Dios con su poder absoluto puede hacer que toda la materia del universo, sin aniquilarla, se encierre dentro de dichas esferas, respecto a que no pueden tocarse en todos los puntos, como se demuestra en la Geometría, luego es posible la existencia del vacío. Por otra parte los que sostienen la imposibilidad del vacío, no prueban que estas suposiciones que hemos hecho envuelven contradicción manifiesta: luego no habiendo razón que arguya la imposibilidad del vacío, podemos establecer la afirmativa de posibilidad.

Finalmente, para la tercera afirmación, recurre a lo que caracteriza su libro, los experimentos, aunque muestra cuatro posibles formas de comprobación, sólo presentamos una que apela a razonamientos lógicos, también muy característico del tipo de argumentación de la época y de su libro, y una más con un sentido más acorde a nuestra concepción actual de experimento:

El segundo argumento de la existencia del vacío se deduce de la división de la materia. Supongamos que un cuerpo cualquiera MN se divide en dos porciones por la parte AB. En este caso la superficie AB se apartara de la superficie CD.

Pero no es posible que en el mismo instante una parte de halla en el punto medio E, y se aparta del punto F, en el mismo instante, venga de fuera otra materia a ocupar aquel lugar, porque no es posible que dos cuerpos se hallen a un mismo tiempo en un propio lugar: Luego en el supuesto que hay división de la materia, es forzoso también suponer la existencia del vacío.

La otra forma de recurrir a la experimentación para Bataller es más en el sentido actual que lo conocemos, a partir de objetos físicos comprobar propiedades, y luego generar discusión de lo que se observa nuevamente:

El cuarto argumento que convence la existencia del vacío esta fundado en la gravedad específica de los cuerpos. Se sabe que los cuerpos unos son mas pesados que otros, que el Oro por ejemplo es mas pesado que el Corcho. Pero siendo la gravedad, o la propensión que tienen los cuerpos a dirigirse hacia el centro de la tierra es una misma, así es el Oro como en el Corcho, según se dirá en su lugar: luego es preciso suponer que hay mas cantidad de materia en una pulgada cúbica de Oro que otra de Corcho como se deja entender. Pero no se puede concebir que haya mas cantidad de materia en el Oro que en el Corcho sino es suponiendo que aquel esta mas lleno de materia que este, y por consiguiente que tiene menos huecos, o vacíos de materia. Luego en el supuesto de que hay unos cuerpos mas pesados que otros se infiere ha de haber mas vacíos en unos que en otros, y por consiguiente es preciso suponer la existencia del vacío.

Este último argumento lo lleva a poder experimentar con los pesos de los cuerpos cuando se toma la misma cantidad de masa, pero también dirige la discusión hacia la posibilidad de suponer *vacíos diseminados* como pensaban los estocásticos, pero entonces se debe suponer que “el mundo material no tiene límites, es decir, es infinito: lo que se opone al principio tercero, que queda propuesto: o es preciso que admitan unos espacios inmensos o imaginarios vacíos de toda materia”. Para probar esto se cuestiona a los lectores de la siguiente manera:

¿o el mundo tiene límites determinados o no? Si no tiene límites es infinito y esto no se puede suponer. Si tiene límite se les pregunta ¿lo que hay mas allá de los límites del mundo es cosa material o no? Si es cosa material serán partes del mismo mundo, y si no será limitado, como se supone, como es preciso, que el mundo es infinito y limitado y es necesario suponer también que pasados sus límites hay un grandísimo espacio vacío o exento de toda materia [...] el espacio imaginario [...] no porque pueda imaginarse lo que ellos son en realidad, ni hasta donde se extienden, sino es porque cuando nuestra imaginación los compara, los mide y discurre sobre ellos como si fueran cosas matemáticas.

Algo similar sucede con conceptos como los de materia y porosidad. Para este último, realiza un recuento desde los griegos Aristóteles y Pitágoras, hasta Descartes, Newton, Leibniz y Boscovich, y concluye que Newton es un atomista y no comparte su opinión. Argumentó que mientras que para Newton los principios primarios de los cuerpos eran unas partículas esféricas pequeñísimas e indivisibles, para él la dureza de las primeras partículas de la materia no se podía suponer perfecta, o infinita [Bataller 1802a, 53-54]:

Hay que suponer dos cosas: una que la dureza de las primeras partículas de la materia no se puede suponer perfecta o infinita pues aunque se supongan de tal

naturaleza, que los agentes naturales no son capaces de hacerles impresión respecto a que estos no son infinitos no se puede inferir que la dureza sea infinita, a más de que esto se opone al principio que se ha repetido algunas veces y dejamos supuesto. Otra que estas partículas no se pueden suponer indivisibles, así porque su dureza no es infinita como por que siendo figuradas y externas “propiedades de los cuerpos” es preciso que sean indivisibles como se vera cuando se trate de la división de la materia.

