

# ENSAYO

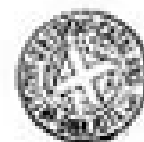
SOBRE EL

ARTE DE NAVEGAR POR DEBAJO DEL AGUA

ESCRITO POR EL INVENTOR DEL

ICTÍNEO Ó BARCO-PEZ

Narciso Monturiol



BARCELONA — 1891

IMPRESA DE HEREDIA Y C.<sup>IA</sup>, EN COMANDITA  
CALLE DE S. VICENÇ Y OCELLETA  
Paseo Anselmo, 2

A la Excmo. Diputación Provincial  
de Barcelona

J. Martorell



Ni el amor á la ciencia, ni el amor á la gloria, ni la afición á las novedades que mueve y tiraniza tantos ánimos, ni mucho menos la codicia del lucro, impulsaron al Sr. Monturiol á inventar el ICTÍNEO. Al dedicar todas las fuerzas de su inteligencia á resolver el problema de la navegación submarina, no hizo más que obedecer á una necesidad de su naturaleza, que lo llevaba al estudio de los fenómenos naturales para aplicar sus leyes á las esferas de la actividad humana.

En Monturiol se encontraban reunidas una inteligencia observadora y perspicaz, un carácter perseverante, un ánimo resuelto y un gran desinterés. De esto resultaba su labor constante en el campo del progreso. Si alguna de sus invenciones le hubiera valido una colosal fortuna, en vez de entregarse á una vida de holganza y de goce desenfrenado, Monturiol viviera modestamente, laboriosamente como vivió siempre, y gastara hasta el último maravedí de su improvisada riqueza en llevar á cabo otra ú otras invenciones. ¿Por qué ese afán de realizar inventos? ¿por qué esa comezón de adelantar en el terreno de lo desconocido? ¿por qué ese anhelo incesante de aumentar el poder del hombre sobre la naturaleza? Si se le hubieran dirigido á él estas preguntas, de seguro que contestara que obedecía á un sentimiento de humanidad, y le diera apariencia de razón el hecho que le sugirió la invención del ICTÍNEO.

Teniale preocupado el afán de resolver la navegación aérea, cuando, encontrándose en Rosas, presencié la triste escena de sacar del mar, casi asfixiado á uno de los buzos que se ocupaban en la pesca del coral. La impresión que le produjo aquel accidente, por desgracia sobrado frecuente, en los que se dedican á aquella peligrosa industria, le decidió á dejar para más tarde lo de la máquina aérea y á ocuparse exclusivamente en la invención y construcción de un aparato que evitara aquellos peligros. Fué causa determinante de la nueva dirección de sus fuerzas intelectuales el hacer más cómoda, menos peligrosa y más fructuosa la pesca del coral; pero esto no prueba que en él, el gran propulsor fuera el sentimiento de humanidad, pues á otras invenciones se dedicó con igual afán sin que en ellas la humanidad tuviera nada que ver. No es esto negar que Monturiol fuera humano, pues su vida entera da testimonio de amor á sus semejantes: nuestro propósito no es otro que consignar que su incansable afán de inventar obedecía á un sentimiento interior absolutamente desinteresado, á una voz interna que, como al judío de la leyenda, le gritaba: «Adelante, adelante!», no consintiéndole que se parara y tomara descanso en el camino del progreso.

El afán de inventar, cuando no se ha nacido con predestinación para ello, suele ser revelación de ignorancia, cortedad de inteligencia, vanidad pueril y muchas veces, síntoma de desorden mental. En Monturiol no presentaba ninguno de esos caracteres: el problema, en él, estaba siempre bien planteado en el terreno científico y desinteresado en el terreno personal. Estando bien planteado el problema, su resolución dependía del método, de la exactitud en el procedimiento de los medios materiales de que disponía, de la perspicacia de su ingenio en aplicar sus conocimientos para ir de lo conocido á lo desconocido.

Los inventores empíricos, que son innumerables, no prevén las dificultades que ofrece el problema que tratan de resolver, y se empeñan en prescindir de ellas cuando se presentan, ó se desalientan y renuncian á la empresa. Monturiol, sin ser una eminencia científica ni mucho menos, preveía las dificultades, les salía al paso ó las esperaba á pie firme para vencerlas, sin impaciencia, sin desaliento y sin ilusiones. ¡Fenómeno singular!: en el terreno de las ciencias morales, que era el propio de su carrera científica, podía pasar por un iluso ofuscado por su amor al prójimo; en el terreno de las ciencias naturales y fisico-matemáticas veía y preveía con una claridad asombrosa. Es que su inducción partía de una base segura: el hecho. Así cuando se propuso la navegación aérea, como cuando se dedicó a la navegación submarina, su objeto no fué otro que hacer un pájaro artificial, y un pez artificial después. Pero el pez y el ave tienen una inteligencia que dirige sus movimientos, y los utiliza para fines dados: en el autómata que construyera la industria humana, la inteligencia del animal la había de suplir el hombre viviendo en su interior. Como simple juguete, el barco submarino ofreciera pocas dificultades;

como aparato útil y de aplicación ofrecía todas las que revela la Memoria que el inventor dejó escrita, y hoy publican unos cuantos amigos y admiradores:

Es el mayor tributo de cariño que podían pagar á la memoria de D. Narciso Monturiol, puesto que en este luminoso escrito se ve demostrada la serie de problemas científicos que hubo de resolver: hidrodinámicos para lograr que el ICTÍNEO se hundiera en el mar sin descomponerse, que se moviera en todos sentidos; fisiológicos, para que el ser humano viviera en su interior, se comunicara con el exterior, y ejecutara actos por medio de órganos del ICTÍNEO que obedecieran á su voluntad. Hizo con el submarino tanto ó más que se ha hecho después, no disponiendo de los poderosos elementos que las ciencias ofrecen ahora á los inventores. Sin ser marino resolvió difíciles problemas de navegación; sin ser mecánico, resolvió difíciles problemas de mecánica; sin ser médico, resolvió complicados problemas de fisiología humana; y lo hizo, no empíricamente, no con la ayuda de la casualidad, sino procediendo en todo científicamente, con conocimiento de causa, caminando por terreno sólido, tanto, que sus ensayos de hace veinticinco años se podrían repetir hoy sin inconveniente alguno.

Se ha dicho que su desgracia fué el ser un precursor, el haberse adelantado á su época, el no haber hallado la opinión pública preparada á recibir con entusiasmo su invento. Los que eso dicen, hablan de memoria, ó no fueron testigos del verdadero entusiasmo con que fué recibido el invento de Monturiol, y del aplauso con que eran saludados sus múltiples felices ensayos de navegación submarina. La verdad es que una empresa de tal magnitud no la puede realizar un particular, ni con la cooperación de los medios que le proporciona el favor público. Tampoco se puede sostener en absoluto que le fueran contrarios ó indiferentes los Gobiernos de aquella época. Téngase en cuenta que en los sistemas constitucionales los Gobiernos no son omnipotentes; no pueden disponer de cantidad alguna sin que figure en los supuestos, y para gastos de esta naturaleza se necesita el informe favorable de los centros técnicos, que suelen andar algo remisos siempre que se trata de invenciones.

El invento de Monturiol tuvo la desgracia de venir en época en que la marina de guerra no había alcanzado la importancia que ahora tiene para la defensa de las naciones, y de que no existieran los torpederos; y la mayor de sus desgracias fué quizás el no llevar el áncora de oro bordada en el cuello de la levita. Pero nada de esto será obstáculo para que la posteridad le haga justicia y lloremos su pérdida los que tuvimos ocasión de admirar su clara inteligencia y estimar su corazón de plata, tan bueno y cándido como el de un niño. Vivió y murió sin ambición ni malicia: quizás también en estas cualidades, que á veces resultan defectos, se halle el secreto de que los ICTÍNEOS no surquen hoy los mares.

J. Mañé y Flaquer.

UNA sola idea preocupaba al inventor del ICTÍNEO en los últimos años de su vida: la de dar á luz su postrera relación sobre la grande y atrevida empresa á la que había ligado su porvenir y su nombre.

Desarrollada la última de sus etapas entre la indiferencia general; abandonado de sus antiguos protectores, adherentes y amigos -que hasta á los más fieles rinde el cansancio,- acabó por morir el ICTÍNEO á manos de implacables acreedores que no dejaron de él un roblón para recuerdo.

Del contenido del ICTÍNEO, se sabía poco. Conociase sobre todo por sus éxitos, que la prensa había vulgarizado; sabíase que en más de sesenta ensayos públicos había presentado completamente resuelto el problema naval del vehículo submarino; pero se ignoraba por completo así la naturaleza orgánica de la nave, como la de los aparatos y manipulaciones que servían sus variadas funciones. En varias de sus Memorias y Manifiestos á la prensa periódica, había el inventor explicado las teorías fundamentales de su combustible submarino y de la normalización de la atmósfera respirable, pero no era esto suficiente á deducir el alcance práctico de cada uno de los elementos puestos á contribución.

Si el ICTÍNEO se conocía poco, por demás estará decir que se conocían menos las singulares condiciones en que se había desarrollado la invención á pesar de haber influido profundamente en su gestación y en su naturaleza técnica.

La extrema escasez de recursos pecuniarios en los momentos que más necesarios eran, coartaba á cada paso la iniciativa del inventor obligándole en muchos casos á adoptar soluciones que no eran las más propias, dificultando la adquisición de aparatos indispensables; la realización de experimentos necesarios; la conservación de una tripulación experimentada: eternizándolo y demorándolo todo, ensayos, construcciones, instalaciones y prácticas. En muchas de sus partes lleva el ICTÍNEO imborrables huellas de tan desastrosa influencia.

La absoluta falta de antecedentes técnicos sobre navegación submarina, no por ser circunstancia prevista, dejó de influir menos en los destinos del ICTÍNEO. Al botar el primer Ictíneo al mar, se ignoraba por completo cual sería el comportamiento de sus principales organismos. Puesto que la experimentación en plena atmósfera poco dejaba adivinar, todo debían de ser suposiciones y conjeturas. Desde el primer instante se imponía por lo tanto una minuciosa y reiterada experimentación en el mar sobre cuanto de cerca ó remotamente tuviese que ver con el funcionalismo submarino. De aquí esa serie interminable de ensayos, estudios, comprobaciones, reformas y prácticas que si á la verdad absorben un tiempo precioso acabando con los menguados recursos de la empresa, por los puntos oscuros que aclararon, por las nuevas sendas que abrieron en los procedimientos establecidos, por las soluciones acertadísimas que provocaron principalmente en la cuestión de motor y la de la atmósfera ictínea, resultó ser una campaña fecundísima en enseñanzas del mayor valor científico. Su influencia en el ICTÍNEO fué tan grande, que es imposible hoy darse cuenta de lo perfecto de su naturaleza orgánica, sin mentar esa amplia información experimental sobre todos los principios importantes que informan la nave submarina.

En esta larga y aprovechada campaña que inicia la botadura del primer Ictíneo en 1859 y acaba en 1869 con la desatentada acción de sus acreedores, se comprenderá sin gran esfuerzo, que se trató de algo más que de la construcción de un simple coralero. El espíritu altamente científico que animó la empresa del ICTÍNEO, presintiendo en toda su grandiosidad la trascendencia del problema submarino, acometió en la medida de sus fuerzas la investigación de las principales dificultades que hasta entonces lo habían mantenido irresoluble. Poniendo á contribución con admirable sagacidad los recursos todos de las ciencias fisico-matemáticas, las fué una tras otra resolviendo, acabando por dar forma práctica á las múltiples funciones que

hicieron del ICTÍNEO el vehículo perfectamente idóneo para iniciarse en la peligrosa exploración de los abismos del mar.

Ya desde sus primeros escritos manifiesta el inventor tan trascendental aspiración. «El arte de navegar por debajo de las aguas (decía en su primera *Memoria*) es desconocido; poco han hecho nuestros predecesores; ignoramos por completo no sólo lo que pasa en las profundidades del Océano, si que también en el menor de los mares. El hombre no ha descendido á más de veinticinco metros de profundidad, en sitios cercanos á las costas y en tiempos de completa calma; y no obstante los mares ofrecen fondos que se miden por leguas y fondos que todavía no han podido medirse. La extensión de estos mares ocupa las dos terceras partes de la superficie de la tierra: por manera que, á pesar de las inducciones de la ciencia, podemos decir que desconocemos las dos terceras partes de la corteza sólida de nuestro globo.

»Qué sucede en estos abismos y qué clase de seres producen; qué leyes particulares rigen allí, y qué clase de movimientos hay en aquellas aguas; cuál sea su temperatura y cuál la acción de los fluidos imponderables; todo esto es un misterio que sin duda sólo podremos conocerlo recorriendo el fondo de los mares.

»Á este servicio está destinado el ICTÍNEO que como aparato submarino está sujeto á las mismas condiciones del pez<sup>1</sup>.»

En mayo de 1861 decía en carta á la prensa periódica: «No se trata aquí de una ligera investigación de unos cuantos metros, donde echar los fundamentos de una obra hidráulica; se trata de comprobar ó rectificar lo que los geólogos y los físicos han tenido que deducir de teorías más ó menos verdaderas; se trata, en fin, de conocer leyes ignoradas, nuevos organismos, florestas desconocidas, una nueva geografía, y nuevos datos que resolverán mil problemas ya planteados y darán origen á otros nuevos... Crear una nueva industria, una nueva arma marítima y facilitar medios de estudio á la ciencia, tales han de ser los resultados del ICTÍNEO.<sup>2</sup>»

Hasta qué punto trabajó para el cumplimiento de este amplísimo programa, su Memoria póstuma está aquí para decirlo. Analicé una por una las variadas funciones de que dotó á su barco; fijese el lector en el alcance de los numerosos ensayos que relata; léanse con detención las teorías y las presunciones que avanza, y se verá como todo está inspirado en esa amplitud de miras que ha de procurar á la nave completa autonomía, que sin ningún género de duda es la característica principal de la nave submarina.

Si no fué más allá, si no llevó el ICTÍNEO al cumplimiento de su particular destino, ¿habrá quién se atreva á acusarle por ello?

Llevado de sus entusiasmos científicos, lánzase á la resolución de uno de los problemas más difíciles que ha planteado la técnica de nuestro tiempo. Sin el menor precedente que pudiera tomar como punto de partida, precisa con admirable intuición los elementos primordiales que han de informar la nave sumergida; y sin más cooperadores que su talento y su perseverancia, sin medios proporcionados á la magnitud de la empresa, encadenada casi siempre su inventiva por la falta de dinero, llega á dar forma plástica á su pensamiento, dotando al ICTÍNEO de las necesarias aptitudes para navegar sumergido con entera independencia del libre ambiente.

La vida, la fuerza y la seguridad resultan en la cámara ictínea suficientemente garantizadas para que con plena confianza podamos iniciarnos en el ejercicio del nuevo arte.

¿Puede exigírsele más á un solo hombre?

El tenaz empeño con que buscó editor para su última *Memoria* está perfectamente justificado por la naturaleza misma de su contenido.

Tenía Monturiol sobrado conocimiento del valor y alcances de su invento, para ver impasible cómo con el ICTÍNEO se perdía todo; así la materialidad de la obra como la esperanza de practicar en muchos años navegación submarina.

Si la *idea* del ICTÍNEO se salvaba del general naufragio ¿podría facilitar esto algún día su resurrección?

Concediendo que en el ejercicio del arte hubiesen aparecido deficiencias -que indudablemente habrían aparecido así en los procedimientos como en los mecanismos del ICTÍNEO, todas las modificaciones motivadas por estas deficiencias no habrían afectado su idea matriz, su principio fundamental, que en toda invención viene á ser el único terreno en que evoluciona la semilla del progreso, si el principio está acertadamente formulado.

Importaba por lo tanto revelar esto, haciendo una exposición sincera de todo cuanto en el ICTÍNEO era decisivo; mecanismos natatorios, combustible submarino, revivificación de la atmósfera, que son los tres elementos capitales de la invención. Exponer los principios fundamentales de cada uno así como las consecuencias que hubiesen servido de base á la concepción, y sin extremar los éxitos alcanzados ni ocultar los errores cometidos, precisar con los necesarios detalles el resultado obtenido en la experimentación y en las prácticas de mar.

He aquí la idea que inspiró su último trabajo sobre el ICTÍNEO.

Á últimos de 1869 dejaba completamente terminado el ENSAYO SOBRE EL ARTE DE NAVEGAR POR DEBAJO DEL AGUA.

Ni la curiosidad que debía despertar entre los hombres doctos el anuncio de obra tan nueva, ni la evocación de éxitos por todos aplaudidos, ni el recuerdo de generales entusiasmos, nada bastó á fijar la atención hacia las pretensiones de aquel hombre que diez años atrás le habían hecho popularísimo. Suplicó á todos; solicitó amparo y cooperación á los altos y á los sabios; llegó hasta las gradas del trono en busca del suspirado editor... todo fué en vano.

Los entusiasmos se habían extinguido hacía ya seis años, y no es nuestro temperamento propicio á dejarse llevar por las manifestaciones de la razón sosegada y fría. Había llegado la hora de la expiación y Monturiol no podía sustraerse á esa ley suprema de la injusticia social.

Dejó listo y corriente en texto y dibujo su estimado ENSAYO sobre su mesa de estudio esperando ocasión propicia..... Así murió después de quince años de espera, sin haber abandonado un solo instante la esperanza de ver *publicada* antes de morir su postrera Memoria.

Y coincidencia providencial. Moría el mismo día en que el ilustre Nordenfelt verificaba su renombrado ensayo de Lansckona, célebre en la historia de la navegación submarina por haber tomado el submarino carta de naturaleza en las filas de la marina militar.

Veinte años ha permanecido ignorado ese valioso trabajo, y habría continuado siéndolo Dios sabe cuántos más, si recientes entusiasmos motivados por la aparición de otro submarino español -el del Sr. Peral- evocando en la actual generación el recuerdo del ICTÍNEO, no hubiese despertado en la opinión, decidida curiosidad por conocer los precisos términos en que había Monturiol dejado resuelto con su ICTÍNEO el trascendental problema de la nave submarina.

El amparo que sus méritos no pudieran recabar de los poderosos, era de esperar que lo recibirían ahora de los entusiastas. Y efectivamente: al entusiasmo de unos cuantos fervorosos admiradores del ICTÍNEO<sup>3</sup> se debe el que vea hoy la ansiada luz el memorable escrito. Sentido recuerdo pagado á la memoria del hombre ilustre que tan merecidos títulos tiene al agradecimiento de la patria.

Si los coetáneos del ICTÍNEO, por haber coadyuvado á la realización de tan elevada empresa merecen eterno agradecimiento, no serán menos acreedores á él los que han aunado ahora sus esfuerzos para dejar perpetuado su recuerdo.

Dos épocas bien determinadas se destacan en el desarrollo de esta notable invención. La del primer ICTÍNEO -(1859 - 62)- es la de los ensayos públicos, la de los éxitos ruidosos, la verdadera época de popularización. La otra -(1863-69)- que transcurre silenciosa entre la indiferencia general, al extremo de no ser casi advertida de nadie la destrucción y consiguiente desaparición de todo, es la del segundo buque que describe la *Memoria*.

¿Qué hizo el primer ICTÍNEO?

Demostrar la posibilidad del buque submarino<sup>4</sup> que no era entonces en el sentir de las gentes una cosa tan hacedera y exenta de dificultades como parece entenderse ahora.

¿Qué se hizo en el segundo?

Realizar definitivamente la nave dotándola de todas las aptitudes indispensables que la navegación por debajo de agua requiere, aprovechándose, entre otras ventajas, de la experiencia adquirida con el buque de ensayo.

Sin regatearle méritos al primer ICTÍNEO, se ve no obstante que es en el segundo donde hay que buscar el genuino concepto de la obra, ya que á más de contener perfectamente contruidos todos los elementos constituyentes de la invención, contaba con innumerables prácticas á propósito para dar idea del acierto ó deficiencia de cada uno de ellas.

Al absoluto desconocimiento de esto debe atribuirse el silencio que sobre ella han guardado recientemente ciertos escritores nacionales y extranjeros al comentar el desarrollo histórico de las tentativas submarinas; así como también los erróneos conceptos que se advierten en muchos popularizadores, confundiéndola generalmente con esas tentativas empíricas que por faltarles fundamento científico han resultado sin valor alguno<sup>5</sup>.

Además. Por contraer todo el problema submarino á la sola aplicación militar, se ha venido desconociendo por cuantos han hablado del ICTÍNEO su cualidad predominante, esto es, su condición de buque de profundidad, por lo cual resulta distinto, no ya de sus predecesores, sino de cuantos han aparecido posteriormente.

¿Es esto un mérito?

¿Es inferioridad?

Punto que tanto afecta á la reputación científica de la invención, merece ser dilucidado.

Al aparecer Monturiol en 1859 con su ICTÍNEO de ensayo, sólo se tenía una vaga noticia de las tentativas de Bushnell y de Fulton, que en el orden de las tentativas prácticas deben tomarse como sus inmediatos predecesores. Del primero sólo se sabía que en 1773, metido en un bote sumergido había intentado aplicar un petardo explosivo á un buque inglés fondeado en la



isla de Staten. Del segundo, que en 1801, metido en otro bote aparecido, en un ensayo hecho en Brest, había volado un buque aplicándole mi torpedo.

Pero ni de la *american turtle* de Bushnell ni del *Nautilus* de Fulton se conocía un solo detalle por el cual deducir la naturaleza del recurso empleado para lograr la inmersión.

Estos detalles venidos más tarde han dado, sobre todo por lo que á Bushnell corresponde, el exacto alcance de su invención.

Una cámara en forma de concha bivalva y cabida para un hombre es conducida de noche por un barco flotante á las cercanías de la flota enemiga. La deja entonces sumergir hasta quedar cubierto por el agua, y en esta situación, navega al remo hasta llegar á los costados del buque enemigo que ha de volar con el torpedo. Su inmersión durará lo que permita el aire de la cámara cerrada: el descenso se obtiene admitiendo agua del mar por una válvula que aprieta el tripulante con el pie, y como la expulsión no será posible hacerla por igual procedimiento, logrará el ascenso lanzando mi pedazo de plomo que exprofeso trae al exterior pendiente de un alambre.

Como se ve, la sencillez de este mecanismo natatorio que por cierto es muy extrema, limita la inmersión á un metro de agua ó poco más; y como no dispone el bote de ninguna otra facultad submarina, queda la invención reducida á un bote-escafandra ó una campana de bucear con facultad de trasladarse espontáneamente unos pocos metros.

Todo induce á creer que la invención de Fulton era de mucho mayor alcance, si bien en casi todas las noticias que de ella se dan, se notan exageraciones que impiden formar exacto concepto de ella.

De todos modos parece fuera de duda que así Bushnell como Fulton, no se propusieron más que el *bote-buzo*, verdadero precursor del moderno torpedero sumergible, esto es, el buque militar que, teniendo su objetivo en la superficie del mar y á favor de ciertas facultades natatorias, anda á trechos velado por el agua con el solo fin de ocultar su situación. Su acción submarina se desarrolla exclusivamente en la zona de aguas superficiales y en periódica correspondencia con la atmósfera que aprovecha para orientarse y airear la capacidad de su cámara cerrada.

Prescindiendo de la amplitud con que se pretende hoy resolver esta aplicación de la nave submarina -amplitud sobre la que hay mucho que decir por lo que tiene de exigente- y ateniéndonos á la naturaleza técnica no sólo de los referidos precedentes históricos, sino a las facultades que estas condiciones generales presuponen, se deduce de su examen, que con tan escasos recursos marinos no puede haber navegación submarina, si por tal hemos de entender la facultad de descender y andar á cualesquiera profundidad por tiempo indefinido y con absoluta independencia del libre ambiente.

Que estas distintas aplicaciones de la nave submarina dan origen á dos distintos géneros de nave, nadie lo ha puesto en duda. Basta considerar el carácter exclusivamente militar de la una y el ejercicio puramente industrial de la otra, para deducir, sin otro dato, que han de discrepar profundamente en el contenido y en el comportamiento.

Pero si despojando á cada una de los múltiples elementos que su especial aplicación requiere, concretamos la comparación á las aptitudes submarinas, esto es, á la facultad de que cada una está dotada para actuar y permanecer debajo del agua, ¿aparecerá con la misma claridad la extrema diferencia que en este punto las separa?

Una rápida ojeada sobre la naturaleza de los elementos principales que informan la nave submarina, -respiración, estructura resistente, motor y mecanismos natatorios, -nos ayudará á contestar á esta pregunta.

¿Cuál es la primera condición que se lo impone?

La de poder estar sumergida, el mayor tiempo posible, que para fijarse en algo concreto podremos reducirlo á 12, 20, 24 horas seguidas, tiempo suficiente á la observación de los ordinarios fenómenos suboceánicos. Por otra parte, descendida la nave, á profundidad considerable y entregada á labores que no puede á cualquier instante abandonar, no le sera posible como al barco-buzo, recurrir al rudimentario recurso de ganar periódicamente la superficie, en busca de aire para sanear la viciada atmósfera de su cámara.

En esta función se impone á la nave la autonomía más completa. Ya se confíe este saneamiento á una reconstitución, ó á una simple sustitución, siempre resulta que el mismo vehículo es el encargado exclusivo de satisfacer esta necesidad de la vida submarina. Y como aquí, más que de un simple método de purificación, se trata antes que todo de la perfecta conservación de la vida humana en una cámara cerrada por largo tiempo á los agentes atmosféricos, cualesquiera que sea el procedimiento que se adopte, siempre su aplicación llevará consigo formulado un problema químico-fisiológico de la mayor dificultad resolutiva, completamente extraño á las necesidades del simple buceo.

Pero no es solamente esa necesidad del libre ambiente la que reduce la acción del barco-buzo á las primeras capas de agua. La presión que el medio líquido ejerce sobre su débil casco es otra valla que no podrá salvar, como no ponga así su forma como sus paredes resistentes en función de este considerable esfuerzo.

Crece la presión del mar con la profundidad, y aunque esta correlación arranca en las mismas capas superficiales, puede el barco-buzo despreciar sus efectos, porque cualesquiera construcción medianamente concebida soporta sin peligro el peso de diez ó doce metros de agua. Pero cuando la cámara-estanca alcanza profundidades de centenares de metros gravitando sobre sus paredes un peso de centenares de miles de kilogramos en metros superficial, cualquier alteración de forma ó deficiencia en la pared resistente comprometerá gravemente al submarino. Los efectos contractivos han de encerrarse en estrechos límites, porque una deformación en la forma geométrica hará imposible el equilibrio en la inmersión aunque vaya provisto del servo-motor más poderoso. La unión de los varios cuerpos, sus numerosas costuras y cajas de los ejes que afluyen al exterior, no han de alterarse por las ordinarias contracciones de la cámara, ni por bruscas variaciones de presión. Una vía de agua que en las primeras brazas se combate con ventaja, á estas profundidades precipitarán el barco á los abismos del mar.

Se aglomeran aquí tal cúmulo de dificultades que harán siempre de la traza de semejante estructura una verdadera obra maestra de ingeniería.

Si en la cuestión de la respiración debemos optar por el procedimiento que mayor radio de exploración nos asegura, idéntica mira ha de inspirarnos al dotar á la llave de motor submarino.

¿Adoptaremos motor único para las dos navegaciones flotante y sumergida?

Desde el momento que la navegación superficial se verifica en las condiciones comunes, no hay razón que abone una disposición que reduce el tiempo de sumersión, como no se disponga

de una nueva forma de acumulación de más ventajosas condiciones que los motores atmosféricos.

Mientras esto no se halle será lo más razonable, no ya en el submarino industrial sino en el militar, emplear en cada navegación su peculiar motor llevando los dos á bordo debidamente correlacionados.

Dado que la navegación del militar es una navegación mixta, su radio de acción total vendrá representado por la suma de las energías desarrolladas por los dos motores, favoreciendo esto, como es consiguiente, el motor submarino, ya que en todos los casos será el que accione menor tiempo.

No así en el barco explorador. Como éste tiene escasa acción en la superficie, todo el radio ha de medirse en navegación sumergida, y por lo tanto la acumulación total de energía motriz será toda ella submarina. De aquí que, para un radio de acción dado, haya de almacenar cantidad de fuerza, el submarino que el buzo; y como esto obliga contra toda conveniencia á aumentar en proporción la capacidad de la cámara, es necesario buscar para el primero el agente que en la menor capacidad posible acumule mayor fuerza motriz.

Esto explica el por qué ciertas formas de acumulación enteramente inaceptables en el submarino autónomo, como la del aire comprimido y la del agua recalentada, hayan podido perfectamente utilizarse en el barco militar de escaso radio de acción<sup>6</sup>. Ingenieros que son verdadera autoridad en la técnica naval, á pesar de las superiores ventajas que la acumulación eléctrica ha demostrado recientemente tener sobre los demás sistemas de almacenamiento de fuerza, no ponen hoy reparo en recomendar en el caso del submarino el uso de la máquina de vapor com motor único, no sólo por creerla el motor más práctico, sino por las superiores ventajas sobre todos los sistemas de almacenamiento conocidos<sup>7</sup>.

Así resulta del detenido estudio de esta cuestión. Pero la instalación á bordo del ictíneo de un motor térmico cualesquiera que sea la clase y sistema, no será posible sin la previa resolución del siguiente problema. *¿Cuál combustible habrá de alimentar el fuego submarino; en qué estado y materia acumularemos combustible y comburente y dónde afluirán los productos gaseosos andando el barco sumergido?*

También encontraremos en los aparatos natatorios radicales diferencias nacidas de su distinto destino. Basta considerar la rapidez evolucional que distingue al barco militar; su especial cometido y las condiciones de la zona en que navega, para comprender que no puede haber paridad en las condiciones de gobierno de uno y otro. Ya vaya el torpedero á practicar su acción á pocas millas de la costa ó en alta mar protegido por los acorazados, será su viaje una verdadera carrera de capuzadas ó zambullidos, subiendo á la superficie para orientarse y tomar nuevo aire. La rapidez en sus evoluciones ha de ser su cualidad fundamental, porque, como sus congéneres de la superficie, la velocidad ha de ser la más eficaz de sus armas. De aquí, necesidad absoluta de limitar su reducido descenso á una constante cota, por medio automático. Asegurada su estabilidad transversal y con enérgico recurso para restablecer la horizontalidad á cualquier instante, puede perfectamente confiar la sumersión á organismos propulsivos y á inclinaciones longitudinales sin cuidarse de rectificar su densidad que para nada necesita del equilibrio absoluto entre dos aguas.

Por el contrario. El desconocimiento de los fenómenos suboceánicos que en la región profunda dominan, así como de las condiciones orográficas de los fondos, agravado por una oscuridad absoluta, imponen á la nave, submarina tan extrema cautela en el descenso, que debe resueltamente rechazar todo procedimiento rápida de inmersión á la vez que, todo automatismo gobernante que para nada ha de servirle. El equilibrio así á la vía como parado,

ha de fiarlo á la sola densidad; de ningún modo á la peligrosa combinación de la hélice y fuerza ascensional inaplicable y peligrosísimo en la multitud de casos que un ascenso involuntario pudiera comprometer el gobierno de la nave. El equilibrio cual tan á menudo lo han de requerir las labores submarinas, no será jamás estable sin corregir la densidad á cada momento alterada por la acción contractiva de su estructura, y que por oscilar entre tiempos muy pequeños requiere un procedimiento enérgico y de inmediatos efectos. El aparato de inclinaciones no tiene, en este submarino ninguna importancia, ya que su moderado andar no ha de ocasionarlas muy grandes. Lo que le conviene es provocarlas cuando parado, para ayudar á las maniobras.

Estas distintas condiciones de gobierno, con ser tan claras y tan fáciles de deducir, no han sido sin embargo atendidas por escritores de nota que, de un modo absoluto, recomiendan como última palabra de la mecánica naval, la hélice horizontal para el descenso<sup>s</sup> y el timón para el desequilibrio longitudinal gobernando su respectiva acción reguladores automático.

Lo que discrepan en aptitudes marineras ambos géneros de nave no es difícil deducirlo de este compendiado examen de sus principales elementos. Aunque á primera vista parezca que la fórmula del submarino es una ampliación de la fórmula del buzo, analizando con minuciosidad sus respectivas facultades se ve que no hay tal cosa. La absoluta incomunicación con los agentes atmosféricos que se imponen á la nave submarina, afecta á tal extremo su funcionalismo general, que no hay una sola de las restantes funciones que no quede por este solo hecho profundamente alterada. Añádese la modificación que por la *mayor profundidad* reciben así sus funciones natatorias como su estructura resistente y tendremos que cuanto en el barco-buzo tiene relación con el libre ambiente y con el medio líquido se complica en la traza del submarino de tal manera, que más que una ampliación de funciones resultan ser funciones nuevas, dando esto origen, como es consiguiente, á un problema totalmente distinto y para el cual la técnica naval no tiene solución determinada.

Si el procedimiento del aire comprimido para la respiración, es para la nave submarina una solución incompleta; si tampoco responde á sus condiciones la acumulación de fuerza eléctrica, por lo menos en su estado actual, al quedar pendientes de solución estos dos importantísimos puntos, bien puede decirse que lo queda el problema por entero.

No hay medio de ir á la navegación de profundidad sin una fuerza *estable* á todo trance, esto es, segura, fácilmente manejable, generable á bordo sin peligro, susceptible de variar de intensidad entro anchos límites, y como ya he dicho, de largo radio de acción sin exagerar lo que podemos llamar, asimilándonos el tecnicismo corriente, la *capacidad de carboneras*. La alteración de su peso, no es factor importante como no se trate de emplear combustibles sólidos que se reduzcan en humos.

Parecidas exigencias hacen en extremo arduo el problema de la respiración. Puede el aire atmosférico previamente comprimido á gran tensión, ser una solución completa siempre que le adicionemos un sistema de purificación que expulse de la cámara los gases nocivos y vapores de agua que exhalan los tripulantes, como no se prefiera establecer una circulación constante de aire puro, en cuyo caso será necesario disponer para un regular tonelaje de cámara un almacenamiento de aire considerable y en consecuencia de difícil guardar.

Como todo cuanto tiende á disminuir capacidad y aumentar radio de acción debe sin vacilaciones preferirse, adoptaremos el procedimiento del aire comprimido combinado con la purificación, cerciorándonos antes de si la compresión de oxígeno puro puede presentar sobre la del aire ventajas apreciables, no sólo en la operación de comprimir y almacenar, sino en la de conservarse largo tiempo.

Si el oxígeno que podemos llamar mineral obra fisiológicamente en nuestra economía como el procedente del reino vegetal, la compresión de este gas será desde luego inmensamente más sencilla y menos voluminosa que la del aire. Y como no imposible obtenerlo puro en la misma cámara, la autonomía del buque ganará en ello si se adopta este proceder, pues, no dependerá como con el aire, de una estación de carga que por el material de que se compone ha de estar en tierra ó en una embarcación flotante y no siempre en condiciones favorables para cargar.

Dada la mayor complicación que el armamento trae al torpedero, y las mayores dificultades que ofrece su gobierno y su manejo en razón á su rapidez evolucionar y al doble peligro que corre, se comprende bien su afán en reducir toda función á la justa aptitud que requiere su rápido y momentáneo cometido militar, rehusando todo funcionalismo complicado, por más que, como los dos mentados, pudieran asegurarle una autonomía y radio de sumersión mucho mayor.

Esto en la nave submarina, no es posible. Como ya repetidas veces he recordado, su condición fundamental es la de permanecer el mayor tiempo posible sin relación alguna con el ambiente: á esta condición da de supeditar todas sus funciones; y á la naturaleza de estas funciones ha de atemperar sus mecanismos y su gobierno.

Inspirada la idea del Ictíneo en esta amplia y absoluta autonomía que requiere la nave para ser verdaderamente submarina, y en este concepto dotado de las indispensables facultades que debían permitirle navegar á cualesquiera profundidad sin más limitación que la impuesta por la debilidad de su estructura estanca, aparece clara la razón de su desemejanza, no ya con sus rudimentarios predecesores, sino con todos los contruidos posteriormente que, como ya se sabe, han sido exclusivamente militares.

Y sentada esta afirmación que la *Memoria* y dibujos corroboran, cabe preguntar ahora con fundado motivo: ¿dónde encontraremos los precedentes del ICTÍNEO?

¿Quién antes que Monturiol ha formulado en los amplios y precisos términos que él formuló las condiciones del problema submarino y quién antes que él llevó á la práctica con feliz éxito su realización?

*José Pascual y Deop,*  
[Ingenierol

Barcelona, agosto de 1891.

# Prólogo

Si las cosas nuevas encuentran dificultad para colocarse en el común comercio de los hombres, débese tanto á la resistencia que les oponen los usos establecidos, como á la desconfianza raras veces justificada con que miramos todo lo nuevo y especialmente a la falta de ilustración que impide ver los lazos que invariablemente unen los efectos con las causas que los producen.

Al emprender, pues, la exposición metódica de los fundamentos sobre que descansa la navegación submarina; de las reglas que rigen la construcción y manejo de la nave que la realiza, y de los experimentos que he hecho, tendré necesariamente de partir de los principios más generalmente conocidos, á fin de llevar el convencimiento de la posibilidad y utilidad de esta clase de navegación á la mente de aquellos que gobiernan las naciones y de los que tienen aptitud para la dirección de las grandes empresas industriales.

De todas las artes conocidas, la de dirigirse á través de medios impropios para el sostenimiento de la vida, es sin duda la más difícil y arriesgada que podía emprender el hombre. Desde el estudio de la tierra y el cielo y el hallazgo de las leyes que gobiernan el Universo tanto en la molécula como en las masas solares, hasta la investigación del mundo submarino, ha debido mediar todo el desarrollo que han alcanzado las ciencias exactas, físicas y naturales; antes no era posible conseguir la creación de un vehículo que, á sus calidades propias, reuniese la de conservar en perfecto estado de salud la vida de los hombres que albergaba en su seno; y de su posibilidad actual me convencí reflexionando sobre las relaciones estrechas que unen entre sí los hechos y los principios, relaciones que constituyen las leyes de la Naturaleza.

En efecto; es evidente que los hechos son la realización de los principios; que el arte, de experimentar descansa en la observación exacta de la Naturaleza á fin de descifrar los hechos y las relaciones que los encadenan, y ya se ha reconocido que inventar no es otra cosa que el arte de aplicar los principios observados para producir determinados hechos; los cuales calificamos de artificiales, porque su aparición se debe á la industria del hombre, y porque en general carecerán siempre, como carecen ahora, de aquel carácter de perpetuidad, perfección y reproducción que distingue á las obras naturales.

Una invención, pues, consiste en el ordenamiento de uno ó más principios activos que desarrolla hechos, previstos por la inteligencia tanto en el orden físico, como en el moral y social. Además estos ordenamientos dan por resultado la satisfacción de necesidades, esperanzas y aspiraciones; la creación de otras nuevas, y tienden á la perfección del individuo y de la especie y á someterle el dominio de la Naturaleza.

De aquí que todo descubrimiento sea una empresa útil, y desgraciadamente tan árdua que acostumbra á acabar con las fuerzas del que lo intenta. Y se convendrá en que es más árdua de lo que en general se piensa, si se considera que los errores propios y ajenos en la observación de los hechos y de los principios de que derivan nos privan de llegar al conocimiento de las leyes más simples y más fecundas, las cuales, como observa Laplace, casi siempre son las últimas que se ofrecen al espíritu humano. Lo dificultoso exige tiempo para ser vencido; sobreviene luego el cansancio, el cual se opone á la previsión; y esto y la flojedad de la inteligencia humana dan á las obras, verdaderamente, originales, cierto carácter cándido un los conceptos y grosero en la forma, que sólo desaparece á medida que van siendo repetidas y por consiguiente perfeccionadas.

La navegación submarina, tal cual yo la he practicado, no puede menos de presentar los caracteres expresados; hoy nace este arte, y la nave que lo realiza pertenece á un género que todavía no tiene historia. Es verdad dile se han hecho ensayos por sabios é intrépidos

inventores; mas sus hechos, desgraciadamente, han quedado envueltos en la oscuridad; pues parece que ni durante los trabajos ni después de ellos han publicado sus tutores los medios de que se valieron para vivir y actuar cubiertos por las aguas. Por lo tanto, ni la ciencia ha podido registrarlos de una manera completa en sus anales, ni podemos aprovecharnos de la parte útil de estos descubrimientos.