Otro punto donde tampoco coincidió con Newton fue sobre la porosidad [Bataller 1802a, 93-94]:

Llamare porosidad a la propiedad que tienen los cuerpos de dejar ciertos huecos entre las partes de que se compone, por los iguales dan paso o entrada a otras materias. Probare como lo han hecho otros Físicos sobre la existencia de la porosidad en los reinos animal, vegetal y mineral y realizaré pruebas generales de la porosidad de cuerpos. Acerca del movimiento y otros fenómenos que se notan en los cuerpos podemos deducir otras pruebas semejantes a las que se expusieron cuando se trató del vacío. De donde se consigue últimamente que la porosidad es una propiedad general de los cuerpos. Sobre estas reflexiones han establecido Newton, Keil, Muchenbroek y otros Físicos un cálculo específico, pues hacen el cotejo de la cantidad de poros o vacíos que hay en los cuerpos respecto a su peso absoluto, o a su gravedad específica. Mas por cuanto no conocemos la figura de las partículas del oro ni del cristal, por ejemplo, ni se sabe tampoco si la materia extraña que llena los poros de uno y otro cuerpo es o no de la misma gravedad específica nos persuadimos a que este calculo no puede ser exacto. Así es que en la hipótesis de algunos Físicos que suponen que cada cuerpo tiene una atmósfera etérea, diferente de naturaleza en unos que en otros, no tiene lugar el cálculo de Newton. Por tanto dejaremos al cuidado de los curiosos estas investigaciones y pasaremos a dar otras nociones que tienen relación con la materia de que se trata en este capítulo.

Respecto a otro tipo de conceptos, simplemente comprueba experimentalmente sus propiedades y emite la concordancia con los teóricos. Por ejemplo, el que la fuerza de inercia es cosa distinta de la fuerza de gravedad, y esta última se aplica al giro de los planetas con sus satélites alrededor del Sol, como afirman Copérnico (1473-1543) y Newton [Bataller 1802a, 138-142], coincidió que para que un cuerpo se mueva en una elipse en virtud de la fuerza centrípeta y de la centrífuga es necesario que se siga la ley de la razón inversa de los cuadrados de las distancias [*Ibid.*, 152-156].

De manera que lo que Bataller realiza en este primer tratado, es hacer explícitos los conceptos de manera que sean entendibles en términos de una comprobación empírica accesible a sus lectores; mientras que para aquellos conceptos donde no es posible realizar un experimento, simplemente lo enuncia en los mismos términos que Newton, o algún otro autor, al indicar su concordancia con el mismo, como se observó con anterioridad. Por ejemplo, experimenta con la luz y el sonido, igual que Muchenbroek. No todos los conceptos que definió Bataller en esta parte son los mismos que definió Newton en el primer libro de los *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*.

Tratado II: De la mecánica de los sólidos

En este segundo tratado, Bataller estudió la mecánica de los cuerpos sólidos tanto en reposo como en movimiento, la aplicación de las leyes del movimiento compuesto al equilibrio de las máquinas, y una última parte dedicada a la balanza con una serie de artículos: De la balanza romana, de la garrucha o polea, del torno o eje peritrochio, del plano inclinado, del tornillo y de la cuña.

Al igual que Newton en los *Principios*, Bataller, al inicio, definió los conceptos que necesitaría como fuerza, velocidad, masa, distancia y tiempo, para llegar a las tres leyes fundamentales del movimiento: De la inercia; de las causas y efectos; y, de la acción y la reacción. Con estas leyes, Bataller explicó el movimiento uniformemente variado, descenso libre, movimiento compuesto, encontró los centros de fuerza y centros de gravedad, y, por último, aplicó las leyes del movimiento compuesto al equilibrio de las máquinas simples, todo esencialmente en los mismos términos que Newton. Este segundo tratado, consistió esencialmente del material que Newton manejó en el primer libro de sus *Principios*. Bataller no lo hizo en el mismo orden y de la misma manera que Newton, sino que sintetizó el material de varias obras que también difundieron la mecánica newtoniana. Siguió el mismo orden que los libros de Nollet y Sigaud de la Fond por ser más prácticos, ya que los de Muchenbroek y S'Gravesande fueron más teóricos. En este sentido, su objetivo, para este segundo tratado, fue realizar una compilación accesible al tipo de lector al que dirigió su obra.

La física que el autor desarrolló en este tratado, la aplicó al final, donde utilizó las leyes del movimiento para el estudio del equilibrio de las siguientes máquinas simples [Bataller 1802a, 5]: Funicular, palanca, balanza, balanza romana, garrucha o polea, torno (o eje de peritrochio), plano inclinado, tornillo y cuña. El estudio de estas máquinas fue importante porque los aparatos que se manejaron en ese tiempo fueron producto de una combinación, algunas veces compleja, de las máquinas simples para acoplarlas a las necesidades particulares de la minería; no es que gracias a la obra de Bataller se crearan otro tipo de máquinas sino que a partir del análisis de las propiedades de cada máquina a partir de las leyes de la física y la mecánica compiladas por él fue posible explicar su funcionamiento y sugerir modificaciones cuando no funcionaban acordes a las condiciones de la Nueva España, como fue el caso del uso del vacío en la extracción de agua que en ocasiones contenía azogue. Esta ligera modificación no estaba considerada en la literatura newtoniana, lo que lo obligó a consultar textos más cercanos a la experiencia, de donde recopiló soluciones y en algunos casos propuso soluciones, como se verá en el siguiente tratado.