Mas si hasta ahora la investigación del fondo de los mares á favor de una nave submarina no ha merecido los honores de la dirección científica de nuestras Academias, no será porque el conjunto de los conocimientos humanos no responda á todas las dificultades de la empresa, sino porque es superior al espíritu emprendedor de nuestra época y al de iniciativa de los Gobiernos.

Si mis ensayos submarinos no han podido apoyarse en los experimentos de los que me han precedido en este arte; sin embargo descansan en las verdades por la ciencia demostradas, y por lo tanto han realizado los principios naturales de que derivan. Y debía ser así; porque la observación de los hechos en el orden de los seres acuáticos, en el de la respiración de plantas y animales, en el de las reacciones químicas, y leyes físico-mecánicas y de la máquina de vapor, ha sido tan exacta cual debía esperarse ya que procedía de ilustres naturalistas, físicos, químicos y mecánicos; y si la aplicación de aquellos hechos y sus principios á la cámara submarina ha ofrecido dificultades que, aunque vencidas hoy, quizá reaparezcan, tomando un nuevo carácter, en la práctica constante de la navegación submarina, sin embargo no serán invencibles, puesto que aquellos principios son verdaderos y la observación de los hechos que originan ha sido exacta.

Y la prueba de esto surgirá del mismo contenido del presente opúsculo, en el cual consigno los estudios hechos, las fuentes en que he bebido, las reglas que rigen esta clase de navegación y los principios sobre que descansa la cámara submarina que he denominado ICTÍNEO, de dos raíces griegas que significan *pez-barca*.

Del examen del texto, de los planos y figuras que lo acompañan resulta: que la navegación submarina es posible en todos los mares, á grandes profundidades y con aplicación á la industria, á la guerra marítima y á la ciencia; que el mundo cubierto por las aguas encierra la clave de problemas importantes; y que la cámara del ICTÍNEO, como vehículo para transportar el hombre á través de medios impropios para sostener su vida, puede llegar á tener una trascendencia capaz de influir en los destinos humanos.

He hecho cuanto me han permitido mis fuerzas para conseguir el establecimiento industrial del arte submarino. El ICTÍNEO es una obra en su género tan acabada, como en el suyo, el buque de vapor flotante; y si á pesar de esto las eminencias del comercio humano no lo han admitido en el orden de las aplicaciones constantes, espero, sin embargo, que el tiempo y las aspiraciones científicas de nuestra época, cada día más levantadas y generosas, lograrán vencer las resistencias sociales que han ido gastando mis esfuerzos y mi constancia.

Barcelona 1.º de enero de 1870.

*Narciso Monturiol*

# Primera parte

Exposición general de los hechos referentes á la navegación submarina y al Ictíneo



## Introducción

**NAVES SUBMARINAS.**- Debiera desde luego referir las tentativas que el hombre ha hecho para navegar por debajo del agua; pero no han llegado hasta mí, nociones precisas, exactas, de los diferentes aparatos que varios inventores intrépidos han lanzado al mar, con objeto de aplicarlos á la guerra marítima. Sin embargo, las pocas noticias que tengo las haré preceder de las que, sobre el arte de bucear, la Comisión nombrada por la Sección de Ciencias exactas, físicas y naturales del Ateneo de Barcelona emitió en 1860, en su dictamen sobre el Ictíneo.

La campana del buzo es conocida desde la antigüedad: la primera descripción que encontramos está en *Opera problemata*, de Aristóteles, de la cual dice: «Los buzos se proveen de aire haciendo bajar con ellos un vaso de metal boca abajo.»

Más tarde vemos aparecer varias modificaciones en la campana y nuevos aparatos debidos á Marsenne, Fulton, Guyton-Morveau, Montgéry, Johnson, Bauer, Williamson, Payerne, Siéves, Philips, Vizcarrondo y otros. Cada uno de éstos pone una piedra en el edificio submarino: uno dota la campana de estabilidad; otro le asocia campanas pequeñas cuyo aire se vacía en la campana mayor; aquél le da por remate una cúpula de aire comprimido; éste la enriquece con aparatos pneumáticos y tubos conductores de aire, y mientras que otros le colocan en sus costados aposentos de aire comprimido, el P. Marsenne y más tarde Fulton y Johnson, le dan movimientos propios y pretenden utilizarla como máquina de guerra; proyectos que, en nuestros días, han sido propuestos sin ningún éxito por Montgéry, el admirador y biógrafo de Fulton. De los de este siglo, solamente Guyton-Morveau, del Instituto de Francia, y Vizcarrondo, ilustrado brigadier de nuestra Armada, pretenden dotarla de oxígeno comprimido.

«Todos estos inventores se proponen, no la navegación submarina en toda la extensión de la palabra, sino que descansando sus aparatos sobre el principio de que la presión interior sea igual á la exterior, lo más á que han podido aspirar, ha sido destruir barcos enemigos; pero la naturaleza de sus aparatos les hubiera obligado (caso de ponerlo por obra) á no separarse de los fondos de poca sonda, y nada hubieran podido intentar contra barcos anclados en tenederos de cuarenta metros de profundidad, recelosos los tripulantes de alcanzar el fondo, donde la presión les hubiera ahogado. El destino de la campana de *bucear* es el trabajo en las radas, en los puertos y en los ríos; lo demás pertenece á lo que propiamente llamamos *navegación submarina*, á los ictíneos exploradores. He aquí cómo el Ictíneo empieza precisamente donde la campana termina.»

No he podido procurarme las *Transacciones filosóficas* de la Sociedad Americana de Filadelfia, en cuyo tomo IV se dan pormenores sobre el buque submarino de Bushnell, ni las noticias que acerca de Fulton publicó Colden en New-York en 1817; ni la traducción de los *Torpedos* del mismo Fulton que hizo nuestro Núñez de Taboada en París, en 1812, para dar una idea del *Nautilus*; no tengo á mi disposición más que unos ligeros apuntes sobre los trabajos de Fulton que publicó en una obra sobre los cohetes á la *congrève* el capitán de fragata de la Armada francesa M. Montgéry, en París, en 1825<sup>9</sup>. De ellos se deduce, que el *Nautilo* fué ensayado en Ruan, en Abra de Gracia, en Paris y en Brest. Parece que las cuadernas eran de hierro y las cintas de cobre; que su forma era el de un ovaloide bastante prolongado y de seis pies de diámetro, que se movía por remos helizoidales; que llenaba un

depósito de agua para la sumersión; agua que expelía á favor de una bomba para ponerse á flote; que en un globo de cobre de un pie de diámetro llevaba aire comprimido á 200 atmósferas; que el célebre Guyton-Morveau, del Instituto de Francia, entregó una memoria á Fulton sobre los medios de prolongar la respiración de los hombres y la combustión de las luces á bordo de los barcos submarinos, á favor del aire vital (oxígeno) y de la absorción del ácido carbónico. Cuando Bonaparte fué nombrado primer Cónsul, una Comisión compuesta de Volney, Monoe y Laplace emitió un dictamen aprobatorio del proyecto de Fulton. Sin embargo, Napoleón no hizo ningún caso de este proyecto y aun se atrevió á decir que Fulton era un charlatán y estafador. Pasó más tarde á Inglaterra solicitado por el Gobierno de aquella isla, donde no tuvo mejor acogida, pues que á pesar del favor que mereció de Pitt, otro Ministro, el Conde de San Vicente, dijo al mismo Fulton que *Pitt era un necio en fomentar un género de guerra inútil á los que eran los señores del mar, y que adoptándolo debía privarles á ellos de su superioridad.*

Bauer, alemán, intentó iniciar este difícil arte y construyó una nave con la cual se sumergió repetidas veces en las aguas del Báltico; pasó luego á Inglaterra, donde á pesar de sus relaciones con el ilustre Brunel, autor del túnel que pasa por debajo del Támesis, y del Leviatan, no pudo hacer aceptar el proyecto de navegar por debajo del agua; y por último estuvo al servicio de Rusia, de donde salió sin dada huyendo de las malas artes de un Ministro de Marina, que procuró también en España, por medio del embajador ruso en Madrid y del Cónsul general de Cádiz, saber, contra mi voluntad, de qué medios se echaba mano en el Ictíneo para navegar por debajo del agua. Abandonando Rusia, Bauer se restituyó á su patria, donde se inició una suscripción nacional, para cubrir el importe de la construcción de un buque submarino de guerra; la cual debo suponer que no tuvo el éxito que se esperaba, ya que la nave de Bauer no penetra por los senos del mar demostrando la utilidad de sus aplicaciones.

Payerne, en Francia, autor de la bien calculada y perfecta campana de bucear que ha trabajado en las obras del puerto de Cherburgo, presentó en la Exposición de París el modelo de una caldera para quemar carbón á favor del nitrato de sosa y en función de una máquina de vapor con destino á su campana de bucear, que intentaba tal vez transformar en buque, submarino, y que ignoro si ha llegado á las aplicaciones proyectadas.

Posteriormente un alemán llamado Flam, en las costas del Perú, intentó aplicar un barco submarino á la destrucción de nuestra escuadra; en la segunda prueba que hizo no volvió á aparecer á la superficie, quedando en el fondo del mar su desgraciado inventor y tripulantes que le acompañaban. En Mobila, durante la guerra civil de los Estados Unidos, funcionó una nave submarina, que después de varias tentativas infortunadas, en que murieron veinticuatro hombres, logró echar á pique un buque de guerra del Norte y no volvió á aparecer tampoco, sobre el mar, según refiere el *Mechanics Magazine* del 29 de junio de 1866.

Hace tres años que en la misma Francia se construyó un buque submarino que debía andar á favor del aire comprimido; y á pesar de haber indicado graves defectos en su construcción una Revista científica francesa, el Emperador ha señalado una pensión vitalicia á los tripulantes que hicieron las pruebas, y no se ha vuelto á hablar más de este asunto.

Ignoro qué fatalidad pesa sobre la navegación submarina, que en todas partes logra llamar un momento la atención, para ser luego abandonados los proyectos.

Cómo sea posible este abandono, no sé darme la razón; ya que la pesca en general, la defensa de puertos y costas y las investigaciones científicas reclaman el ejercicio de este arte. Si los gobiernos, poco previsores, lo han desdeñado, no han sido ni justos ni sabios. La defensa del territorio, aun en tiempo de paz, reclama sumas enormes para el sostenimiento de un material inmenso; bien podría hacerse algún pequeño sacrificio en favor de un arma que, al mismo

tiempo que cumpliría con aquel sagrado objeto, daría lugar á que se desarrollase la industria submarina, cuyos futuros subsidios pagados á la Nación, no sólo satisfarían el primer sacrificio, sino que podrían sostener después los gastos de los buques submarinos que se destinaran á la defensa del litoral marítimo, á la cual podrían concurrir los mismos ictíneos industriales.

Desde que Fulton mereció el informe aprobatorio de la Comisión de la Academia de Ciencias, debemos creer que la navegación submarina podría contribuir a la defensa de los litorales, á enriquecer las naciones con sus productos, á la par que á las ciencias naturales con el tesoro de las observaciones subacuáticas; sin embargo, ¿se han pasado sesenta años y todavía en Francia, Inglaterra, Rusia, Alemania, Estados Unidos y España no se utilizan proyectos que con igual objeto han propuesto modernos inventores!

Lo que valga el mío podrá deducirse de la exposición sucinta que voy á, hacer de los fundamentos de Arte que, por no encontrarse todavía en todo su desarrollo, no merece más que, la calificación de ENSAYO.

**EL ICTÍNEO.**- Cuando la realización de un pensamiento ha necesitado del favor público, el que lo ha dirigido tiene el deber de historiar los hechos que á la prosperidad y decadencia de la empresa se refieran; y debe hacerlo en todas las ocasiones oportunas, para que llegue á noticia de los que en él se han interesado y reciban la parte de satisfacción que les es debida. Así yo, que he sido favorecido por muchas personas en mi empeño de realizar la navegación submarina, debo, en la presente ocasión, reseñar los hechos más importantes de mi proyecto, las causas que han impedido su completo desarrollo, aunque sea repitiendo algunos conceptos contenidos en las diez Memorias publicadas en el espacio de doce años que, de una manera pública me dedico á la resolución del importante problema de navegar por debajo de las aguas.

Perdóneseme, pues, si en este primer capítulo desciendo á repeticiones y á ciertos detalles históricos de las operaciones de cada uno de los dos Ictíneos; porque si algunos no tienen importancia con referencia á la idea principal que me propongo en este ENSAYO, tienen algún interés relacionados con la marcha de las ideas en general, por los obstáculos que encuentran á menudo y de los cuales el común de los hombres no puede formarse concepto.

Hace doce años que presenté á mis conciudadanos el pensamiento del Ictíneo. Algunos amigos míos comprendieron toda la importancia y trascendencia de la idea, y acogieron mi proyecto, creyendo que podrían superarse los graves obstáculos que se opusieran á su realización.

¿Cuáles eran los medios y recursos, cuáles los capitales propios con que contábamos para una empresa que reclama millones, sabiduría, valor temerario á la par que una prudencia exquisita? ¿Qué se había intentado antes en este terreno que nos pudiese dar alguna garantía de acierto? Y, en fin, ¿quién era yo para atraer voluntades y capitales? Hombres oscuros, desconocidos en los círculos literarios, científicos, industriales y financieros, poseíamos entonces lo que poseemos todavía: una fe viva en el progreso; una fe inquebrantable en el futuro dominio de la Humanidad sobre la Naturaleza.

El Universo está sujeto á leyes á que no puede faltar; la inteligencia no puede dejar de estudiarlas, porque tiene necesidad de conocerlas; cada ley que el hombre descubre le da poder sobre la Naturaleza; si el hombre llegare á conocerlas todas, dominaría por completo el Universo, como domina el calor, la luz, la electricidad, el magnetismo, la afinidad química, el movimiento; la sucesión de conocimientos que adquiere no puede concluir sino concluyendo la inteligencia humana. La fe en estos principios ha sostenido nuestra perseverancia, y el deseo de extenderlos hizo que, desde el principio, difundiésemos por medio de la prensa las bases de

nuestro proyecto á fin de que la masa indiferente de hombres empezase á ver que el Ictíneo podía dominar la Naturaleza en los espacios submarinos, que podía enriquecer la ciencia, aumentar la riqueza común, y arrojar un destello de gloria sobre la patria en las aplicaciones á la guerra marítima.

«Es indispensable que el hombre posea este nuevo mundo, decía en la Memoria que publiqué en 1858; para ello cuenta con los recursos que le ofrecen las ciencias físico-químico-matemáticas, cuyos adelantamientos actuales le proporcionan una atmósfera artificial tan sana como la natural, una luz parecida á la del sol, articulaciones impermeables que facilitan todo género de movimientos y motores cuyo poder es superior al del vapor.

»La resolución del problema de la navegación submarina estriba en la construcción de un aparato que sea capaz de descender dentro del mar, de detenerse donde quiera, de moverse en todas direcciones, de volver á la superficie y de navegar por ella; que pueda estar indefinidamente sumergido sin que esté en comunicación con la atmósfera.

»La primera condición supone que el aparato está cerrado herméticamente, que está fabricado, en parte, de materiales impermeables, impropios para la osmose; que sus medios de comunicación con el exterior impiden la entrada del agua en el aparato; que puede resistir la presión á que debe sumergirse, y que tiene estabilidad.

»El Ictíneo que construyo tendrá estas condiciones: su forma es la del pez, y como él tiene el propulsor en la cola, aletas para la dirección, vejigas natatorias y lastre para estar en equilibrio con el agua desde el momento en que se sumerja. Respecto á su robustez, debo manifestar que puede sufrir una presión constante de ocho atmósferas y por lo tanto que puede descender á cincuenta brazas de profundidad.

[...]

»Si el primer Ictíneo no corresponde á mis previsiones, expondré más tarde las causas que lo hayan impedido, señalando los errores cometidos y la manera de enmendarlos.

[...]

»Si la falta de éxito estribase en el conjunto, abandonaré, mi proyecto, con la esperanza de que más tarde ó más temprano, otro, más feliz que yo, realizará la navegación submarina. Entusiasmado ante los resultados que puede dar, todo sacrificio me parece poco para asegurarla; y si me atrevo á, llamar la atención pública hacia este punto, es porque seguro de los resultados que he obtenido en pruebas parciales que he verificado, quisiera ver á mi lado y ocupados en esta empresa hombres más inteligentes que yo.»

Esto decía en mi primera Memoria sobre tan importante materia. He ido desde entonces cumpliendo mi compromiso de publicar los resultados de mis estudios prácticos en este arte, explicando el estado en que sucesivamente, se ha encontrado mi empresa; y ahora, en el presente ENSAYO, recapitulo lo anteriormente publicado junto con nuevos estudios que someto al juicio de las personas inteligentes.

Al hacerlo experimento cierto embarazo que proviene de la fuerza que me han hecho las recriminaciones de aquellos que creen que he dispuesto del tiempo y de los capitales suficientes para establecer el *Arte de navegar por debajo del agua*. Esta hostilidad ha dado lugar á dudas y á que se manifestase la incredulidad más ciega y pertinaz, incredulidad que ha resistido á todas mis demostraciones en el terreno teórico y en el práctico de las pruebas subacuáticas, y que me ha privado de los necesarios recursos. Por desgracia es corto el número de personas que

pueda dar un fallo inapelable sobre si la navegación submarina es un hecho realizable en todas sus aplicaciones y por los medios que propuse desde un principio, que he perfeccionado después y de que me valgo actualmente; y á pesar de ser pocas, creo no verme privado de su dictamen: para ellas en especial he redactado este ENSAYO.

Construído el primer Ictíneo á que hacen referencia los párrafos anteriormente transcritos, fué botado al mar en 28 de junio de 1859. Media exteriormente siete metros de proa á popa, tres y medio de la quilla á la cúpula ó escotilla, y dos y medio de manga. La cámara interior era cilíndrica y de sección elíptica; el diámetro menor estaba sostenido por barras de hierro longitudinales y estribos transversales: esta cámara media escasamente siete metros cúbicos y podía contener una tripulación de seis hombres.

Se lanzó al agua con muy poca fortuna, recibió cinco cabezadas que inhabilitaron las vejigas de flote, se rompieron los forros impermeables y algunos cristales. La avería fué de consideración y había concluido los recursos pecuniarios; pero después de un examen prolijo, quedé convencido de no haber inconveniente en hacer sumersiones, con tal de que tuviesen lugar en una profundidad que no fuese mayor de veinte metros.

Lo importante en esta cuestión consistía en saber si el Ictíneo reunía las cualidades que yo le atribuía; si los hombres que debía llevar estarían tan bien trabajando dentro del mar como bien habíamos estado en tierra, encerrados herméticamente; en una palabra, si el Ictíneo descendería y volvería a la superficie, si permanecería entre dos aguas y navegaría tan bien en ellas como por la superficie y por el fondo. Si en la verificación de todos estos movimientos y en la prolongación indefinida del sostenimiento de la vida debajo del agua, consiste la navegación submarina, es claro que el objeto principal de ella quedaba cumplido.

Hice un gran número de experimentos y en su conjunto dieron resultados satisfactorios. Y pude luego decir: «El Ictíneo baja y sube, anda y vira en la superficie, entre dos aguas y en el fondo del mar. El hombre vive tan bien dentro del Ictíneo como en plena atmósfera. La navegación submarina, pues, es un hecho.»

En 23 de septiembre del mismo año pude hacer una prueba pública: estábamos ya acostumbrados á dominar el Ictíneo, para poder invitar a las Autoridades, personas facultativas, periodistas y pueblo de Barcelona. De los felices resultados del ensayo dieron cuenta los diarios de la ciudad.

Estos primeros los verifiqué con las peores condiciones que pueden darse, como son los de un Ictíneo que, hacía agua; que no tenía vejigas de flote; con cristales rotos y en unas aguas sucias que impedían ver los objetos del suelo, aun estando metido el barco como un metro en el fango.

Después del ensayo del 23 de septiembre reparé las averías y continué las pruebas hasta la última que hizo el primer Ictíneo, que tuvo lugar el día 7 de mayo de 1861, en las aguas de Alicante, ante los Ministros de Marina y Fomento y una comisión de Diputados y Senadores y de miembros de la Academia de Ciencias de Madrid. En esta prueba, de que dieron cuenta los periódicos de la época, el Ictíneo navegó perfectamente, á pesar de la alteración de las aguas; pues había mar de fondo y la corriente y el viento de Levante.