Tratado III: De la hidrodinámica

En este tratado, Bataller estudió la naturaleza de los fluidos y de sus movimientos y constó de tres partes: La primera correspondió a la hidrostática o equilibrio de los fluidos; la segunda a la hidráulica o movimiento de los fluidos; y la tercera parte de la aerometría; es decir, del movimiento y propiedades del aire y de los fluidos elásticos y compresibles.

Bataller comenzó por la definición de Newton de un fluido, obtenida de sus *Principios*: En particular, un fluido es como un 'agregado de partículas, o cuerpecillos que ceden a la

mayor fuerza, y cediendo se mueven en todas direcciones'. Aquí Bataller se preguntó si las partículas de los fluidos son sólidas e inalterables, y cómo se manifiesta esto en los instrumentos que sirven para medir varios fenómenos, como el agua en el instrumento llamado martillo de agua y el azogue en la parte superior del barómetro, ya que al dar un golpe emiten sonidos como si fuesen sólidos.

Bataller también se refirió a la variación que sufre el equilibrio de los fluidos en los tubos capilares. No existe una explicación convincente de los efectos de los tubos capilares con líquidos, por lo que se cuestiona respecto a la falta de aplicación de la ley de equilibrio de los fluidos que indica su comportamiento a partir de su densidad, y especifica que no se aplica en tres casos [Bataller 1802c, 97]:

Primera, se observa en unos tubos de vidrio muy angostos llamados capilares. Segunda, en la suspensión de las partículas de azogue, oro y de otras materias sólidas en la superficie de los fluidos y a cualesquiera altura de ellas. Tercera, en la disolución de los metales, de las tierras y de las sales en los fluidos proporcionados para disolverlas.

Estas excepciones no desechaban la ley, pero se preguntaba: ¿Cuál es la causa a que debe atribuirse los efectos que se notan en los tubos capilares? Atribuyó estos efectos de los tubos capilares al peso del agua; ésta subía en los planos de cristal hasta doce pulgadas, estando la máquina neumática al vacío a un grado tal como el mercurio en el barómetro, queda a una línea de altura al nivel de las cubetas, en cuyo caso el peso o la elasticidad solo mantendría al agua a poco más de una pulgada de altura. Si bien, Newton no da ejemplos del uso de tubos capilares con azogue en los *Principia*, si le fue posible a Bataller extraer una explicación para este fenómeno, considerándola como la más adecuada [Bataller 1802c, 98]:

La explicación más común y la que ofrece menos dificultad es la de atracción y repulsión, según el sistema de Newton. Conforme a este sistema si ponemos una gota de agua al comenzar a subir entre los dos planos de cristal, es fácil entender, que estos atraerán a la gota de agua a cierta altura: esta se halla allí atraída de los mismos planos, pero como estos se hallan más inmediatos por razón de la inclinación que se les da, la gota de agua subirá más arriba y de ahí a otra mayor altura, hasta llegar a lo más alto de los planos.

A partir de esta explicación Bataller menciona los casos para los que no aplica la explicación newtoniana del fenómeno y su interpretación:

En los demás casos se discurre de un modo semejante a este, menos el primero, en que es preciso recurrir al efecto de repulsión o atracción negativa. Porque en realidad bien examinada la cosa, lo que llamaron repulsión los newtonianos son unas atracciones negativas, es decir, que siendo mayor la atracción que tienen las partículas del azogue unas con otras, que las que tienen con el cristal, prevalece el efecto de esta, a aquella, y así retrocede y baja un poco el azogue en la pierna capilar de la línea del nivel: en lo que se advierte, que aunque parece repulsión este proceso del azogue, no es sino un efecto de atracción que tienen entre si las partículas del azogue, el que hace también, que prepondere el corto peso de la columnilla, que obra en la parte de la otra pierna BA [ver figura 1]. Consiguiente a esto será fácil explicar los demás efectos de los experimentos referidos,

recurriendo a la ley y efecto de atracción.

Lo anterior muestra que Bataller contaba con una amplia experiencia en el tipo de problemas que se les presentan en particular a los mineros, para el manejo de instrumentos como el barómetro y las bombas neumáticas, requirió adecuar su funcionamiento para aplicar modificaciones en la dimensión de los tubos capilares y así lograr manejar el azogue; es decir, para construir bombas adecuadas para desaguar minas al aplicar la fuerza del agua al movimiento de las máquinas y en cierta forma al hacer uso de los principios de Newton sobre el comportamiento de los fluidos:

Porque la altura del azogue en el barómetro tiene sus variaciones en un propio lugar, y siendo proporcionales las subidas o bajadas del agua a las del azogue en el barómetro es preciso darle al tubo de atracción, y cuerpo de la bomba, un cierto número de pies menos, a fin de que en ningún caso deje de tener efecto la subida del agua en la bomba: para lo que se tendrá consideración a las variaciones que padezca el barómetro en el lugar donde se construye la bomba.

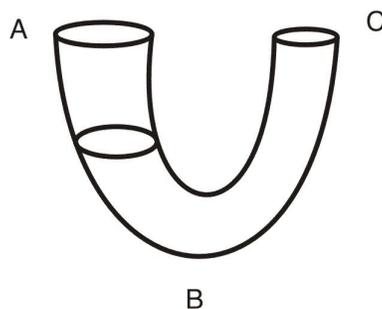


Figura 1. Tubos capilares [Bataller 1802c].

Si bien, esto no es una muestra de que la experiencia y el ingenio de Bataller estuvieran respaldados por un conocimiento amplio de la física y mecánica de Newton, no será hasta en el último tratado donde podrá dar luz para emitir un juicio al respecto. En un ejemplo similar al anterior, respecto a la balanza hidrostática que estudia en el último tratado (figura 2), Bataller explicó su uso para medir gravedades específicas de sólidos, y la misma propiedad para fluidos mediante el areómetro o pesalicores (figura 3), de este último describió cómo se construye. Realizó un análisis del movimiento de los fluidos, en especial del choque de estos, para aplicarlo más adelante al movimiento de las máquinas, como las que se muestran en las figura 4: Molinos de trigo y aceite, ruedas destinadas al movimiento de las bombas y en varias aplicaciones que hacen uso de la fuerza generada por el agua. Bataller [1802c, 167, 178] efectuó este estudio al mostrar la utilidad de la teoría antecedente para explicar la construcción de máquinas que se emplean preferentemente en la laboreo de las minas.

En relación al comportamiento de los fluidos, Bataller [1802c, 157] advirtió que las teorías acerca de las resistencias generadas por la gravedad no son completamente satisfactorias, por lo que recurrió a la experiencia valiéndose de los péndulos ya que la regularidad de sus

movimientos da mayor exactitud. Pero con todo esto, no resultó que las resistencias sean como los cuadrados de las velocidades, que fue la afirmación de Newton, ya que aunque esto se verificó en las oscilaciones grandes, no resultó así en las pequeñas.

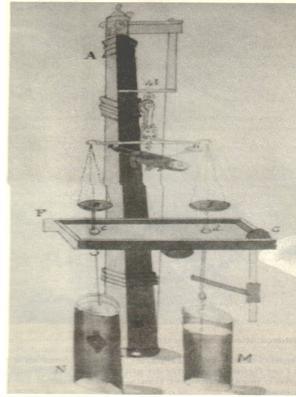


Figura 2. Balanza hidrostática [Bataller 1802c]

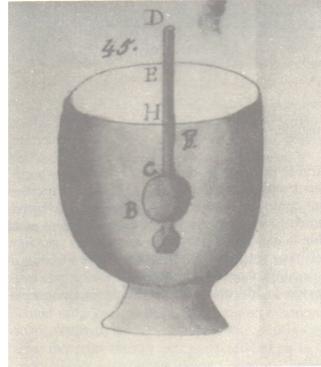


Figura 3. Areómetro o pesalicores [Bataller 1802c]

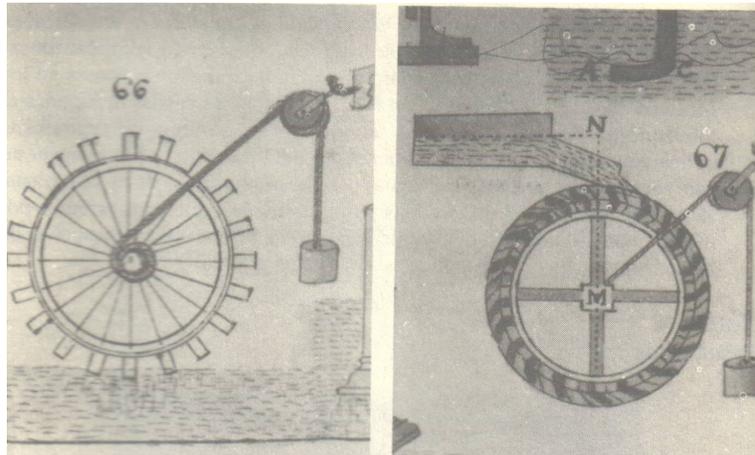


Figura 4. Molinos y ruedas [Bataller 1802c]

Estas secciones son importantes ya que Bataller relacionó las propiedades de los cuerpos

con su uso en diversos instrumentos, lo que empleó para la adecuación de máquinas útiles en la minería. Lo englobado en el tercer tratado, la parte de hidrostática e hidráulica, se encuentra en el segundo libro de la obra de Newton. El contenido no es exactamente el mismo, ya que Bataller tocó puntos que Newton no mencionó, y viceversa. Además, la tercera parte del tratado que se refirió a la aerometría o estudio del aire como un fluido, no viene en la obra de Newton. En este apartado Bataller describió varios experimentos, lo que enriquece nuevamente su aportación como compilador con un objetivo muy preciso de manejar contenido acorde a las necesidades de formación de sus lectores.