En esta primera época de la navegación submarina, era tal nuestra pasión por ella, que emprendíamos muchos de los ensayos exponiéndonos al doble peligro de la asfixia por falta de oxígeno y por sobra de ácido carbónico; riesgos que de hoy en adelante no deberán correr los exploradores submarinos. Entonces no había descubierto yo todavía el medio de producir oxígeno dentro de la misma cámara del Ictíneo y á medida de las necesidades de los

exploradores, ni se conocía el de extraerlo del permanganato de potasa, ni el de desarrollarlo de una mezcla de bióxido de bario y bicromato de potasa á favor del ácido sulfúrico; así es que llevaba el oxígeno almacenado en depósitos; y como era algo engorroso producirlo, comprimirlo y llevarlo al Ictíneo, preferíamos algunas veces abandonarnos á los azares de las pruebas, cuyo tiempo procurábamos acortar en lo posible, sin otro aire que el contenido naturalmente en nuestra cámara, y sin otros instrumentos de análisis que los efectos mismos producidos en nuestra organización, por el aire impuro que circulaba disuelto en nuestra propia sangre.

En este primer Ictíneo desde 1857 hasta 1862, se empleó, en la construcción y experimentos anteriores y en las pruebas, planos y viajes, la cantidad de veinte mil duros.

El segundo Ictíneo, empezado en enero de 1862, fué botado al mar en 2 de octubre de 1864. Mide exteriormente diez y siete metros de proa á popa, tres y medio de la quilla á la parte superior de la cúpula y tres metros de manga. El casco interior ó parte resistente, tiene la forma de un elipsoide de revolución prolongado, cuyos vértices constituyen la proa y la popa: el mayor eje interior es de catorce metros y el menor de dos metros. La capacidad interior de esta cámara es de unos veintinueve metros cúbicos; está construido de cuadernas transversales y circulares, de madera de olivo, sobrepuestas y amadrinadas en toda la longitud del elipsoide, la madera es escogida y sin defecto alguno, y su espesor de diez centímetros: estas cuadernas están revestidas exteriormente de cintas de roble longitudinales de seis centímetros de espesor y sobre estas cintas hay un forro de cobre de dos milímetros de grueso, cuidadosamente colocado, á fin de hacer el elipsoide impermeable á las mayores presiones que pueda resistir.

El conjunto afecta exteriormente la forma de un pez de diez y siete metros de largo; desde el centro á la proa, las secciones son circulares; pero hacia popa se van estrechando en forma elíptica hasta el codaste.

Los movimientos de traslación y de virada se obtienen por medio del hélice propulsor y el timón, cuando el Ictíneo está á la vía, y cuando está parado vira á favor de dos hélices laterales colocados en la parte superior, en popa, é inclinados de 45° sobre la horizontal.

La tripulación se componía de veinte hombres, diez y seis de los cuales han estado hasta 1866 destinados á servir de motor.

Este Ictíneo puede navegar por fondos de cuarenta á sesenta brazas, habiéndolo probado por treinta metros de profundidad. Ha hecho ensayos como barco de guerra, y en este terreno ha practicado las más difíciles operaciones que pueden exigirle á una nave submarina: ha tirado cañonazos desde debajo de agua, y cargando siempre en el fondo del mar un cañón corto, giratorio sobre sus muñones, de alma lisa, de sesenta centímetros de eje y diez de diámetro, con carga de un kilogramo de pólvora.

Á pesar de ser ésta, época de formidables armamentos marítimos, estos ensayos no llamaron la atención del Gobierno; en vista de lo cual dejé los estudios prácticos de guerra, que pudieran ser de grande utilidad á las naciones que, como la España actual, no pueden encontrar grandes recursos para los armamentos marítimos. Por lo demás, en los mencionados ensayos observé lo siguiente: en el acto del disparo, á pesar de la menor resistencia que encuentran los gases en su dirección que es la vertical, la reacción es muy violenta en todos sentidos, en términos que destrozó los cuarteles de cubierta del Ictíneo, rompió tornillos de treinta y dos milímetros de diámetro y abolló las vejigas de flote. Adviértase, empero, que tan violentas y repetidas reacciones no afectaron en modo alguno el cuerpo resistente, la cámara submarina, sino sólo su obra muerta. La boca del cañón en el acto del disparo está junto á esta misma obra muerta y puede estar muy separada de ella y evitarse las averías.

Hicimos pruebas de respiración permaneciendo largas horas incomunicados; pruebas que siempre fueron interrumpidas por otras necesidades que las promovidas por el deseo de gozar del aire natural, las cuales, en Ictíneos pequeños, no es muy cómodo disponer de sitio á propósito para satisfacerlas.

Aparecieron uno tras otro, bastantes defectos, y entre ellos la oxidación de los tornillos de hierro que interpolados con otros de bronce sujetaban los fondos impermeables; advertimos esto en una prueba de resistencia á treinta metros de profundidad; en el espacio de un minuto la cámara interior embarcó una tonelada de agua.

En reparaciones y correcciones pasamos hasta el mes de septiembre de 1865 en que, en medio de la peste que afligía á Barcelona, se empezaron las sumersiones que nos vinieron á patentizar que cuanto habíamos corregido en el hélice y maquinaria interior no había mejorado la velocidad del Ictíneo, el cual, movido por diez y seis hombres, andaba sólo á razón de medio metro por segundo. Con tan escasa marcha no me atreví á acometer todas las aplicaciones del Barco-pep, salvo las referentes á la guerra marítima, de que he hablado.

Ya desde diciembre de 1864 observamos que el Ictíneo no alcanzaba en la marcha la velocidad de dos millas y media por hora, velocidad indicada por los cálculos, y bastante para vencer las corrientes ordinarias; procedí sin demora á la continuación de los estudios prácticos que tenía comenzados sobre ciertos motores, con el propósito de aplicar el más ventajoso á los futuros Ictíneos y en especial á los destinados á largas exploraciones submarinas. Empleé todo el año de 1865 en los referidos estudios prácticos: y me fijé especialmente en la producción de calórico á favor de combustibles y comburentes empleados en estado sólido, y cuyos productos principales no fueren gaseosos.

La aplicación del calórico como motor, tiene la ventaja de poder ser aplicado á una caldera de agua y de no tener que inventarse receptor alguno de la fuerza, sino aceptar el de todos conocido, la máquina de vapor, tal cual funciona hoy día; tiene, sin embargo, el inconveniente de elevar la temperatura de la cámara. Para remediar lo cual no hay otro recurso que cubrir la caldera, los conductores del vapor, la máquina y las paredes de madera del Ictíneo, de tubos de pequeño diámetro, resistentes y delgados, por los cuales circule el agua de abajo hacia arriba, para trasladar al mar el exceso de calor que no podría pasar á través de la cámara, por ser la madera mal conductor de este fluido.

En la construcción del motor, en su instalación á bordo, en las reformas interiores del Ictíneo y en vencer contratiempos de todo género, empleamos tres años que finieron con el mes de octubre de 1868, en que hicimos pruebas perfectamente acabadas del motor submarino. Tal vez hubiera sido mejor no dejarme seducir por la gran ventaja que me ofrecía el motor y emprender con la fuerza de la tripulación las aplicaciones á la pesca del coral; porque llevar la máquina de vapor al fondo de los mares, ofrecía más dificultades que su aplicación de la navegación flotante y á los ferrocarriles.

Por ello se me hacen cargos, y creo que son justos, desde un punto de vista especial; sin embargo, ni aun ahora puedo colocarme en él. Se quería que teniendo yo un poderoso motor navegase con la sola fuerza muscular; ¡que entregase á las profundidades del mar diez y seis hombres y un Ictíneo, pesado en la marcha, negándoles la fuerza necesaria para luchar con los peligros! Después de haber buscado durante *doce años* esa fuerza que sustituye con tantas ventajas la de nuestros brazos, ¿podía yo diferir su aplicación á un tercer Ictíneo, exponiéndome á perder el segundo por falta de fuerza? Si por esta falta, y sólo por ella, me hubiese arrojado una corriente submarina á un laberinto de escollos, rocas y cuevas como se encuentran en los criaderos de coral, ¿no se perdía por mucho tiempo toda esperanza de nuevas tentativas en esta clase de navegación? ¿Dónde están mis sucesores en el Ictíneo? ¿Los que

pueden reemplazarme hubieran quedado conmigo en el fondo del mar, y la empresa aniquilada? ¿Acaso conocemos nosotros, ni nadie, esas, profundidades para despreciar la fuerza de la máquina de vapor? Precisamente los entendidos me hacían el cargo de no saber encontrar un motor inanimado para el Ictíneo; y este cargo también era injusto, porque si hasta el siglo pasado no supo la Humanidad aprovecharse del vapor, ¿cómo era posible que yo, solo y en poco tiempo, hallara una feliz sustitución de lo que ha costado, si no desde Heron de Alejandría, desde Papin, tantísimos años de investigaciones y estudios á los hombres sabios?

Perfeccionado el fuego submarino, concluídas las pruebas en octubre de 1868, empeñado mi crédito y agotados los haberes de algunos amigos míos; impidiéndome el estado de los negocios públicos y el político de la nación, levantar empréstito alguno y celebrar contrato que me proporcionara fondos, no pude hacer otra cosa que reunir mis notas, estudios y experimentos, ordenarlos, escribir este trabajo para intentar luego, si consigo de algún Estado, la aplicación del Ictíneo á la defensa y ataque de puertos y costas.

He aquí doce años transcurridos y cien mil duros gastados, sin otro fruto, si la fortuna continúa adversa, que la redacción de este ENSAYO. Es por cierto bien caro precio el de un proyecto de navegación submarina, si ha de quedar olvidado como el de Fulton, y si, como el de Fulton también no puede servir, por falta de publicación, de punto de partida para el futuro descubridor del mundo de las aguas.

Un inventor es un pobre aprendiz de un arte que no tiene maestros; sus herramientas son sus facultades intelectuales; y las materias á que debe dar nueva forma y nueva vida, son las verdades patrimonio de las generaciones pasadas. Todos, en este sentido, somos más ó menos inventores; todos trabajamos procurando dar otras manifestaciones á las verdades adquiridas, y es en este caso cuando sentimos la necesidad de la atención y de la indulgencia de los demás. Y es que sintiendo que creamos, sentimos que somos débiles y como tales necesitamos del apoyo de nuestros semejantes, y si éste nos falta, nos lamentamos, y á mi parecer con justicia; porque todos, grandes y pequeños, trabajamos por el bien común, el cual radica en el imperio del hombre sobre la Naturaleza.

Perdóneseme, pues, si á las recriminaciones de los que creen que he dispuesto de capitales suficientes para lograr industrial la navegación submarina, y que piensan que inventar es cosa tan fácil como practicar lo conocido, se me ocurre oponer la citación de nombres ilustres, cuya vida de algunos he estudiado y de quienes he recibido estímulo para seguir en mi empresa.

Walt empleó diez y siete años y doscientos cincuenta mil duros en hacer manual y de general aplicación la máquina de vapor Jacquard, durante quince años, ejerció su fecundo ingenio para lograr que el tejido imitase los cuadros de la pintura al óleo; Niepce y Daguerre consumieron veinte años en la creación de la fotografía y en convertirla en un arte fácil y al alcance de todo el mundo; la locomotora necesitó, para adquirir la perfección reclamada por la velocidad en los ferrocarriles, veintisiete años; la fabricación de papel continuo no logró ser industrial sino después de treinta y cuatro años de ensayos en Inglaterra, Francia y Alemania; la iluminación por el gas no pudo desarrollarse sino mediante el largo espacio de cuarenta y cinco años y con respecto á la telegrafía eléctrica, desde las indicaciones de Franklin, las comunicaciones eléctricas entre Madrid y Aranjuez en 1797, por Betancourt, y los perfeccionamientos del Dr. Salvá en Barcelona, hasta el telégrafo eléctrico de Veatstone en Inglaterra, de Stenhiel en Alemania y de Morse en los Estados Unidos, ¡transcurre más de medio siglo!

Si á pesar de conocer estos y otros ejemplos, y sobre todo, los de inventores poco afortunados, he confiado en demasía en mis fuerzas y en las de mis generosos amigos; si he visto siempre cercana la hora de la realización de mis proyectos, si igual confianza he



inspirado á mis consocios, y todos hemos creído en la adquisición inmediata del mundo submarino, es porque las empresas elevadas, como los grandes centros de gravedad, tienen el privilegio de atraernos por fuerzas poderosas desconocidas, que nos imprimen un movimiento de día en día más rápido. Es verdad que en nuestro deseo de llegar pronto, nos hicimos la ilusión de ir directamente, á nuestro destino; ¡creímos que el medio social, en que vivimos aceleraría nuestro movimiento y que no aparecerían esas fuerzas repulsivas que tienden á alejarnos del centro de nuestras aspiraciones!

Grande es la empresa de la navegación submarina; porque sostiene la vida del hombre aislado de la Naturaleza, sin participar de su benéfico influjo más que por ciertos fenómenos que se nos revelan por el movimiento, como la gravedad y el magnetismo; porque lejos de las influencias solares y atmosféricas, de las emanaciones y vista de los campos y praderas, resuelve el problema de vivir en el caos, á favor de las mismas leyes de la Naturaleza, que el hombre obliga á obrar en el vehículo que le transporta.

Todas las obras humanas han contado hasta ahora con una base de sustentación y con abundancia de aire atmosférico; en navegación submarina no tenemos ni sustentación, ni aire, ni luz naturales; estamos encerrados en una cámara que debe penetrar por un medio oscuro, donde debemos combatir con corrientes y fuerzas que no conocemos, con enormes presiones, sin que podamos esperar ningún auxilio exterior; y sin embargo, vivimos en esta cámara, nos sostenemos en ese medio, iluminamos ese caos, y al fin, venciendo corrientes y presiones, llegará el hombre á conocer este nuevo mundo, última parte de la costra terrestre, sustraída á sus dominios.

La resolución de este problema, reclama grandes cualidades de espíritu en su iniciador y en su nación irresistibles aspiraciones al dominio de la Naturaleza. Desde el principio de mi empresa y presintiendo los obstáculos que, acaso pudiera encontrar, recurrí al sentimiento público en beneficio de la idea del Ictíneo, que la Humanidad tiene el mayor interés en realizar.

En efecto; estudiar las leyes naturales en el fondo de las aguas; los países submarinos, su fauna y su flora, la acción de los fluidos imponderables, la estructura de sus terrenos y montañas y sus desconocidos tesoros, me parece una empresa digna de los pueblos modernos. Temiendo no poder desarrollaría en todas sus partes, procuré fijar el afán de adquirir, natural al hombre, indicándole los corales, las perlas, el ámbar, las esponjas, que, ocultas por las aguas hoy, y visibles por los Ictíneos enriquecerán á las empresas submarinas: debí probar al Gobierno que las naves submarinas serán armas poderosísimas de guerra marítima; porque ya se estableciera con uno ú otro motivo la navegación subacuática, quedaba perpetuado su uso, se perfeccionaba el Ictíneo para aplicarlo en lo venidero al conocimiento de las mayores profundidades del mar.

¿Qué importaba en este caso la mayor ó menor profundidad y variedad de conocimientos del autor del proyecto, su fácil ó tardía, su resistencia más ó menos poderosa en las luchas porfiadas que ofrecen la dominación de la Naturaleza y la persuasión de los hombres? Me pareció que suplían mis débiles fuerzas, el amor á los progresos de las ciencias, al perfeccionamiento físico y moral del hombre, y sobre todo mi ardiente entusiasmo por empresas tan importantes y difíciles como la conquista de sitios inaccesibles á la organización física del hombre. Desde 1859 en que hice los primeros viajes por debajo de agua, reconocí ser poco yo para tan grande empresa; y por eso en la segunda Memoria que publiqué, en 1860 y en las sucesivas, reclamé el auxilio de los sabios, de los capitalistas y del Gobierno: he ido dando cuenta siempre al público del estado en que se encontraba el Ictíneo, de las pruebas que verificaba, de los estudios prácticos sobre el motor submarino; manifesté mis deseos de hacer del Ictíneo una empresa nacional. ¡Ardua empresa! Tanto como la del mismo Ictíneo. Si el

intentarlo ha sido calificado de insensatez por muchos, para mi téngolo como meritorio, ya que á la esperanza de conseguirlo debo los estudios que hoy puedo presentar al público.

Aunque pocos, no deben desmerecer la atención de los sabios, y más, seguro como estoy de que su meditación podrá engrandecerlos hasta llevar la navegación submarina á aquel grado de esplendor de la marina flotante, viva representación de la prosperidad de las naciones modernas. Mas si aun consagrando mis últimas fuerzas á una idea provechosa, no logro su triunfo, quedará al menos este ENSAYO como semilla que las lluvias y el calor del porvenir deben desarrollar.

«En todos tiempos -dice el inmortal Arago- el hombre se ha dejado dominar por la rutina, por una tendencia invencible á apreciarlo todo *a priori*, desde las alturas de su vanidad, de su falsa ciencia; las verdades, las invenciones más útiles no llegaron jamás á ocupar el sitio que legítimamente les correspondía sino á viva fuerza y por la intervención perseverante de algunos espíritus selectos.»

Si en el trabajo que presento se encuentran vacíos y estudios incompletos; si, por ejemplo, no hay un solo análisis de las reacciones entre productos del reino mineral, reacciones que empleo como motor submarino; si los experimentos sobre la resistencia de los cilindros compuestos de generatrices arqueadas son tan pocos que no me hayan permitido encontrar la ley de su resistencia á la presión; si no he podido llevar la práctica de la máquina de vapor á largas excursiones submarinas; en una palabra, si este ENSAYO no es todavía un *Tratado del Arte de navegar por debajo de las aguas*, débese casi exclusivamente á la falta de fondos y de adherentes poderosos.

## Importancia de la navegación submarina

**IMPORTANCIA EN LA GUERRA MARÍTIMA.**- Al hablar de la importancia de la navegación submarina, se ocurre inmediatamente el nombre de Fulton que la ensayó con el solo propósito, al parecer, de aplicarla á la guerra marítima.

En efecto: entre las pruebas que hizo, se citan aquellas en que intentó echar á pique embarcaciones flotantes por la explosión de torpedos que, antes de estallar, dejaran á la nave submarina el tiempo necesario para alejarse. Si á principios de este siglo, esto es, cuando aún no se habían inventado los barcos acorazados, ni el mismo Fulton había aplicado la máquina de vapor á la navegación, los torpedos dirigidos por naves subacuáticas constituían una de las mejores armas para la defensa de los puertos; ahora que la marina de guerra no sólo cuenta con el vapor y la coraza, sino con cañones de grande alcance, son más que nunca necesarias las armas submarinas.

Las mismas naciones en que Fulton propuso estos medios de defensa, son las que allora establecen Escuelas de torpedos: en efecto; los Estados Unidos, Inglaterra y Francia que no hicieron caso de la navegación submarina con aplicación á la guerra marítima, son las primeras que se inclinan hacia la adopción de los torpedos; sin embargo, ninguna de ellas todavía ha pensado en la utilización de los barcos submarinos para este objeto.

Los torpedos son cajas de pólvora destinadas á estallar junto á un barco enemigo para destruirle. Los hay submarinos y flotantes; los más temibles son los que ocultos por las aguas, pueden reventar en el momento preciso en que el barco pase por encima de ellos; éstos, ó son automáticos, es decir, se disparan por la acción del andar del mismo barco que ha de ser destruído, ó son eléctricos, y en este caso estallan á favor de una corriente eléctrica dirigida desde tierra, en el instante en que el buque atraviesa el área que ocupan los torpedos.

Omitimos hablar de los flotantes fijos porque pueden ser vistos por el enemigo, y por lo tanto no son temibles. En cuanto á los flotantes dirigidos desde tierra ó desde una embarcación, el enemigo dispone de medios para evitarlos: puede separarse de la línea de dirección que lleven, si van sueltos; y si acompañados de una embarcación, ésta puede ser destruída antes de disponer de la ocasión oportuna para cumplir su objeto.