Los tres tratados hasta ahora presentados en su contenido teórico y experimental se refieren en general a la mecánica newtoniana, no extraído textualmente de los *Principios* en forma directa (aunque si hay referencias explícitas de este texto), sino que más bien el libro, tanto en estructura como en contenido, tiene similitudes con los libros europeos difusores de esta filosofía, incluyendo a Euler y los Bernoulli. Sin embargo, es conveniente notar que la obra de Bataller, a diferencia de las europeas, de la Newton e incluso de la de Gamarra, se enfoca fuertemente a buscar comprobar mediante algún experimento o siguiendo una línea de argumentos la teoría presentada y relacionarla con problemas prácticos de la minería.

La parte de la mecánica newtoniana que mayor trascendencia tuvo en el *Seminario de Minas* fue la hidrodinámica [Humboldt 1978, 81; Ramos Lara 1994, 89]; los procesos de amalgamación se estudiaron en la clase de química y a Bataller le interesó la física de un fluido en equilibrio y la presión que hacen los fluidos en las vasijas donde se encuentran contenidos. El principio teórico afirmaba que la presión es como una fuerza que es igual al peso de la columna vertical del fluido que está sobre ella. Entonces, la presión es igual al producto de la base por la altura por la gravedad específica del agua (densidad del líquido por gravedad); esto lo usó para explicar el funcionamiento de la palanca hidráulica o fuelle hidráulico, mostrado en la figura 5 [Bataller 1802c, 19].

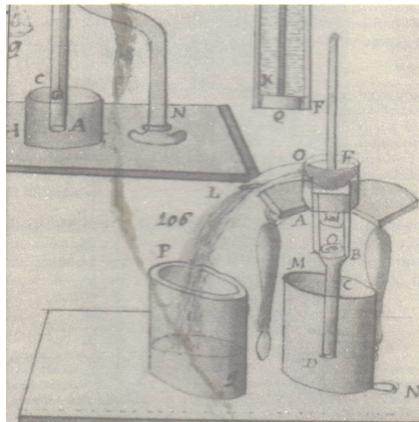


Figura 5. Palanca hidráulica [Bataller 1802c].

La palanca está constituida por un fuelle¹ de cuero movable (*ABCD*), que carga varios pesos (*P*); del centro sale un tubo (*EF*) que conecta con el interior del fuelle, al llenar este de agua, se observa que basta poner unas gotas de agua por el tubo para mover los pesos. Bataller [1802c, 31-36] demostró además, en base a la definición de presión, que los gruesos que deben darse a los cilindros de las bombas, y de otras máquinas hidráulicas, dependen en razón directa de las alturas, de los radios de los cilindros y de las gravedades específicas de los fluidos; y en razón inversa de las tenacidades de los metales de que se compongan. Para mostrar la relación de este principio con la minería y las leyes de Newton, resolvió el siguiente problema: Determinar el grueso que se debe dar a un tubo de cobre de dos pulgadas de diámetro, para que aguante el esfuerzo de una columna de azogue de diecinueve pies de altura [Ramos Lara 1994, 90], nuevamente un ejemplo de adecuación de una máquina a las necesidades de un problema práctico de minería. Algunos otros problemas tratados con el mismo principio fueron: Determinar la altura de un cerro o la profundidad de una mina por medio del barómetro y creación de bombas compuestas para aumentar rendimiento, entre otros.

Tratado IV: De la óptica

El contenido de este tratado es el siguiente [Bataller 1802d, 3]: 1. De la óptica en general; 2. De la dióptrica o refracción de la luz, y 3. De la catóptrica o reflexión de la luz. De este tratado llama la atención el estudio de la propagación de la luz.

En la segunda mitad del siglo XVIII en Europa, la teoría corpuscular de la luz estaba en pugna con la teoría ondulatoria desarrollada por Huygens y retomada por Euler. Este mismo debate se manifestó en el texto de Bataller [Espinoza Sánchez 1994, 104]. Bataller [1802d, 46-47] explicó en el laboratorio la descomposición o refrangibilidad de la luz mediante un experimento, que resultó similar al presentado por Newton [1977, 38-45], ver figura 6, en la *Óptica*:

Si estos rayos de luz después de que han pasado por un prisma, se hacen pasar por otro o por muchos más, de cualquier modo que se coloquen, con tal que los rayos últimos no sean paralelos a los primeros siempre se norma la misma variedad de colores que el primero. De este experimento que se ha variado de distintas maneras dedujo Newton que la luz de cada especie de rayos era homogénea e inalterable.