En cuanto á los submarinos fijos se me ocurren algunas observaciones que tienen su importancia. Desde luego reconozco su eficacia cuando se pretenda impedir la navegación por un río, ó defender todo paso estrecho del mar, ya sea entre costas, islas, escollos y bancos; porque están señalados los sitios por donde, debe pasar el enemigo; mas si desde las aguas libres inmediatas á los puertos, alcanzan los cañones las ciudades y arsenales que se pretenden defender con torpedos, no será fácil lograr el objeto. Con dificultad desde tierra podrá saberse cuándo el barco ó escuadra enemiga pase por la zona de acción de los torpedos; podrá el contrario no pasar por la línea de éstos, y por consiguiente la defensa de la plaza no es segura como el ataque. Cuando se instaló la Escuela de torpedos en los Estados Unidos, me dirigí á aquel Ministro de la Guerra proponiéndole el Ictíneo como medio apropiado para conducir los torpedos contra los buques, y me contestó que no necesitaban de mis servicios; una contestación parecida merecí del Gobierno español en 1859 y 1861; y es muy posible que en todas partes los inventores de aparatos submarinos hayan recibido respuestas análogas.

Sin embargo, la importancia de los Ictíneos como máquinas de guerra, para nadie puede ser dudosa. Un Ictíneo puede navegar teniendo sólo dos, tres ó cuatro metros de agua que le separen de la superficie; en esta situación es invulnerable, porque una bala de á 68 tirada bajo un ángulo de 20° sólo penetra unos sesenta centímetros dentro de agua<sup>10</sup>; un tubo telescópico vertical puede trasladar por reflexión á una cámara oscura las imágenes de la escuadra ó del buque de guerra que se intente atacar; por lo tanto el Ictíneo, siempre velado por las aguas, puede dirigirse al enemigo, que está viendo á favor del tubo de reflexión, y por consiguiente puede destruirlo por medio de un torpedo que le dirija, ó de un cañonazo en el timón y propulsor.

Si se trata de atacar un puerto, el Ictíneo puede incendiar las naves ancladas y aun los arsenales y ciudades que estén al alcance de los proyectiles inflamables.

Si se pone la atención en la senda recorrida por el ataque y defensa de los litorales desde el navío de madera, el barco de vapor, el acorazado, ariete, monitor, hasta llegar al torpedo, se nota (como decía en el decano de la prensa periódica de esta ciudad, un amigo mío, en uno de sus artículos sobre el Ictíneo), que así como la defensa desde tierra se va agachando sustituyendo la tierra ó arena á las murallas de piedra, en el mar la defensa y ataque de los puertos hace lo mismo; y si este sistema de defensa es bueno, nada más lógico, concluía mi amigo, que oponer á los barcos acorazados la coraza de agua que cubre los Ictíneos; los cuales podrán atacar y destruir á las naves blindadas y defender así con más eficacia los puertos y ciudades marítimas.

El torpedo es un arma esencialmente submarina, y al adoptarla se sentirá la necesidad de dirigirla matemáticamente al punto en que debe producir su efecto. El barco submarino y el torpedo han nacido á un tiempo y en un mismo cerebro; ambos se completan para la guerra marítima; y la adopción del torpedo sin el barco-peza que lo dirija, equivale a escoger buenas semillas para sembrarlas en campos eriales.

La opinión en los Ministerios de Marina apadrinando los torpedos, después de haber pasado por los monitores y las torres de hierro, hace presumir que no está lejano el día en que se fije, en los Ictíneos; los cuales, de la misma manera que pueden despedir torpedos á menos de cien metros de distancia de los barcos contrarios, igualmente son á propósito para levantar hasta la superficie un cañón que á pesar de ser ligero, pueda arrojar balas capaces de atravesar corazas y de inutilizar cuando menos el timón y propulsor de la nave blindada.

Si en una guerra, el enemigo intentase destruir, por ejemplo, nuestra hermosa ciudad de Barcelona, y si se adoptase como uno de los medios de defensa el empleo de los torpedos, debieran éstos colocarse bastante lejos de la playa; porque los buques no se acercarían lo bastante que se expusieran á ver sus corazas perforadas por los fuegos de nuestras baterías. Deberíamos para producir efectos desastrosos en la escuadra, sembrar un grande espacio de torpedos, y aun así, fuera posible que no consiguiésemos nuestro objeto. Si este medio de destrucción fuese encomendado á los Ictíneos, saldrían del puerto cubiertos por las aguas; nada indicaría á los contrarios el peligro que corrieran; sólo un tubo de menos de veinte centímetros de diámetro aparecería ya á flor de agua, ya sumergido, según el estado del mar: á favor de este tubo de que difícilmente podrían aperebirse los contrarios vería el jefe del Ictíneo perfectamente á ellos, á los cuales podría dirigirse para causarles el mayor daño que sus armas alcanzasen.

Conozco los Monitores de los cuales vi un ejemplar en el *Miantonomoah* que visitó el puerto de Barcelona en 1867. De ellos se ha dicho que casi indican la necesidad de crear una atmósfera artificial para los tripulantes; y el almirante, francés M. E. Paris intenta reformarlos hasta el punto de darles mucha más manga y levantar sobre cubierta un apéndice

estrecho de seis metros de altura, para procurar desahogo y seguridad á las tripulaciones que en la actualidad enferman de hastío, calor y de respirar un aire sobrecargado de humedad.

El *Miantonomoah* es un buque de gran manga con dos torres giratorias, armadas de cuatro cañones de gran calibre, capaces de arrojar balas de seis quintales de peso. Esta clase de buques tienen por objeto principal la defensa de puertos, ya que con mar un poco gruesa, según afirman los hombres del arte, no puede dar tiros de caza ni de retirada, por sumergirse la proa y la popa hasta entrar el agua por las por las de las torres.

Limitados á la defensa de los puertos y teniendo que admitir el combate con los buques de golfo, presentándoles éstos la proa blindada, no pueden recibir daño de los Monitores, ya que sus tiros con dificultad alcanzarán una normal á las curvas de las proas, que con este intento se hacen agudas. Al contrario, siendo las torres de los Monitores, cilíndricas, los proyectiles pueden atravesarlas con mayor facilidad, ya que de cualquier punto que salga el tiro, puede ser normal al cilindro; y si tan resistente es el forro que lo defiende, puede ser al menos chafado y desligado y la torre sacada de quicio ó inutilizado su movimiento de rotación<sup>11</sup>. Al fin, un Monitor es un enemigo visible con quien se puede combatir, y contra el cual la destreza del buque de puente, puede mucho, hasta pasarle por ojo hundiéndolo en el mar. Nada pudieron contra la escuadra española en el Pacífico los dos Monitores que defendían el Callao, á pesar de ser de madera la fragata *Almansa* que los combatía, faltando así á la defensa del puerto, único fin de estas construcciones navales. Sin embargo, estando revestidas de hierro y presentando poco blanco al tiro, sirven de grande estorbo á la escuadra que intente la destrucción de una plaza.

La defensa de los puertos limitada hasta ahora á la línea de tierra, va revestida de hierro penetrando en el mar, á fin de impedir que alcancen la plaza defendida los proyectiles enemigos; y á medida que adelanta, tiende á cubrirse con el mismo fluido que la sustenta. En efecto, del Monitor podríamos decir que pretende ocultarse bajo su propia línea de agua el *Miantonomoah* sólo sobresalía ochenta centímetros. Mas como el enemigo encuentra todavía suficiente espacio para herir, no satisface del todo este medio de defensa, y se busca ya en los torpedos, el arma submarina que debe defender los puertos de los buques acorazados de gran porte. -He aquí el camino recorrido por la defensa: ha pasado de las murallas de granito elevadas á las baterías rasantes, de éstas á los Monitores y luego á los torpedos. Es necesario fijarse en este hecho para poder apreciar, desde el punto de vista de la defensa, la importancia de la navegación submarina.

Si es útil disminuir el blanco de la defensa el Ictíneo no presenta ninguno; si es útil el blindaje, el Ictíneo se cubre del mismo mar; si tiene eficacia el torpedo, el Ictíneo extiende su esfera de acción dirigiéndolo sobre el contrario y revienta cuando el daño que puede causar es cierto.

He aquí cómo en esta, al igual de todas las obras humanas, se va poco á poco á la perfección; perfección siempre tardía y costosa que hace la desdicha del que se adelanta un poco en la marcha lenta de los progresos.

Aquellos títulos abonan la empresa de la navegación submarina, y los creo tan valederos, que no sé atinar por qué desde Fulton no ha tomado el lugar que le corresponde entre las conquistas de este siglo.

¿Qué puede una escuadra blindada contra una ciudad defendida por naves poderosas invisibles que hieren cuando el enemigo se cree seguro y contra las cuales son inútiles defensas las corazas y las maniobras? ¿Qué daño puede recibir un Ictíneo cubierto por un muro líquido de cuatro metros de espesor? Presenta á la lumbre del agua un tubo giratorio de pequeño

diámetro que traslada por reflexión en la cámara oscura del Ictíneo las imágenes exteriores; el jefe, de la nave submarina ve la escuadra contraria, espía sus movimientos, la espera ó se dirige á su encuentro; da caza, tal vez, á la capitana, á la que lleva la enseña del Almirante, y cuando la tiene á tiro, á cien metros de distancia, levanta un cañón ó torpedo á flor de agua y acaso la echa á pique.

¿Qué puede hacer una escuadra que se ve así atacada, más que retirarse? No hay valor que resista, porque no hay defensa posible: ignorando dónde está su enemigo, sólo sabe de su existencia por los golpes que recibe.

«Los americanos -dice Montgéry<sup>12</sup>- pretenden que los ingleses en sus últimos cruceros sobre la costa de América, se informaban con ansiedad de las empresas de Fulton y del lugar de su residencia; la ciudad de New York, que éste habitaba, á pesar de poder ser atacada y fácilmente destruída por navíos de guerra, fué respetada por los ingleses... Es probable que si se hubiese prolongado la guerra, las armas submarinas hubiesen inspirado algo más que vanos temores.»

Antes que los Monitores y la Escuela de torpedos se establecieran en los Estados Unidos, el primer Ictíneo había navegado por debajo de las aguas; poco después del primer combate entre buques blindados, entre el Monitor y Merrimac, hice las pruebas de guerra; y los planos del cañón submarino y del Ictíneo que lo llevaba, fueron entregados al Gobierno español años antes que Ericson realizara su Monitor; construcción naval más cara y más peligrosa que un Ictíneo, que defiende con menos eficacia que éste un puerto, y, bajo todos aspectos, de una importancia inferior, ya que la guerra es un accidente en las naves submarinas.

El Monitor rompe con las tradiciones científicas de la marina, que tanto prestigio ha adquirido por sus viajes de circunnavegación, enriqueciendo las ciencias físicas y llevando la civilización á todas partes.

El Monitor, inútil para las artes y las ciencias, ha venido á ocupar el puesto que lógicamente correspondía al Ictíneo, anterior á el y á él superior en la guerra y en la paz. Con lo que vale un Monitor podría construirse un Ictíneo capaz para navegar por quinientos metros de profundidad, el cual, además de contribuir al establecimiento de una nueva industria y á la defensa nacional, empezaría, por desarrollar el vasto lienzo de la geografía submarina, que tanta gloria encierra para los hijos de una patria, que, en tanto que hombres existan, brillará por el descubrimiento del Nuevo Mundo.

**IMPORTANCIA INDUSTRIAL-** Esta se refiere á la extracción del coral, de las perlas, del ámbar, de las esponjas, y á la pesca en general: me limitaré al primero por ser abundante en nuestras costas.

Estaba arraigada todavía á principios del pasado siglo, la opinión de que el coral era una planta; cuando Peyssonel, médico de Marsella, fué á las costas del Africa á vivir entre pescadores, para estudiar la naturaleza y formación de esta piedra arbórea, tan estimada de los pueblos orientales, que con tanta profusión vive en los fondos del mar y que con tanta pena y trabajos arráncanla y súbenla á la superficie centenares de embarcaciones y marineros que se dedican á esta penosísima faena. De los estudios de Peyssonel y de que nos da cuenta Lacaze-Duthiers, resultó ser el coral un eje lapídeo que ciertos animalillos van segregando. A pesar de las demostraciones de Peyssonel, sabios como Remour negaron la naturaleza animal de este producto, y sólo después de las observaciones de B. de Fussien, Guettard y del mismo Remour reconocieron la verdad de las observaciones de Peyssonel; sin embargo, no se le hizo completa justicia, ya que á los nombrados sabios se atribuyó casi exclusivamente el mérito del descubrimiento.

Lacaze-Duthiers, en su *Historia natural de este pólipo* (publicada en París, en 1864), dice que se presenta como un saco terminado en tubo transparente, coronado por ocho brazos con franjas; la parte inferior del saco contiene ocho paleos ó casillas que corresponden á los ocho brazos ó tentáculos, los cuales pueden entrar, volviéndose al revés, dentro de dichas celda.

El coral se presenta en malas ó arbustos; cada ramo es una colonia compuesta de pólipos; cada uno de éstos en su mayor desarrollo tiene la apariencia de una flor en su cáliz; los ocho brazos parecen las hojas de una flor; en el centro de ésta se distingue la boca y debajo el estómago y órganos de reproducción todo en una pieza. La colonia de pólipos está unida por una piel carnosa que envuelve el eje lapídeo.

Cada pólipo comunica con los demás á favor de varias membranas y sistemas tubulares, por los cuales circula un líquido lechoso, que algunas veces contiene huevos poco desarrollados y espermatozoides. Así que, hay una existencia individual para cada pólipo y otra común á toda la colonia.

En un mismo tronco ó mata de coral, hay ramas que contienen exclusivamente pólipos machos, otros exclusivamente hembras, y de ordinario en uno mismo existen ambos sexos. Además hay pólipos hermafroditas.

La época de la reproducción es el verano y parece que la temperatura de 12 á 15° es la más propia para esta función en los acuarios y se ignora cuál sea la más propicia en fondos de 10 á 200 metros, donde se cría. Los espermatozoides se distinguen por tener la cabeza grande; fecundan los huevos en el seno de las madres, pues los pólipos son vivíparos. Las larvas están sobre treinta días dentro del mismo ovario; salen por la boca de la hembra, y por la boca también del macho salieron los espermatozoides.

Las larvas se parecen á gusanos pequeñísimos en forma de pera, cuya parte más abultada y menos densa se fija en las rocas abovedadas á favor de una materia mucosa. En cuanto está fijada, se transforma en pólipo; luego la parte carnosa de éste se extiende á su alrededor adhiriéndose á la roca, y en cuanto ha adquirido suficiente desarrollo produce otros pólipos por yemas ó botones.

Cada pólipo y toda la corteza carnosa segrega una sustancia dura que se va pegando á la roca y va creciendo formando ramas y matas; esta sustancia dura es el polípero, el coral, el carbonato de cal y magnesia enrojecido por óxido de hierro.

El color rojo de los tejidos indica la plenitud de la vida; el amarillo la muerte, y una especie de alga que se desarrolla en el polípero, es un signo mortal.

No tienen importancia las relaciones entre la geología de los bancos y los pólipos; parece que se desarrollan debajo de cualquier cuerpo duro, con tal que tengan aguas claras, que estén apartadas de depósitos de materias en putrefacción, y tengan espacio, libre en que desarrollarse. Así es que, los grandes criaderos están establecidos en las cuevas y en las rocas acantiladas<sup>B</sup>.

Doy estas noticias como base de la cultura de este pólipo interesante á la industria submarina.

El coral abunda en todos los mares meridionales, cuyos montes presentan acantilamientos, recodos de techumbre y cuevas. Se encuentra desde 10 á 200 metros de profundidad. Abunda en nuestras costas del Mediterráneo y es excelentísima la calidad del que se pesca en Cabo de Creus.

No describiré los medios que para extraerlo emplean los coralleros: sólo observaré que pescarlo desde la superficie, es buscarlo á tientas; y que se pierde mucho tiempo, inútilmente empleado en un trabajo impropio, y sin embargo esta pesca es muy beneficiosa.

Casi constantemente hay empleadas doscientas embarcaciones, tripuladas por doce ó catorce hombres en las costas de Argelia; los gastos de todas juntas por temporada de seis meses es de dos millones de escudos. Los beneficios que sacan los armadores, los ignoro; porque éstos y los pescadores de coral son, de entre los comerciantes é industriales, los más reservados. He podido colegir, sin embargo, que los beneficios deben ser de cuantía.

Los que se sumergen con el aparato de Sieves, llamado *Escafandra*, que consiste en un casco de hierro vestido de goma elástica y sandalias de plomo, arrancan el coral con sus propias manos, y esta pesca es mucho más lucrativa que la que se hace por la *coralera*. Sin embargo, como los buzos no pueden bajar á más de veinte metros sin peligro para su vida, la zona de su acción está limitada al rededor de las costas y de las islas.

Los buzos en este caso dependen de una embarcación superior que les envía aire por medio de bombas que incesantemente funcionan desde el momento en que el buzo está vestido de la *escafandra*.

Atraídos éstos por la cuantiosa riqueza submarina, con frecuencia sucumben congestionados, olvidando que se hallan sometidos á presiones que la endeble constitución del hombre no puede resistir.

Yo he visto, en el cabo de Creus, en el corto espacio de media hora, descender un buzo vistiendo la escafandra, á diez y nueve brazas de profundidad; permanecer sumergido seis minutos; volverse á subir porque después no contestó á las señales que durante tres ó cuatro minutos se le hicieron por medio de una cuerda; llegar á la superficie asfixiado, paralizado por la excesiva presión de tres atmósferas; fustigarle y volverle á la vida dilatando y comprimiendo lateralmente su pecho; y, sin embargo, este hombre que por tales trances pasara en tan breve espacio de tiempo, lo tuvo para arrancar de las rocas doce libras de coral, que trajo en el zurrón.

Los Ictíneos pueden recorrer las costas en todos sentidos y descubrir criaderos completamente vírgenes de toda explotación, donde el coral habrá podido desarrollarse y crecer en un sin fin de ramificaciones que, como la yedra, cubran las paredes más ó menos inclinadas de las rocas y sus techumbres.

**APLICACIONES CIENTÍFICAS.**- La geografía del mar interesa como la de la tierra bajo los aspectos de la orografía y de la topografía, de las ciencias físicas, de la química, de la geología y de la distribución del calor, de la luz y de la vida de las plantas y animales. La *Geografía Física del Mar*, de Maury, de los Estados Unidos, abundante en vivas descripciones, es un libro lleno de poesía y de sentimiento, y al mismo tiempo, cosa rara, es científico en un grado eminente, por las observaciones y estudios que contiene y por la sagacidad de su autor, casi siempre hábil en consecuencias rigurosas y exactas de hechos que á primera vista tienen escasa importancia. Al empezar los estudios subacuáticos, al despedirnos de la superficie para entrar en los abismos, todavía se ha de recurrir á este libro cuyas enseñanzas han facilitado la colocación de los cables eléctricos que unen Europa con América.

He aquí cómo Maury se expresa respecto de la importancia de los estudios submarinos:

«¿De qué sirven las sondas de las grandes profundidades?»



»Tal es la pregunta que se hace con frecuencia y á la cual es tan difícil contestar categóricamente como á la célebre pregunta de Franklin: ¿de qué puede servir un recién nacido? Cada hecho físico, cada acto de la Naturaleza, cada descripción de la tierra y todo trabajo de los diferentes agentes que obran en la superficie de nuestro globo, son hechos interesantes é instructivos, si bien no podemos conocer su utilidad práctica hasta haberlos agrupado convenientemente. Sin embargo, los espíritus rectos deben considerarlos como preciosos indicadores que servirán á los sabios para guiar á los hombres en muy útiles aplicaciones; estas sondas han dado ya una respuesta para la inmersión del cable telegráfico a través del Océano. Su seno en que hormigean animales sin cesar renacientes, su superficie siempre la misma sobre la cual el tiempo no imprime su huella visible, están sometidos á la grande ley de un cambio continuo como todas las cosas que dependen del dominio activo de la Naturaleza, ya sea en el reino animal, ya en el reino vegetal: en las olas está la cuna de la vida que se expande por todas partes en las capas superiores en el fondo está el sitio de reposo de todas las organizaciones.