Coloque un segundo prisma inmediatamente después del primero, formando una cruz con él, para refractarse de nuevo el haz de luz solar proveniente del prisma. El primer prisma refractaba la luz hacia arriba, y el segundo lateralmente [...] es evidente que los rayos [...] continúan siempre siendo homogéneos y uniformes entre sí por lo que respecta al grado de refrangibilidad.

¹ Instrumento para recoger aire y lanzarlo con una dirección determinada, que esencialmente se reduce a una caja con tapa y fondo de madera, costados de piel flexible, una válvula por donde entra el aire y un cañón por donde sale cuando, plegándose los costados, se reduce el volumen del aparato.

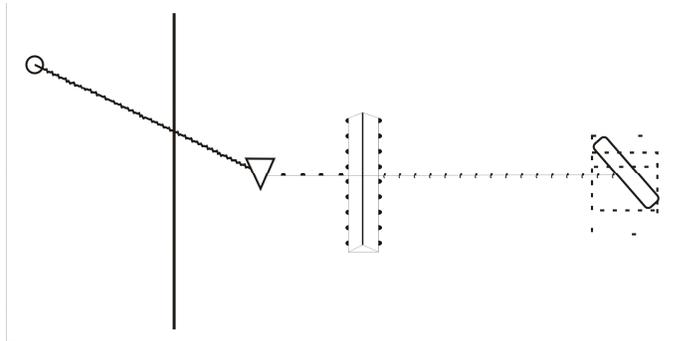


Figura 6. Refracción de la luz [Bataller 1802c].

Bataller también explicó la refracción de la luz con los postulados de Newton, en la misma forma que se ha presentado anteriormente, por lo que la pregunta sería ¿cuál es la diferencia o la aportación de Bataller con respecto a Newton? Esta manera de presentar encadenados resultados similares de ambas obras muestra que Bataller más que buscar aportar algo original en su obra se dedicó a compilar la información al buscar que fuera más entendible a través de experimentos o cuestionando sobre casos en los que la teoría no tiene una aplicación inmediata, y en el mejor de los casos al presentar una necesidad específica extraída de su experiencia en minas y su solución a través de la misma. Salvo algunos momentos específicos de la obra, donde se aparta de la mecánica newtoniana para presentar inconformidades u otras opciones de solución, como la que se muestra enseguida, Bataller es un comentarista y compilador de los resultados presentados por Newton.

Pero Bataller también fue un crítico de la teoría óptica newtoniana y expuso la teoría ondulatoria. El argumento de Newton [1977, 40] afirma que la propagación de la luz viaja en línea recta y se realiza por una emisión de partículas que salen de un cuerpo luminoso. En cambio la teoría ondulatoria que acepta Bataller —propuesta por Huygens y Malebranche, y que es la posición adoptada por Euler— la sustentó con experimentos [Bataller 1802d, 27-28]:

Sea que la luz consista en la emisión de partículas o en el movimiento ondulatorio o de vibración del éter, esto es, se suponen que hay un material más sutil que el aire que llena todo el universo á lo cual llaman éter, y que vibrándose los cuerpos luminosos causan en él un movimiento ondulatorio [...]. Esta opinión se halla adoptada últimamente por Euler, y apoyada con varias razones que producen una excelente teoría que há dado sobre esta materia.

En Europa fueron aceptados los dos modelos ópticos y en la Nueva España, gracias a Bataller y la difusión de su obra en el *Seminario de Minería*, se siguió la misma tendencia; no porque no existieran otros medios para dar a conocer estos resultados sino por lo accesible del idioma y el estilo de su texto. El *Seminario de Minería* adquirió telescopios refractores y reflectores, y los alumnos utilizaron ambos instrumentos para estudiar la bóveda celeste [Espinoza Sánchez 1994, 107-108]. Bataller mostró en su manuscrito los adelantos técnicos de los telescopios ingleses armados por Dollond y Short, que se apoyaron en la teoría ondulatoria de Huygens y Euler; por lo que Bataller se interesó en el problema de la aberración que mostraron los telescopios, incluyendo el de Newton, así que finalmente se inclinó a favor del telescopio acromático de Euler. A diferencia de estos autores, demostró matemáticamente que se puede corregir la aberración (ver figura 7); siendo una muestra del interés por hacer explícitos resultados y contribuir de forma mínima al contenido teórico que se presenta en su manuscrito (Bataller 1802d, 214-216):

Según las experiencias hechas por Cleraut y Fournieres la razón de refracción en el Fint glass ó cristal de pedernal con respecto á los rayos rojos es $n:N=100:1585$, la de los medios o verdes $n:m=1000:1600$, y la de los violados $n:N=1000:1615$. Luego habiendo hecho $Q=N-n$, y $q=N-n$, será $Q=585$, y $q=615$. Sustituyendo por ultimo estos valores de P , Q , p y q en la expresión

$$B = \frac{Q-q}{p-P} \times A$$

sacaremos

$$B = -\frac{2}{3} A,$$

Quiere decir que siendo el valor de B negativo, la segunda lente L , cuyo medio es B , ha de ser cóncava, y así mismo la razón $B:A$ ha de ser la de 3:2 para que quede corregida la aberración de refrangibilidad.