»Las profundidades del mar deben contener ricas leyendas antiguas y elocuentes, cuyas lecciones serán provechosas al hombre. Una barrera de rugientes olas de millares de metros de espesor nos separa del fondo del Océano; ¿no podremos salvarla? La curiosidad excitada ha engendrado empresas y ha puesto en movimiento el espíritu de invención. El mar con sus mitos ha atraído siempre los pueblos de todas las edades; como el cielo, contiene una variedad de objetos sin fin para el estudio y la contemplación; el espíritu humano desea instruirse en estas maravillas y comprender sus misterios. La Biblia alude con frecuencia al mar: «¿cuál es su pasado? ¿cuál es su profundidad? ¿en qué consiste su fondo?»

»¿El espíritu y los trabajos de nuestra época no podrían contestar á estas preguntas?

»Las profundidades del mar excitan la curiosidad de todos los marinos; y aunque ningún descubrimiento se haya hecho sobre esta materia, las investigaciones practicadas han acrecido todavía más el interés y el deseo de conocerlas.

»Si las aguas se retiraran de la entalladura que separa los continentes, el esqueleto de la tierra firme quedaría, en cierto modo, en descubierto, y entre las rasas y resquebraduras del fondo del mar, puede que se encontrasen los restos de innumerables naufragios y entonces aparecerían sin duda, en terrible mezcla, huesos humanos, desechos de toda suerte, anclas pesadas, perlas preciosas, cuya imagen fantástica ha interrumpido tantos sueños<sup>14</sup>.»

De los estudios de Maury, de Scheilden, de Müller, de Humbolt y de otros naturalistas y geógrafos, resulta que la Tierra, abundantemente poblada en sus regiones medias, está de más en más despoblada conforme se acercan las extremidades superiores de las montañas ó inferiores de los mares. Eternas nieves detienen la vida en las cimas de las cordilleras y enormes presiones en las profundidades de las aguas: la falta de calor y de presión atmosférica impiden el desarrollo de todo germen de vida en las elevaciones; la falta de luz y el peso de centenares de atmósferas han convertido el fondo del mar en un vasto cementerio. La vida en el mar está detenida en su superficie, en una longitud vertical ignorada. «No conocemos, dice Maury, ninguna fuerza capaz de descender a las profundidades del mar, ni capaz de subir del fondo á la superficie»; y añade: «el hombre no verá jamás, ni tocará jamás el fondo de las aguas, que no sea á favor del plomo del escandallo». Y, sin embargo, nosotros podemos observar á Maury que las envolturas de los cables trasatlánticos resisten sin quebrantarse una carga constante de 600 atmósferas y dejan pasar una de las mayores fuerzas que poseemos (la electricidad) de uno á otro continente; y que se han sujetado aparatos de hierro a presiones superiores á ésta y han resultado impermeables<sup>15</sup>. Si, pues, la experiencia nos da dos hechos consumados, que están á la vista de todos, cuales son la impermeabilidad de materiales y la transmisión de una fuerza á través de presiones enormes, no hay para qué desesperar, como Maury, de que el hombre, en una época más ó menos cercana, vea y domine las profundidades

del mar. Para navegar por los fondos del Océano, no se necesita más que hacer extensivos los dos hechos ya probados, por los cables eléctricos submarinos, á un aparato capaz de sostener la vida animal: si este aparato no deja pasar el agua y deja libre paso á la electricidad, quedan cumplidas dos de las condiciones primordiales de todo Ictíneo, á saber: que sea estanco al agua y que transmita la fuerza del interior al exterior. La primera supone la resistencia á la presión de los materiales empleados en la construcción de las cámaras subacuáticas; la segunda supone la posibilidad de movimientos que aseguren la locomoción libre de las mismas cámaras.

El hecho de la transmisión de fuerza por el cable submarino nos limitaría al motor eléctrico ó á la transformación de todo otro motor en fuerza eléctrica; lo cual no es un inconveniente tan grave que pueda impedir al hombre ver y tocar por otro medio que el del sondeo la vasta superficie suboceánica.

Poseyendo, pues, el hombre, los medios necesarios para impedir la entrada de agua en sus aparatos submarinos y para exteriorizar la fuerza que engendre dentro de ellos, puede, realizar la nave submarina por fondos al menos iguales á los que alcanza la platea telegráfica del Atlántico. Esta navegación podría algunos problemas que las ciencias naturales han sentado.

Desde luego nos interesa saber la escala de la vida en el sentido vertical del mar; y para dar á conocer su importancia me limitaré á las Instrucciones que la Academia de Ciencias de Francia, á propuesta del Gobierno, ha redactado para el barco-escuela Jean-Bart, destinado á un viaje de circunnavegación, y de las cuales entresaco la siguiente nota:

«Las observaciones bathimétricas de Vorbes y de muchos otros naturalistas sobre las diversas estaciones de los animales marinos, así como sobre las relaciones que parecen existir entre el modo de distribución de, estos seres y su papel geológico, han ofrecido muchas cuestiones importantes para resolver y dar interés á todos los hechos que pueden aclarar los límites que la Naturaleza señala á cada especie en las profundidades del mar. Forbes había pensado que la zona submarina habitable por los animales era muy estrecha, y que á profundidades poco considerables, un centenar de brazas por ejemplo, desaparecía toda señal de vida; pero investigaciones recientes han probado que esto no es exacto. Así, en una, comunicación hecha á la Academia, en 1861, M. Alfonso Milne-Edwards establece que moluscos y corolarias y otros zoófitos pueden vivir y desarrollarse á una profundidad de más de 2,000 metros, y que alguna de estas especies peculiares á grandes profundidades no parecen diferir en nada de ciertos animales cuyos despojos sólidos se encuentran en estado fósil en nuestros terrenos terciarios. De unos quince años á esta parte, exploraciones numerosas, hechas con la draga y con la sonda, han contribuído mucho al adelantamiento de nuestros conocimientos relativos á la distribución de los seres vivientes en las regiones submarinas, y han venido á demostrar que, aun en las profundidades del Océano, seres microscópicos, los foraminíferos por ejemplo, se multiplican de manera que juegan un gran papel en la economía general de la Naturaleza... Estos estudios tienen un grande interés para la Geología como para la Zoología geográfica.» (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences* - París, 17 Mai 1869, pag. 1148.)

Hay en nuestro globo una corriente llamada magnética, que sólo es conocida desde el siglo III de nuestra era y que los chinos, japoneses é isleños de Corea aplicaron á la navegación por medio de una aguja de marear flotante en un vaso de agua. El origen y causas de su intensidad, declinación, inclinación y leyes más importantes, son ignoradas de todos. Esta corriente tiene polos y ecuador, los cuales no coinciden con los polos y ecuador de la Tierra. Tiene además cuatro puntos que podríamos llamar polos de mayor intensidad que están situados dos hacia el Polo ártico y dos hacia el Polo antártico: cada uno de estos pares de mayor intensidad contiene en medio el Polo magnético. A pesar de ser diferente en todos los puntos del globo la intensidad, declinación é inclinación; sin embargo, hay líneas de igual intensidad, de igual declinación y de igual inclinación. Esta corriente sufre cambios seculares,

anuales, diurnos y otros que se verifican dentro de una misma hora: los mismos ruidos ó puntos en que se cortan el ecuador terrestre y el ecuador magnético sufren un movimiento de traslación de Oriente á Occidente.

Respecto de estas continuadas variaciones, he aquí cómo se expresa Arago: «La acción directriz es evidentemente la resultante de la acción de las moléculas de que se compone nuestro globo; ahora bien: ¿cómo esta resultante puede ser variable cuando el número, la posición, la temperatura de estas moléculas, cuando todas las demás propiedades físicas son constantes? ¿Será cierta la suposición de Halley que en el interior de la tierra existen moléculas móviles? La honra de las corporaciones sabias está interesada en la contestación de estas preguntas.»

Para su estudio se han establecido, á propuesta de Humboldt, centenares de observatorios que desde Guoettingue, centro de las observaciones, alcanzan por Rusia y Asia á Pekin; por Europa y costa africana al cabo de Buena Esperanza; por las dos Américas hasta el Océano Pacífico y Australia. Se han hecho observaciones sobre las cumbres del Himalaya, de los Andes, Pirineos, Alpes y Cáucaso; en cuevas y minas profundas; en alturas de 7,000 metros por Gay-Lussac y Biot en el aislamiento que ofrecen las ascensiones aerostáticas, y debieran también hacerse, y con el tiempo se harán en los senos del mar. Por este último medio se sabría, de una manera más cierta que no se sabe ahora, si la intensidad de esta fuerza varía, como la gravedad, conforme se acerca al centro de la tierra; si los meridianos, el ecuador, los nados y las líneas de igual intensidad, declinación é inclinación cuando sobre el mar sufren alteraciones; y ya que las diurnas están referidas á la temperatura, se vería (en aquellos sitios en que probablemente es igual durante todo el año y puede escogerse la presión atmosférica conveniente) si la aguja magnética experimenta ó no cambios, y cuáles son su inclinación, declinación ó intensidad. «El conjunto de todas las observaciones, dice Arago, tal vez algún día conducirá á algún resultado general.»

De lo descubierto hasta ahora acerca de las relaciones del magnetismo con la electricidad en movimiento, el calor, la luz, los cuerpos que como el oxígeno se polarizan y sobre todo de las relaciones entre la posición del sol y las manifestaciones más enérgicas del magnetismo terrestre, se han deducido teorías á las cuales, la observación subacuática, bastante aisladora de extrañas influencias, podría llevar alguna luz.

En efecto; si el asiento del magnetismo, y por consiguiente la causa que afecta sus tres elementos, reside en el interior de nuestro globo, obrará con mayor fuerza cuanto mayor sea la proximidad del centro, la cual indicarán los instrumentos en una escala, proporcional á la profundidad en que se hagan las observaciones; mas si la referida causa emana directamente del sol, es muy probable que las observaciones submarinas no acusarán una mayor intensidad absoluta que la observada en la superficie terrestre.

El estudio de la distribución del calor en la vertical del globo, es bastante completo referido á la costra terrestre de los continentes, el cual aumenta de un grado por cada 30 metros de profundidad, hasta llegar probablemente á la temperatura de la fusión del granito y á la necesaria para la disociación de los cuerpos compuestos.

En la atmósfera el calor parece disminuir de un grado por cada 250 metros de elevación, según el promedio de la máxima y mínima del viaje aereostático de Gay-Lussac, hasta 7,000 metros de elevación; y de un grado por cada 189 metros en tiempo sereno, y un grado por cada 191 en tiempo nublado, según los viajes aereostáticos de Flammarión, referidos á alturas de 3,500 metros. (*Comptes rendus*, t. LXVI, p. 1,116.) En el interior de los montes ú indicada por los manantiales que surgen lejos de los volcanes y de las fuentes termales, parece, disminuir la temperatura de un grado por cada 300 metros de elevación.

El Océano ofrece sin duda su escala, de calor decreciente desde la superficie hasta el fondo; escala interrumpida por la diversa temperatura de las corrientes, pero no por esta menos cierta. En efecto; está demostrado que las corrientes ecuatoriales se dirigen en gran parte por la superficie á los polos, y las polares lamiendo el suelo del mar van á parar al Ecuador: de aquí resulta que mientras en la superficie de los mares intertropicales se experimenta una temperatura de 27°, haya la de 2° solamente en el fondo. Mas la escala media es desconocida.

La temperatura superficial del globo terráqueo, débese casi exclusivamente á la acción solar; tiene escasísima influencia sobre ella la libre comunicación del fuego interior con la atmósfera. El calor central se desahoga á favor de los sistemas de volcanes, cuyos centros son: en Asia, Java y Sumatra, y cuya acción se extiende hasta el Japón é Islas Aléuticas; en Europa, Grecia é Italia; y en América, los Incas y Méjico. Ignoramos si esta libre comunicación tiene centros submarinos, aunque tengamos los indicios que nos presentan la emersión de islas volcánicas.

Como las fuerzas interiores tienden á aumentar el volumen de la tierra, y el enfriamiento gradual á disminuirlo, la combinación de estas dos fuerzas ha producido los sistemas de montañas que la Orografía describe; pero ignoramos no solamente, la dirección de las cordilleras submarinas, sino hasta su misma existencia, y sin embargo interesa á la física general del globo el conocimiento de todos sus relieves. Si bien los submarinos han de estar cubiertos de una capa más ó menos profunda de precipitaciones de todo género; sin embargo las fuerzas interiores que diversas veces han quebrantado la costra terrestre levantando masas endurecidas como la cordillera de los Andes, estas fuerzas digo, han de haber producido iguales efectos dentro del mar, cuyo suelo ha de presentar acantilamientos que no han podido cubrir las precipitaciones, donde todavía podrá leer alguna parte de la historia de nuestro globo.

El calor central es capaz de mantener en estado líquido y desociados todos los cuerpos que forman la masa interior de la tierra; por otra parte, casi todos los gaseosos y muy volátiles han de haberse desprendido de la masa líquida y colocándose desde los primeros tiempos del enfriamiento y solidez permanente de nuestro globo en su superficie, en la cual han experimentado las acciones químicas á que están sujetos: de aquí que la cáscara terrestre sea un compuesto de cuerpos oxigenados y de cloruros, sulfuros, hidruros, etc. Tenemos, pues, una costra dura de algunas leguas de espesor que la forman cuerpos compuestos, y una masa en su interior líquida de cuerpos que en su mayor parte son simples.

La cáscara dura de cuerpos compuestos recibe la acción del calor central que los descompone y volatiliza; y esta descomposición continua ha de dar dos resultados: primero, una presión interior, que constantemente iría creciendo si no tenía el desahogo de los volcanes y segundo, un desgaste irregular en las paredes interiores de la cáscara que á su tiempo ha de ocasionar enormes derrumbamientos en las bóvedas y astiales de las cordilleras y continentes.

Estos derrumbamientos, cuando son considerables, contienen una enormísima cantidad de cuerpos compuestos que penetraran profundamente la masa líquida, y al disociarse adquirirán tal fuerza de expansión, que será capaz de levantar cordilleras y de arrojar á la superficie del globo grandísimas cantidades de cuerpos simples, Estos cuerpos, saliendo á la superficie sólida, se derramarán en torrentes y arderán á favor de los comburentes; pero los que salgan en el seno del mar se enfriarán en seguida y los menos oxidables conservarán la forma propia de su aparición en el fondo submarino.

Por otra parte, y bajo otros aspectos, la importancia de la navegación submarina resulta de la importancia misma de los experimentos que á ella se refieren. En el estudio del reino vegetal y animal en el seno de las aguas (si en éstas reside la cuna de las primeras celdillas

orgánicas), se encontrará, tal vez, la solución del problema de la descomposición del ácido carbónico, sin que intervenga el organismo de las plantas y la acción de la luz solar.

Sólo la falta de producción indefinida del oxígeno, que la respiración emplea en quemar carbono, hidrógeno y ázoe, impide al hombre permanecer también un tiempo indefinido en las cámaras herméticamente cerradas, en las cuales no puede hoy reducirse el carbono para dejar libre el oxígeno; porque la ciencia no posee todavía ningún medio físico ni químico, fuera de las elevadas temperaturas, que pueda sustituir la acción solar en la materia verde de los vegetales.

Y por fin, la importancia del Ictíneo resulta de la misma dependencia y relación mutua de las ciencias. Si la observación casi exclusiva de la parte sólida de nuestro globo es el manantial de las ciencias físicas y químicas, el inquirimiento de las profundidades de las aguas, nos suministrará nuevos datos que deberemos á estas mismas leyes de la Naturaleza, cuya acción será diversa ya que, se ejecutará en otras circunstancias, como son: ausencia de luz, temperatura uniforme, una presión elevada, y condiciones eléctricas y magnéticas distintas. De nuevos agentes han de surgir nuevos fenómenos, y el estudio de la parte orgánica é inorgánica ha de ofrecer nuevo interés, revelándonos otras maneras de ser, cuya aproximación con los seres atmosféricos acaso nos permita penetrar en el misterioso laboratorio del organismo.

Si, aparte de estas consideraciones generales, que expresan mis presentimientos acerca de la utilidad científica de la navegación submarina, nos fijamos en las especialidades referidas, en el estudio de las corrientes y volcanes de aquella vastísima región y en la distribución de la vida y de la luz, tendremos que convenir en que la navegación subacuática encierra un interés muy elevado de actualidad, interés que trasciende al vehículo submarino.

Expuestas sucintamente las tentativas hechas en la iniciación del arte submarino y su importancia, aun queda en pie el problema en el orden práctico.

Todavía ninguna nación se ha atrevido á arrojar hombres y millones al fondo del mar, temerosas quizás de que los retenga en sus entrañas y continúe el secreto de sus misterios. Mas la parte expositiva de los medios con que cuenta un Ictíneo para atravesar é iluminar las tinieblas submarinas, vencer las corrientes y sostener la vida de los exploradores, creo que será suficiente para dar las seguridades de buen éxito que requieren esa clase de empresas.

### Idea general del Ictíneo

Explicada la historia y la importancia de la navegación submarina en sus aplicaciones á la industria, á la guerra, y á la ciencia, lo primero que procede es dar una idea general de mi aparato submarino. Quisiera enumerar las ventajas de cada órgano, su historia, las modificaciones que ha recibido; el plan general y los puntos en que ha tenido que ser alterado; las decepciones, hijas de la falta de experiencia en las nuevas aplicaciones de ciertos principios de física, y mecánica intentados, y las dificultades que ofrece la colocación de tantos vástagos, árboles, engranajes y máquinas parciales de que está llena la cámara interior submarina, ya con referencia á la facilidad del manejo de cada uno, como á su peso, el cual debe estar relacionado á la estabilidad de la nave. Sin embargo, esta relación que yo podría hacer, en ciertos puntos, se confundiría con la historia de todos los inventores, tanto de los afortunados, como de los que han tenido que abandonar sus proyectos. Sólo en estos casos es cuando se comprende por qué se emplea tanto tiempo y capitales en los aparatos nuevos que vienen á acrecentar la riqueza pública.

En este capítulo, pues, evitaré la descripción particular de cada uno de los órganos, lo cual constituye la segunda parte de este ENSAYO, destinada á servir de base al arte de construir y manejar las naves submarinas.

Desde luego he de señalar una contradicción en que al parecer se ha de incurrir cuando se construye un barco destinado á navegar por debajo de agua: contradicción que está en la naturaleza de la misma nave. Como barco flotante conviene que tenga poco calado y que sus formas proeles arrojen por ambas muras las aguas que divide en su marcha; como barco submarino, siendo todo el calado, interesa que penetre, el agua á la manera que lo hace el pez, el cual carece de tajamar y de proa abierta por la parte superior. Esta contradicción es inconciliable; han de quedar sacrificadas en parte ó en el todo las formas propias de la nave flotante, obtando por las submarinas.

Ya no sólo en las formas sino en todas las demás partes debemos tener presente que la Naturaleza ha establecido reglas que combinan los órganos de los animales, y reconociendo con Flourens que hay órganos que se excluyen y órganos, que se llaman unos á otros necesariamente, en la construcción de las naves submarinas nos ceñiremos á la estricta observancia de algunas de las leyes que han presidido á la formación de los peces. De ellos tomaremos la forma general, la vejiga natatoria ó de presión, las aletas en los lados y el propulsor en la cola.

Guiándonos por estas mismas leyes que combinan los órganos de los animales, no aplicaremos el sistema de respiración acuática; porque, si bien la nave submarina bajo muchos aspectos es un pez, por lo que se refiere á la respiración es un mamífero, y por lo tanto hace un consumo de oxígeno muy superior al que haría un pez de igual tamaño.

La respiración acuática fué, por mí y durante mucho tiempo, objeto de estudios asiduos: intenté por varios procedimientos sustituir las branquias del pez á favor de las cuales extrae del agua el aire que hay disuelto, apropiándose el oxígeno para la respiración, y el ázoe para llenar su vejiga natatoria. Pero he reconocido más tarde, que estos estudios y proyectos son inútiles, por no ser aplicables á causa de haber partido de que la nave submarina debía ser un pez artificial, en todas sus partes al de la Naturaleza. Esta ha distribuído los animales sobre la tierra según su organización, y dentro del mar señala al pez una zona muy limitada en el sentido vertical; línea que no puede pasar, porque la composición del aire y la presión se

oponen á ello; mientras que la nave submarina puede ser más resistente y encuentra mayores ventajas en generar oxígeno en sus entrañas, que en extraerlo del agua, el cual, á grandes profundidades, se adquiriría sobrecargado de ácido carbónico.

Estas consideraciones generales me han servido de base para fijar los principios á que deben sujetarse las embarcaciones submarinas.

La palabra *Ictíneo*, como lo demuestran las raíces griegas de que está compuesta, vale tanto como: *pez nave*; es un barco en forma de pez, resistente, impermeable, herméticamente cerrado, conteniendo órganos de purificación del aire y producción de oxígeno; órganos de locomoción, sumersión, virada y presa; órganos de visión y de iluminación del campo exterior, y máquina de vapor. Su objeto es navegar por debajo de agua hasta una profundidad que la presión no impida. Debe tener medios propios, independientes de todo auxilio exterior, para permanecer entre dos aguas, á la distancia vertical que exijan las operaciones que se intenten.

Un Ictíneo está compuesto de dos barcos, uno exterior, que tiene la forma del pez y otro interior que puede ser cilíndrico. El espacio que queda entre uno y otro en los costados y en la parte superior, está destinado á contener los órganos que deben obrar exteriormente; los condensadores tubulares de la máquina de vapor; los lastres, las carboneras ó depósitos de petróleo, y los cañones y torpedos de los Ictíneos de guerra: los vacíos considerables no ocupados por estos órganos, se llenan de agua cuando se intenta la sumersión, agua que se expulsa cuando estando en la superficie, se quiere poner el Ictíneo en las condiciones de buque flotante.

La capacidad de la cámara interior ha de ser proporcional á la profundidad en que deba trabajar un Ictíneo; cuanto mayor sea ésta, más potente debe ser el motor y por consiguiente pide mayor espacio para su instalación. Teniendo en cuenta que los volúmenes de los cilindros crecen como los cuadrados de sus radios, se comprenderá que las cámaras, alcancen luego espacios grandes para contener grandes motores.

Como la luz natural va disminuyendo conforme crece la profundidad, es necesaria la aplicación de faros con luz potente en varios puntos de los Ictíneos. Si se hace uso de la oxihídrica, los gases no deben mezclarse sino en el momento de la combustión á fin de evitar las explosiones. Esta luz, desde su descubrimiento, ha mejorado bajo dos aspectos: 1.º sustituyendo la cal por la zirconia en el chorro incandescente; y 2.º, ardiendo bajo una fuerte presión. Según Sainte-Claire Deville, á la ordinaria, sólo arde la mitad del hidrógeno con motivo de las relaciones que existen entre la tensión de disociación del agua con la temperatura y la presión; por lo tanto, á medida que aumente esta última, crecerán las proporciones de la materia combinada (el vapor de agua) y por consiguiente la brillantez de la luz.

Disponiendo el Ictíneo de órganos de locomoción para adelantar y retroceder, pudiendo virar sobre su eje vertical, é inclinarse hacia proa ó hacia popa, necesitaba para completar la semejanza de sus movimientos con los del pez disponer como él de una vejiga natatoria, á fin de dirigirse hacia arriba ó hacia abajo ó de estar equilibrado con el agua que desaloja cuando navega sumergido por la horizontal ó quiere permanecer parado entre dos aguas.

Este órgano en el pez tiene una importancia fundamental; sin él no podría moverse, sino desplegando una fuerza que no consiente su aparato respiratorio y que debiera ser prodigiosa cual la de los mamíferos, como la ballena, el delfín y otros en que vemos convertida su vejiga natatoria en pulmones. Los peces que sólo disfrutaban de una respiración incompleta, que por medio de sus branquias retienen el aire disuelto en el agua disponen de una fuerza muscular pequeña y sólo suficiente para alterar su densidad, por medio de la cual se ponen en equilibrio con el agua ó se hacen más pesados ó más ligeros que ella.

Así como los animales en estado de reposo almacenan fuerzas que despliegan luego para sus necesidades, también deben tenerlas dispuestas los Ictíneos para aplicarlas inmediatamente cuando les amague algún peligro. Para los peces el peligro está en la superficie del agua, donde la luz los pone visibles á sus enemigos, donde la agitación de los temporales puede arrastrarlos á la arena ó á las rocas; así es que tienen facilidad para vaciar su vejiga natatoria y dirigirse velozmente al fondo oscuro y tranquilo del mar. Para los Ictíneos el riesgo está abajo: así que la gran fuerza almacenada deberá consistir en medios pronto y eficaces para huir del fondo y alcanzar la atmósfera. Uno de éstos consiste en las vejigas de presión ó natatorias.

Están formadas de dos cilindros que comunican entre sí; de los cuales uno contiene gases comprimidos á muchas atmósferas, y el otro agua que puede salir por la acción de los gases comprimidos, y aligerar así el peso del Ictíneo.

Este se sumerge admitiendo agua en su interior; sube expeliéndola por medio de las vejigas de presión, que, están servidas por un juego de bombas de pequeño diámetro, que comprimen el agua como en la prensa hidráulica. Así es que, dejando entrar agua y obligándola á salir se logran avances suaves ó precipitados hacia abajo ó hacia arriba, los cuales combinados con los de marcha, retroceso y de virada hacia uno y otro lado, dan al Ictíneo las apariencias del pez y la aptitud para las operaciones submarinas.

Si por un accidente se perdieran los gases comprimidos y el Ictíneo no pudiera subir por este medio, se sueltan los lastres esféricos que pesan una cantidad igual á la que posaría el volumen del agua de las vejigas de presión.

Si por una avería, entrase agua en la cámara, y no bastasen ni las vejigas de presión ni los lastres esféricos para ganar la superficie, deben soltarse los lastres de apuro que presentan la  $\frac{1}{30}$  parte del peso del agua que desplaza la cámara interior.

Los Ictíneos deben poder resistir una presión seis veces superior á la indicada por la profundidad á que tengan que trabajar: las fórmulas de su resistencia están desarrolladas, en la SEGUNDA PARTE.

En el interior de estas cámaras los disparos, articulaciones, espitas, bombas, purificadores, etc., deberán depender de una maquinaria sencilla, sólida y de fácil manejo; de manera que los tripulantes, aun á oscuras, puedan obedecer con rapidez la voz del que dirija. De esta manera no serán nunca un peligro las escabrosidades del fondo, fangos y bosques de vegetales donde los Ictíneos podrían quedar enredados; ni se temerá tampoco descender á sitios cercanos á acantilamientos profundos.

Supongamos que sin estas precauciones, haya necesidad de emplear algunos minutos para determinar en un Ictíneo el movimiento de ascensión; si este barco se ha construido con el propósito de navegar por cien metros de profundidad y desde ésta ha empezado á descender por una línea vertical de 600 metros, irá á parar al fondo, del cual, no podrá salir, sino arrojando los lastres esféricos y tal vez los de apuro.

Para los movimientos de descenso, los exploradores submarinos tendrán en cuenta:

1.º Que la densidad de los Ictíneos aumenta conforme es mayor la presión por que la cámara se contrae;

2.º Que determinado en un grave el movimiento de descenso vertical, éste crece, hasta que la resistencia del agua lo hace uniforme;



3.º Que todo árbol de comunicación al exterior es solicitado hacia adentro por la presión, la cual refluye sobre los soportes y dificulta la traslación de movimiento.

De la máquina de vapor me ocuparé en las explicaciones que acerca de los motores en general daré en el capítulo quinto.

La aplicación del vapor á la navegación submarina, equivale haber dado pulmones al pez artificial. Ya no se distinguirá el Ictíneo por su andar pausado, pero seguro, que le caracterizaba; desde ahora podrá seguir y aun alcanzar, á los barcos de vela y ruedas; podrá competir con los cetáceos, tales como la ballena y el delfín, de quienes ha tomado el sistema de respiración completo, merced al cual pueden desplegar la prodigiosa velocidad que les distingue.

Si este último trabajo que ha modificado tan profundamente la nave submarina, ha sido tan largo y fatigoso que ha aniquilado la empresa, al menos deja concluída la obra iniciada por Busnhell y Fulton y que otro más fuerte y más emprendedor que yo podrá llevar al cumplimiento de su destino.

## Del aire y de la respiración

En el capítulo precedente expuse la descripción de las partes principales que componen un Ictíneo; por ellas se podrá formar concepto de las dificultades que han tenido que vencerse para llegar á la síntesis de un aparato tan complicado y que lleva en sí la fuerza reclamada por las necesidades de la navegación submarina. Mas las combinaciones de orden puramente mecánico, no son tan trascendentales que no admitan los tres periodos por que pasan las obras humanas: período de ensayo, de desarrollo y de perfección. Por graves que, sean, sin embargo, los obstáculos inherentes á la resolución de los problemas mecánicos, nunca podrán compararse á los ofrecidos por el sostenimiento indefinido de la vida en una cámara herméticamente cerrada: porque si los medios no son de una perfección equivalente á los de la Naturaleza, la existencia de los hombres estará comprometida.

De aquí sin duda proviene que hasta ahora sean tan escasas las tentativas para enseñorearse de un elemento que exige una cámara comparable á la organización del pez, si nos referimos al líquido que ha de atravesar, y á un mundo diminuto con respecto al hombre cuya vida ha de sostener.

¿Bastará para la libre y perfecta respiración, producir oxígeno, absorber ácido carbónico, destruir los miasmas y condensar el agua que producimos? El estudio de la atmósfera terrestre y de las funciones de los organismos que la afectan son indispensables para mantener el aire de las cámaras en el misino estado que lo suministra la Naturaleza.

A la vida le es necesario el contacto continuo del aire atmosférico, sin el cual las plantas y los animales mueren. Todo lo que vive respira. La vida se desarrolla en el seno del agua á favor del aire en ella disuelto, y aun se mantiene en la profundidad de las cuevas donde no ha penetrado jamás la luz solar y donde los animales que las pueblan han perdido la facultad de ver. Se sostiene el organismo de los peces en los depósitos, líquidos subterráneos de los arenales de África donde la sonda artesiana arranca chorros de agua que arrastran peces desprovistos de ojos como los de las cuevas. De estos y otros hechos se deduce que la acción directa de los rayos solares no es inmediatamente necesaria para los organismos de ciertos animales; mas no así la acción atmosférica que vamos á exponer.

Todos los hechos de respiración de vegetales y animales interesan en alto grado á la navegación submarina, á las cámaras de los Ictíneos, cuyo objeto principal es el mantenimiento de la vida en las condiciones que la salud exige y donde es indispensable que lleguen agentes artificiales, cuya acción sustituya en todas sus partes á las fuerzas naturales. Esta sustitución debe ser tan perfecta como sea posible y para más adelante será necesario que estudiemos y sepamos cómo obra la Naturaleza en los rayos; solares, en la atmósfera, en el suelo, en el agua, en las celdas orgánicas, en las raíces, tallos, hojas, flores, frutos; en la germinación y desarrollo de la semilla, del huevo, del animal, de la planta, y en la reducción y combustión de los cuatro elementos orgánicos que constituyen la vida tal cual la conocemos. Y si bien es verdad que actualmente desconocemos cómo y de qué manera la Naturaleza obra en cada una de estas operaciones, siéndonos imposible por lo tanto practicar una síntesis completa; sin embargo, los estudios hechos son ya bastantes para guiar al naturalista en la de una naturaleza artificial, cual la reclamada por las cámaras de los Ictíneos, verdadero embrión del pequeño mundo, que debe atravesar medios impropios para sostener la vida del hombre.

La vida se mantiene sobre la superficie de la tierra á favor de la fuerza solar; la vida consiste en un cambio mutuo de productos entre el reino vegetal y el reino animal, cambio que tiene lugar por medio del aire y á favor de la luz y calor solares; constitúyenla dos aparatos: uno de combustión y, otro de reducción, los cuales, descansando en el suelo, ocupan un grandísimo espacio en la atmósfera.

El aparato de reducción es el reino vegetal, que se apodera del carbono del ácido carbónico, el hidrógeno del agua, y el ázoe del amoníaco, para dejar libre en la atmósfera el oxígeno. De esta reducción vive el animal; se alimenta de los productos reducidos de las plantas y se los asimila, esto es: de ellos compone su carne, sus huesos y su sangre; y para hacer este trabajo de asimilación necesita, además del oxígeno que ha dejado libre la planta en el ambiente para quemar el carbono, el hidrógeno y el ázoe que como alimento le han suministrado las plantas. El reino animal constituye el aparato de combustión y devuelve á la atmósfera las sustancias de que vuelve á apoderarse el reino vegetal.

La atmósfera es el receptáculo de todas las emanaciones terrestres; las corrientes generales que vienen de los Polos por las elevadas regiones, y las locales, mezclan y confunden todas las emanaciones hasta el punto que, el aire, en todas partes, en la superficie y en las elevaciones de 7,000 metros presenta una igual composición. En efecto, el traído de esta altura por Gay Lussac contenía la misma proporción de elementos que el aire de las regiones bajas. Sin embargo, cerca de las grandes poblaciones y de los volcanes en actividad y aun en las praderas y los bosques, durante la noche, abunda algo más el ácido carbónico.

La composición del aire es, por ciento, de 79'20 ázoe y de 20'80 oxígeno en volumen y en peso de 77 del primero y 23 del segundo; contiene además 4 ó 5 diezmilésimas de ácido carbónico, 6 á 9 milésimas de vapor de agua, amoníaco en pequeña cantidad y aun en estado de nitrito ó nitrato.

Los elementos constitutivos de la vida se encuentran pues, en la atmósfera: hidrógeno, carbono, ázoe, oxígeno; están en ella en forma de ácido carbónico y óxido de amonio; forman parte del mismo aire que envuelve al globo y hasta cierto punto puede decirse que las plantas son la misma atmósfera manifestándose en forma de vida. Estos elementos constituidos en vegetales, han de volver á la atmósfera de donde han salido pero antes han de ejercer funciones de un orden superior, realizando la vida de los seres que emiten calor, que tienen movimientos espontáneos y gozan de sensibilidad: la vida plena, exuberante que se exhibe por el instinto, el pensamiento, la conciencia del propio raciocinio y por la aspiración constante al dominio de lo desconocido.

Para estas funciones de un orden tan elevado, la vida que se desarrollaba por medio de las partes blandas, exteriores, por la corteza y superficie de las hojas, se repliega en sí misma, se hace interior, forma agrupaciones más delicadas y más perfectas, en cuyos espacios microscópicos se verifica una combustión lenta, continua, por medio del oxígeno, disuelto en la sangre, y que la respiración ha tomado de la atmósfera.

**RESPIRACIÓN ANIMAL-** En las relaciones del reino animal con el aire no me ocuparé en la presión que este fluido ejerce sobre la periferia de los órganos interiores y exteriores, aunque su estudio sea interesante al arte de bucear; en los Ictíneos se podrá mantener una presión interior que, no excederá de cinco centímetros á la inicial de la columna barométrica, y este exceso no dificulta la circulación de la sangre y por consiguiente no puede ocasionar las congestiones que comprometen á menudo la existencia de los buzos.

La respiración animal consiste, en un cambio de gases que se verifica á través de ciertas membranas que facilitan la disolución de un gas en los organismos mientras tiene lugar la

excreción de otro ú otros. A favor de este cambio la sangre de los animales se apodera del oxígeno del aire que lo emplea en quemar carbono, hidrógeno y ázoe; así se genera el calor y la electricidad, no sólo necesarios á la asimilación de los productos del acto digestivo, sino también indispensables á las demás funciones de todos los órganos.

En el siglo XVII, -observan Fremy y Pelouze,- R. Boyle opinaba ya que el objeto de la respiración es purificar la sangre; luego apareció Mayow que comparó la respiración á una combustión, y dice: «que á favor de ella y del aire la sangre venosa pasa á ser sangre arterial.» A últimos del siglo pasado Lavoisier estableció los siguientes principios: «1.º, el aire introducido en los pulmones, quema una parte del carbono de la sangre, para hacer ácido carbónico; 2.º, no solamente hay una combustión de carbono, sino también de hidrógeno y una formación de agua; 3.º, la proporción de ázoe contenida en el aire, no varía sensiblemente en el acto de la respiración; 4.º, el consumo de oxígeno y la producción de ácido carbónico varían para un mismo individuo; la cantidad de ácido carbónico es mayor durante la digestión; aumenta también en el estado de movimiento y de agitación.»

«Es un axioma que donde hay sangre que circula hay pulmones ó branquias que respiran. Todos los animales de respiración circunscrita tienen necesariamente un líquido que circula y los insectos que se distinguen por tenerla general, esto es, en la piel no tienen circulación, y ya que no vaya la sangre á buscar el aire por medio de los pulmones, el aire la busca á través de la piel que cubre los insectos. Por lo cual se ve que hay órganos que se llaman unos á otros y los hay que se excluyen; y que así como los locomóviles dependen de los digestivos, los destinados á la circulación están sujetos á los respiratorios por la misma ley de la existencia de los seres.» Estos principios que saco de la *Historia de los Trabajos de Cuvier*, por Flourens, los completa el mismo autor de la manera siguiente: «Además la fuerza de los animales puede medirse por un aparato respiratorio; así vemos en las aves un sistema de respiración doble; los mamíferos lo tienen simple; los peces incompleto por la poca cantidad de tire que encuentran en el medio en que respiran. Las primeras están dotadas de una fuerza muscular asombrosa; de mediana los segundos; y de pequeña los peces, los cuales tienen apoyo en el mismo medio en que viven. La fuerza de los peces corresponde á la de los reptiles, que á pesar de hallarse dotados de un sistema completo de órganos respiratorios, semejan á los peces en fuerza, por no disponer de un sistema de circulación perfecto: lo que les falta á los peces de aire, falta á los reptiles de circulación<sup>16</sup>.»

De estos principios debemos deducir una consecuencia que interesa á nuestro *Arte*: si los animales que desarrollan más fuerza muscular poseen un sistema de respiración más perfecto, y por lo tanto consumen más oxígeno, de manera que podemos sentar que la combustión corresponde á la fuerza, es claro, que si este principio es verdadero de una manera general, lo será en los casos particulares, y por lo tanto podremos sentar que el oxígeno consumido corresponde á la fuerza desarrollada, tanto en las especies como en los individuos, y como en las máquinas de vapor.

Luego, pues, cuanto mayor sea la suma, de trabajo verificado, tanto mayor será, el gasto de oxígeno, y la tripulación de un Ictíneo consumirá más oxígeno trabajando que no en estado de reposo. Lo cual es un dato que se ha de tener en cuenta en navegación submarina.

Por no haber reflexionado lo bastante sobre estos principios, y ateniéndome á los experimentos propios y extraños, hemos sufrido en las pruebas submarinas una verdadera falta de oxígeno, que yo atribuía á la mala calidad de los materiales que empleábamos, y sin embargo, la causa consistía en el mayor consumo que hacíamos de este gas vital á consecuencia del pesado trabajo que ejercíamos.

Todos los animales influyen poderosamente en la atmósfera, y vamos a ver con respecto á una cantidad dada de aire, la influencia que ejerce la respiración.

El hombre, si está sano, según Dumas, espira un aire que contiene de 3 á 5 por ciento de ácido carbónico, 3 á lo menos y 5 á lo más; en el hombre enfermo la proporción baja á 1 ó sube hasta 8 por ciento. Un adulto introduce en sus pulmones 1/3 de filtro de aire poco más ó menos por cada inspiración y hace 16 por minuto. Contiene el aire espirado de 4 á 5 por ciento de ácido carbónico y ha perdido de 4 á 6 cent. de oxígeno.

«Los números siguientes representan la cantidad de carbono contenido en el ácido carbónico exhalado durante una hora por los pulmones del hombre en diferentes edades.

»Un niño de 8 años quema en una hora 5 gramos de carbono; este número se eleva por grados intermedios hasta 8<sup>g</sup>7 en un joven de 15 años.

»Desde los 15 años la cantidad de carbono quemado aumenta del modo siguiente: á los 16 años 10<sup>g</sup>1 de consumo en una hora; y esta cantidad se eleva á 11<sup>g</sup>4 desde 18 á 20 años; y á 12<sup>g</sup>2 en el periodo de la vida comprendido entre 20 y 30, permaneciendo á poca diferencia en la misma cantidad, de 30 á 40 años.

»De 40 á 60 el ácido carbónico exhalado en una hora no está representado más que por 10<sup>g</sup>1; de 60 á 80 aparece solamente 6<sup>g</sup>2 y en un anciano de 102 años no fué más que de 5<sup>g</sup>9.