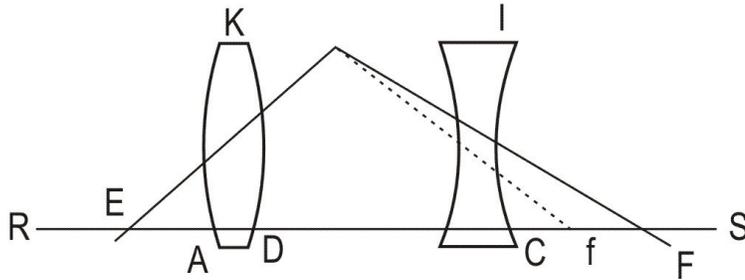


Figura 7. Corrección de la aberración en lentes [Bataller 1802d].

Al final, cuando Bataller realizó estudios sobre catóptrica, demostró su experiencia como minero al explicar la reflexión de la luz en cuerpos opacos o pulidos [Espinoza Sánchez 1994, 108-110; 2002, 234]:

Cuando la luz da en los cuerpos opacos se refleja en ellos o parece lo que

llamamos reflexión que es un proceso semejante al que observamos en los cuerpos elásticos cuando chocan contra un plano dotado de elasticidad. Ha enseñado la experiencia que la luz se refleja en las superficies de los cuerpos en mucha cantidad o proporción de su mayor pulimento, y de la mayor cantidad de poros: así vemos que la superficie del agua y algunas piedras como el azabache forman una especie de espejos naturales.

Para concluir, llegó a una proposición propia sobre la reflexión de la luz que infiere y verifica por experimentación.

Hasta aquí, se han presentado algunas referencias a teorías físicas de la época, como las de Newton, en las que Bataller se apoyó para resolver problemas que las condiciones del colegio le impusieron. Se observa como, ya sea para aceptar o refutar, siempre tuvo gran apego a las teorías más modernas y siguió las corrientes científicas y los esquemas teóricos de los principales representantes. Por ejemplo, el libro de Bataller menciona a Newton de tres formas distintas: 1) Discute teorías, como cuando enuncia las leyes de la mecánica newtoniana y hace uso de diversos conceptos tomados de los *Principios*; 2) dentro del programa docente del *Seminario de Minería*, mantiene la estructura de los *Principios* y de los textos sobre mecánica más influyentes en Europa; y finalmente, 3) utiliza la mecánica newtoniana para la adecuación de problemas prácticos de la minería novohispana [Ramos Lara 1991, 94]. En el primer caso, Bataller hizo referencia a citas textuales que mencionaron a Newton, para establecer en sus propias palabras la teoría del mismo, la mayor aportación en este sentido son las comprobaciones mediante experimentos para dejar más en claro la teoría. En el segundo caso, una comparación con el libro de los *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* de Newton, en su edición moderna en español, sirve para constatar que se dio una transculturación del contexto de la mecánica newtoniana en los *Principios de Física Matemática y Experimental*; es decir, la teoría se acopló a la circunstancia mexicana, se asimiló y se adecuó a la misma. Por último, en el tercer caso que concierne a la utilización de la mecánica newtoniana en el ámbito minero, su uso en algunos problemas prácticos del entorno del científico novohispano, o las notas de carácter didáctico en función del tipo de lectores al que dirige la obra.

Bataller, en general, primero realizó un tratamiento físico matemático que le dio acceso al funcionamiento de las máquinas y después explicó para qué servían y cómo se utilizaban. Esto permitió, por una parte, que algunas máquinas e instrumentos que no podían ser comprados o traídos de Europa, se construyeran en la Nueva España con la misma calidad tanto de diseño como de función y precisión, que en cualquier otro país [Trabulse 1984, 145]. Como puede notarse, la física que incluye las leyes del movimiento de Newton se utilizó para determinar el equilibrio de las máquinas simples, máquinas que se utilizaron desde la construcción de un reloj o de un molino para aprovechar el viento, hasta complejos mecanismos de desagüe de minas, sin que llegaran a ser modificaciones demasiado importantes para ser consideradas un nuevo tipo de máquina o un aporte importante, pero sí una contribución acorde a las necesidades del entorno.

Conclusiones

La obra de Bataller fue esencial para la cátedra de física experimental del *Seminario de Minería*, principalmente lo relacionado con la elaboración, utilización y

aplicación de instrumentos y máquinas útiles para mejorar la explotación y laboreo de las minas. Se ha mostrado la influencia de la obra de Bataller, a través de su obra, como un medio de divulgación de la física matemática de la época, en particular la newtoniana, y como fundamento teórico para aplicaciones en la solución de problemas prácticos de la minería acorde a las condiciones de la Nueva España. Si bien, el trabajo de Bataller cumple la función de compilar la información para que fuera más accesible a sus alumnos, con lo cual no aparece un aporte importante de conocimiento a la disciplina, si buscó experimentos y discusiones que permitieran dejar en claro la teoría, por lo que su aportación tiene un corte más didáctico. Así mismo, las adecuaciones a las máquinas empleadas a la minería son menores por lo que requieren poca profundidad teórica, lo que no permite ir más allá en un análisis de aportaciones teóricas o diferencias respecto a la física y la mecánica de la época. Sin embargo, para determinar por completo el impacto de la obra de Bataller en el *Seminario de Minería*, aún faltaría analizar los trabajos de sus alumnos, dilucidar los contenidos de los exámenes o actos públicos de los asistentes al seminario, y revisar a detalle los instrumentos que fueron estudiados e incluso construidos para la minería de manera exclusiva por novohispanos. Sin duda, esto último fue de gran relevancia para los novohispanos, es notorio su interés por resolver los problemas que su entorno les presentó.

Referencias

- Bails, Benito. 1772. *Principios de Matemática*. Madrid. Biblioteca del Palacio de Minería
- Bataller, Francisco Antonio. 1802. *Física Matemática Experimental*. Manuscrito. México. 1802, 1803.
- _____. 1802a. *Principios de física matemática y experimental*, Tratado I, México, MS 1511.
- _____. 1802b. *Principios de física matemática y experimental*, Tratado II, México, MS 1512.
- _____. 1802c. *Principios de física matemática y experimental*, Tratado III, México, MS 1513.
- _____. 1802d. *Principios de física matemática y experimental*, Tratado IV, México, MS 1514.
- De la Font, Sigaud. 1787. *Elementos de física teórica y experimental*. Madrid. Biblioteca del Palacio de Minería.
- Elhuyar, F. 1818. *Indagaciones sobre la amonedación en Nueva España, con licencia de Madrid*. México, Fondo Reservado de la Biblioteca Nacional.
- Espinoza Sánchez, Juan Manuel. 1994. *La óptica newtoniana en la segunda mitad del siglo XVIII*. Tesis de Licenciatura en Historia. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Humboldt, Alejandro de. 1973. *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*. México: Porrúa, 3ra. Ed.
- Izquierdo, José Joaquín. 1958. *La primera casa de las ciencias en México. El Real Seminario de Minería (1792-1811)*. México: Ediciones Ciencia.
- Libro de Cuentas Mensuales del Colegio de Minería*. Año de 1793 (M.L.302.B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.
- Minería, Informes 1789-1800* (M.L.90.B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.

- Minería, Informes 1789-1800* (M.L. 120. B.). Fondo Reservado del Palacio de Minería.
- Moreno de los Arcos, Roberto. 1985. *Estudios de historia de la filosofía en México*. México: UNAM.
- Musschenbroek, Pierre Van. 1734. *Cours de Physique Expérimentale et Mathématique*. París. Biblioteca del Palacio de Minería.
- Necrologías*, Tomo II. México, Fondo Reservado de la Biblioteca Nacional.
- Newton, I. 1977. *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Madrid: Alianza Editorial. Tomo I.
- Nollet, M.P. Abbè. 1783. *Leçons de Physique Expérimentale*. Paris. Biblioteca del Palacio de Minería.
- Ramírez, Santiago. 1982. *Datos para la historia del Colegio de Minería*. SEFI. Ed. Sociedad Alzate.
- Ramos Lara, María de la Paz. 1994. *Difusión e institucionalización de la mecánica newtoniana en México en el siglo XVIII*. Universidad Autónoma de Puebla. Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología A.C.
- _____. 1991. *Difusión e institucionalización de la mecánica newtoniana en México en el siglo XVIII*. México: Tesis de Maestría (Maestría en Ciencias, Física). UNAM. Facultad de Ciencias.
- S'Gravesande, J. 1723. *Physices Elémenta Mathématique Expérimentis Confirmata* [1721] y *Philosophiae Newtonianae Institutiones in usus Académicos*. Leyde. Biblioteca del Palacio de Minería.
- Saenz de Escobar, J. 1749. *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados. El primero de medidas de tierras, el segundo de minas, el tercero de aguas, manuscrito*. Archivo General de la Nación de México. Tierras, vol. 3706.
- Trabulse, Elias. 1991. *Historia de la ciencia y la tecnología*. México: Colegio de México.
- _____. 1984. *Historia de la Ciencia en México*. México: FCE. Tomo II. Siglo XVII.

Agradecimientos

Un especial reconocimiento al M.D.I. Josué Deniss Rojas Aragón y a los prestadores de servicio social de la Licenciatura en Diseño Industrial del Centro Universitario UAEM Valle de Chalco, Adrián Juárez Barberena y Gerardo Hernández Neria, por su apoyo en la elaboración de algunas imágenes de este artículo.

Alejandro Garciadiego Dantan
Fac. Ciencias, UNAM
E-mail: gardan@servidor.unam.mx

Magally Martínez Reyes
CU UAEM Valle de Chalco
E-mail: mmreyes@cinvestav.mx