»El máximum de exhalación de ácido carbónico que hemos encontrado nos lo ha ofrecido un joven de 26 años de una constitución atlética, que en dos experimentos consecutivos ha quemado cada vez 14<sup>g</sup>1 de carbono. En un hombre de 60 años que, en semejante edad conservaba una constitución tan fuerte como la precedente, la cantidad de ácido carbónico exhalada en una hora, se hallaba represcritada por 13<sup>g</sup>6 de carbono.

»Por último, un anciano que á los 92 años conservaba una energía notable y que en su juventud había tenido una fuerza poco común, ofreció cerca de 9 gramos de carbono quemado por hora.»<sup>17</sup>

En estos experimentos se ha computado en carbono el hidrógeno quemado: pero en navegación submarina interesa saber la cantidad muy aproximada de ácido carbónico exhalada por los pulmones del hombre. Dumas representa el hidrógeno en una cantidad al menos triple de carbono y dice que el hombre quema 1<sup>g</sup>25 de hidrógeno por hora. Por lo tanto, ya que los experimentos de Andral y Gavarret, referidos á la edad de 30 á 40 años establecen que el hombre quema 12<sup>g</sup>2 de carbono, debemos descomponer esa cantidad en 8<sup>g</sup>45 carbono y 1<sup>g</sup>25 hidrógeno; las cuales dan 30<sup>g</sup>98 por hora en ácido carbónico cuyo volumen en litros es de 15'646 y en vapores de agua 11<sup>g</sup>25, cuyo volumen es de 19'125 litros. Tenemos, pues, que un hombre de 30 á 40 años, sin ejercer ninguna fuerza, sin otro gasto que las funciones de la vida, exhala por hora y por los pulmones 42<sup>g</sup> de materia viciadora de la atmósfera. Además, según Lecanu, produce por hora 1<sup>g</sup>33 de urea, la cual contiene gramos ázoe 0'625; y excreta por la misma respiración una materia animal particular que entra fácilmente en putrefacción, que se parece á la albúmina impura, y de la cual nos ocuparemos luego.

El consumo, pues, de oxígeno por hora es:

Empleado en quemar carbono:	gramos...	22'53
»        »                    hidrógeno:	»	10'00
El contenido en la urea...		0'17
	Total gramos...	32'70

O sean en volumen 23 litros oxígeno gastados por hora.

Mis experimentos arrojan una cantidad superior á ésta; la cantidad de 28 litros por hora y por individuo, sin ejercer ningún género de trabajo; empero es muy probable que el consumo de oxígeno dentro de un Ictíneo aparezca mayor por la oxidación de las piezas de hierro, cuya superficie es muy considerable.

Ahora bien; según las observaciones de Boussingault<sup>48</sup>, un metro de superficie verde de los dos limbos de las hojas expuesto al sol produce en doce horas 6 litros 1/3 de oxígeno. Por lo tanto, un hombre en una hora consume el oxígeno que en igual tiempo producen 44 metros de superficie verde. Este trabajo debido á la luz solar y traducido en calor representa de 50 á 60 calorías, si el oxígeno debiese obtenerse de la descomposición del agua á favor de la temperatura de disociación; y si este trabajo debiera verificarlo el hombre que consume el oxígeno, no le bastaría el tiempo de una hora. Esto prueba que el animal, ni aun por las funciones de la respiración, se basta á sí propio: si debiera vivir de su fuerza empleada en producir oxígeno, su existencia quedaría en un breve plazo extinguida.

Acabamos de exponer las funciones de los reinos vegetal y animal, y estas últimas con relación al hombre; sabemos de una manera positiva que los animales queman carbono, hidrógeno y ázoe, y que los vegetales los reducen; que uno y otro reino se completan; que la unión mutua se hace por medio de la atmósfera; que en este grandioso laboratorio no se efectúan más que dos funciones, quemar y reducir; que sólo esta última absorbe fuerza, y que ésta sale del sol.

De modo que la vida está comprendida entre dos hechos: una combinación de carbono, hidrógeno y ázoe que absorben luz y calórico, y una verdadera destrucción de estos compuestos emitiendo el calor absorbido y transformando la luz en electricidad.

La fuerza solar impalpable, imponderable, absorbida por la planta, ¿aparece tal vez en el animal en fenómenos de sensibilidad y pensamiento? Esta es la opinión de Lavoisier que tan elocuentemente confirma Dumas en su *Estática química de los seres organizados*, diciendo:

«Si la sensibilidad y el sentimiento, si las facultades más nobles del alma y de la inteligencia, tienen necesidad de una cubierta material para manifestarse las plantas son las que están encargadas de urdir la trama con los elementos que toman del aire bajo la influencia de la luz, que el sol, origen inextinguible de ella, arroja constantemente y por torrentes sobre la superficie del globo.»

He dicho ya que para producir oxígeno es necesario ó acción solar, ó calor artificial ó fuerza mecánica ú otra cualquiera; y como en cámaras herméticamente cerradas no puede disponerse de la luz solar, ni del magnetismo terrestre, ni por ahora, de fuerza alguna natural, no queda otro recurso, para las necesidades de la respiración, que sacarlo de los cuerpos oxigenados poco estables.

Por otra parte las funciones que ejercen las plantas sobre la atmósfera, son superiores á los medios químicos que posee la ciencia. Hasta ahora no se ha encontrado ningún procedimiento para descomponer á la temperatura ordinaria el ácido carbónico; si se lograra, podríamos aprovecharnos del carbono como combustible y tal vez como materia digerible y del oxígeno como elemento de respiración. Paso á ocuparme, pues, de la respiración.

**RESPIRACIÓN EN CAMARAS CERRADAS.**- Con el objeto de probar los efectos de la respiración continuada en una misma cantidad de aire y he encerrado aves en un volumen de

aire, cincuenta veces mayor que el de su cuerpo, y he aquí los síntomas que he notado y que he descrito en otra parte:<sup>19</sup>

Si se encierra herméticamente un pájaro en una campana de cristal, cuyo aire interior esté en comunicación con un aparato, cerrado también herméticamente, pero capaz de determinar una corriente de aire, tomada del interior de la campana y devuelto á ella, después de purificado, el pájaro vivirá, comerá y no denotará por ninguna señal de malestar que su estado no sea el normal; pero si el aparato deja de funcionar he aquí lo que sucede:

Al fin de la primera hora, la condensación de los vapores de agua en las paredes del cristal, se pronuncia en gotitas que van aumentando de tamaño.

A 1<sup>h</sup> 30 minutos. El pájaro respira teniendo el pico un poco abierto.

A 1<sup>h</sup> 40' La respiración es sensiblemente apresurada, y el pico más abierto. Se agita.

A 1<sup>h</sup> 44' La agitación es mayor, el anhelo es grande y el pico muy abierto.

A 1<sup>h</sup> 48' El anhelo es tan grande, la respiración tan apresurada y su malestar tan manifiesto, que no se puede dudar de que la asfixia está determinada.

A 1<sup>h</sup> 51' El pájaro no puede sostenerse; su cuerpo oscila. En este estado, si la experiencia se prolonga sin que se haga intervenir el purificador, el pájaro muere; pero si desde este momento obra el purificador durante algunos minutos, no se nota mejora, pero luego ésta es sensible.

A 2<sup>h</sup> Sigue el anhelo; pero no tan vehemente.

A 2<sup>h</sup> 15' Respira con la boca casi cerrada.

A 2<sup>h</sup> 20' Ha desaparecido todo el anhelo; pero está entorpecido, y no da señales de reparar los movimientos ni el ruido que se haga á su alrededor.

A 2<sup>h</sup> 25' Su estado es el normal y si se abre la campana el pájaro echa á volar.

Saber el tiempo que un hombre puede respirar en una misma cantidad de aire sin peligro para la salud, es indispensable en navegación submarina; porque los órganos destinados á la purificación constante en los Ictíneos, como todos los aparatos mecánicos, son susceptibles de desarreglos y entorpecimientos; y en estos casos el sostenimiento de la respiración estaría confiado á la cantidad de aire que hubiese en la cámara; además puede ser necesario, en ocasiones, prolongar la permanencia de los exploradores en el Ictíneo, cuando ya hubiesen concluído todos los medios de purificación y de generar oxígeno, por causas que dependen exclusivamente del estado del mar.

Antes de pasar á los experimentos que con este objeto he verificado, creo oportuno dar cuenta de lo que, dice Mr. Leblanc acerca de la respiración en atmósferas *confinadas* que encuentro en los tratados de química:

1.º Sin negar que diversas causas concurren á hacer insalubre una atmósfera limitada, es necesario reconocer como un hecho de experiencia, que la proporción de ácido carbónico en sitios habitados y cerrados, crece con el grado de insalubridad. Cuando alcanza *uno* por ciento, la estancia de los hombres en aquel sitio no puede prolongarse sin sentir malestar; esta dosis de ácido carbónico ha de influir sensiblemente en el organismo, sobre todo si su acción se prolonga durante algún tiempo.

2.º Los experimentos de Mr. Pécelet establecen que la ración de aire por hora que debe disfrutar un hombre, es al menos de *seis* metros cúbicos, si se quiere que su respiración esté en las condiciones acostumbradas. *Seis* metros cúbicos, es precisamente el volumen de aire necesario para mantener en estado de vapor la totalidad de agua producida por la transpiración pulmonar y cutánea durante una hora.

3.º En una atmósfera que contenga de cinco á seis por ciento de ácido carbónico, la llama de una bujía se extingue; la vida puede continuar, pero la respiración es penosa, y los animales de sangre caliente revelan un malestar profundo.

4.º Sobrevienen accidentes cuando ha desaparecido la proporción de *cuatro* por ciento de oxígeno y ha sido reemplazada por ácido carbónico ó ázoe. En las galerías de las minas en que el oxígeno es absorbido por los sulfuros metálicos en aire es inmediatamente asfixiable cuando el oxígeno baja á quince por ciento.

5.º Debe considerarse como nociva una atmósfera en que el ácido carbónico esté representado en *cuatro* por ciento, que es el estado en que el aire sale de nuestros pulmones; la experiencia enseña que la respiración en estas circunstancias no es normal, y el razonamiento nos induce á creer que nuestros órganos pueden sentir la influencia de una proporción de ácido carbónico inferior á *un céntimo*.

He aquí ahora el resultado de mis experimentos de respiración sin general oxígeno ni absorber el ácido carbónico producido. Para esta clase de investigaciones es necesario adoptar, con referencia á los compañeros con que uno se encierra, todas aquellas medidas de prudencia que exigen las condiciones del carácter de cada uno, á fin de que la imaginación de los encerrados no se exalte creándose dolores, anhelos y malestar ilusorios: yo he hecho en este sentido todo lo que la prudencia me ha sugerido y ordinariamente he triunfado de los genios aprensivos. Estos experimentos los he hecho en 1858, antes de botar al agua el primer Ictíneo, y los he continuado después en 1859 y 1860. Ya se han verificado en la superficie del mar, ya en el fondo y aun navegando: hemos permanecido encerrados sin dar oxígeno y sin absorber el ácido carbónico que exhalamos, siendo los individuos en número de tres á seis y no disponiendo más que de *siete* metros cúbicos de aire y aun no cabales; que ésta era la capacidad del primer Ictíneo. Según Pécelet solo teníamos aire por una hora y por un individuo.

Sin embargo, en algunas de estas pruebas éramos *seis* personas de veinticinco á cuarenta años y correspondía el aire en estos casos á metros cúbicos 1'166 por persona. Nos sumergíamos á siete ú ocho metros de profundidad, y si no hacíamos otro trabaja que el de subir y bajar, lo cual se obtenía por la fuerza de un solo hombre, podíamos permanecer dentro del Ictíneo dos horas y media. He aquí lo que pasaba entonces en la cámara:

En la primera hora, el termómetro marcaba 2º5 sobre la temperatura inicial y no experimentábamos síntoma alguno que indicase variación en el aire; sin embargo, estaba completamente saturado de vapor de agua, y éste ejercía una presión que el barómetro indicaba por 10 á 12<sup>mm</sup> sobre la inicial<sup>20</sup>.

El máximo de presión barométrica varía entre los 30 minutos de estar encerrados y 1h y 37' según el número de individuos que contiene la cámara; si es de 3 á 4 antes de los 60 minutos, y si es de 5 á 6, alcanza la mayor presión entre los 60 y 90 minutos.

Si dependiera exclusivamente la presión de la temperatura, crecería como ella; y no es así, puesto que, cuando son 4 personas, la mayor presión corresponde á un aumento de 2º5 de calor, y sin embargo alcanzará 5º á las dos horas de encerramiento: depende sobre todo de los vapores de agua, de que se está saturando la atmósfera de los Ictíneos, hasta aquel punto que su



condensación en las paredes y maquinaria de la misma cámara viene á equilibrarse con los producidos por la transpiración pulmonar y cutánea de los tripulantes. Desde que se establece este equilibrio, durante algunos minutos, no hay alteración barométrica, pero luego va bajando de algunos milímetros, para quedar otra vez estacionaria. En uno y otro período, sin embargo, hay oscilaciones.

Al finalizar la primera hora, siendo seis las personas y una vela de esperma encendida, la llama de ésta, de blanca que es al principio, pasa á roja y disminuye en diámetro y altura. Si se frota fósforos, arden; pero la cerilla no queda encendida. Si la vela de esperma se traslada de uno á otro sitio se ha de hacer de una manera suave, ó de lo contrario se apaga y la llama por fin muere, por falta de oxígeno, á los 75 minutos de encerramiento.

Á las 2 horas empezábamos á experimentar alguna dificultad en la respiración y algún síntoma de asfixia. La temperatura á esta hora alcanzaba el máximo que es de 5° sobre la inicial.

Á las 2h 30' el anhelo era notable; debíamos respirar con la boca entreabierta y sentíamos una verdadera falta de aire, como si estuviésemos ejerciendo un trabajo pesado y por consiguiente la respiración era apresurada, hasta dar 24 aspiraciones por minuto. El dolor en las sienas que á las 2 horas podía aun pasar desapercibido, aumentaba por grados y empezábamos á experimentar una debilidad algo vaga y confundible con la falta de alimento.

Al llegar á este estado, cesábamos en la prueba, quedándonos todavía bastante fuerza y empuje para dar en la gran bomba de aire y poner el Ictíneo completamente á flote.

Al salir se nos ha advertido varias veces de que el color del rostro era algo livido: sentíamos el bienestar que da la posesión y goce del ambiente libre; mas el dolor en las sienas se prolongaba hasta seis horas después, y á medida que desaparecía se iba replegando en la frente; no siendo, sin embargo, bastante fuerte para impedirnos el habitual desempeño de nuestras ocupaciones.

De estas pruebas se deduce que un hombre puede vivir por espacio de dos horas y media en un volumen de aire veinte veces al de su cuerpo, respirando siempre en la misma atmósfera que va sobrecargándose de ácido carbónico y vapores de agua, sin que la salud sufra alteración notable.

Al final de los ensayos de respiración de que acabo de dar cuenta, teníamos una cantidad de ácido carbónico, vapores de agua, y una falta de oxígeno, cuyos valores voy á aproximar en lo posible.

Echando la cuenta por lo que dicen Dumas, Andral y Gavarret, la cantidad de carbono que cada una de las seis personas encerradas consumía por hora, era de 8<sup>g</sup>45; la de hidrógeno, 1<sup>g</sup>25; el gasto de oxígeno, como se ha visto, era de 23 litros por hora y por persona.

Veamos, pues, los elementos de la atmósfera del Ictíneo al salir de una de estas pruebas:

El carbono a razón de litros 15'64 por individuo y por hora, había producido litros 234'70 de ácido carbónico, los cuales, relacionados a los 7<sup>m3</sup>000 eran por ciento... 3'35

El hidrógeno produjo 169 gramos agua, que son 280 litros vapores de agua, y por ciento del aire total del Ictíneo... 4,1

Los 23 litros de oxígeno por persona y por hora, habían dejado el aire del Ictíneo en la proporción de oxígeno por ciento... 15'78

El ázoe, suponiéndole alterado en un aumento de 2 por ciento del oxígeno consumido... 79'21

102'44

De la sola constitución de la atmósfera del Ictíneo se ve que la presión barométrica debía alterarse; pues si evaluamos el volumen del aire en ciento y siendo ahora 102'44 el barómetro, debía indicar 18<sup>mm</sup>5 de presión. Si además atendemos á los 5° de aumento en la temperatura, ya que por cada grado crece el volumen 0'00367 cien-milésimos, la presión en el barómetro será de 14<sup>mm</sup> y la total en ambos conceptos de 32<sup>mm</sup>.

Dependiendo, pues, en primer lugar de los vapores de agua, que produce la combustión muscular, se comprenderá que haya continuas variaciones barométricas de que ya he hablado, ocasionadas por la condensación, que es más ó menos activa según sea el estado de movimiento ó quietud del aire del Ictíneo á cuya agitación contribuyen los tripulantes.

Estos son los efectos que produce la respiración continuada durante 2 ½ horas por 6 hombres en 7-3 de aire y estando en perfecto reposo; mas si se ejerce un trabajo pesado como el de navegar por debajo de agua, y no se restablece el oxígeno gastado, ni se absorbe el ácido carbónico, es indispensable acortar el tiempo de la prueba á fin de evitar los accidentes. Siempre que hemos navegado con estas condiciones, hemos reducido á 5 el número de tripulantes y el tiempo á 2h 20' alternando los períodos de trabajo con los de reposo, siendo de 12 minutos de ordinario los primeros y de 4 los de descanso. Lo cual da por resultado, que si el individuo en estado de reposo gasta 100 de oxígeno, trabajando gasta un exceso equivalente á 15 por ciento.

A pesar de la fatiga, en este último caso, el dolor en las sienas era más suave y después se desvanecía más pronto; lo que, parece probar que depende más inmediatamente del mayor tiempo que se respira en un aire impuro, que de la cantidad de ácido carbónico que contiene.

Por el resumen de las pruebas que acabo de hacer, se viene en conocimiento de dos circunstancias que parecen estar en contradicción con dos afirmaciones de M. Leblanc, antes notadas. La primera hace referencia á la insalubridad de una atmósfera que contiene 1 por 100 de ácido carbónico; nosotros hemos respirado dentro de un aire que teniendo á los 45 minutos de estar encerrados dicha porción de ácido carbónico, hemos continuado durante siete cuartos de hora respirando el mismo aire gasta contener 3'35 por 100 de dicho gas. La segunda consiste, en que no es inmediatamente, asfixiable una atmósfera cuyo oxígeno sea de 16'80 por ciento y esté representada su falta de 4 por ciento, por otros 4 por ciento de ácido carbónico y vapores de agua. Muchas veces hemos respirado una atmósfera de peores condiciones, sin que hayamos sufrido más que las ligerísimas alteraciones en nuestra salud, de que he dado cuenta. De las pruebas descritas resulta que gastando por individuo á razón de 23 litros de oxígeno, á las 2 horas teníamos la proporción de 16'80 por ciento, y sin embargo, hemos podido todavía permanecer 30 minutos más encerrados, y emprender en seguida, sin abrir la escotilla, el trabajo de llenar de aire las vejigas de flote. Yo estoy satisfecho de haber esclarecido este punto de fisiología interesantísimo al *Arte de navegar por debajo del agua*.

Sometidos los exploradores submarinos á un régimen de aire en que constantemente el ácido sea absorbido, los vapores de agua condensados y el oxígeno en la proporción debida, no se experimenta ningún malestar durante el tiempo de seis horas; transcurridas las cuales el aire del Ictíneo se encuentra en las mismas condiciones del ambiente libre, de lo que deduzco

que los exploradores podrían vivir indefinidamente incomunicados sin experimentar otra incomodidad que la natural tristeza que infunde el encerramiento en una cámara subacuática, donde todo es sombrío, aunque se navegue a flor de agua.

Desde el momento que empieza la sumersión, debe ponerse en marcha el ventilador que aspira el aire de proa del Ictíneo y lo arroja á popa, después de haber pasado por una disolución alcalina; y á pesar de no ser necesario, yo opino que es mejor que marche constantemente y mientras dure la prueba; porque los órganos de purificación son los que infunden mayor confianza y tranquilidad á los tripulantes submarinos.

Cada media hora debe generarse una cantidad de oxígeno equivalente á 16 litros por cada una de las personas encerradas. El oxígeno generalmente lo obtengo del clorato de potasa mezclado con el peróxido de manganeso á favor de la combustión del zinc ó del hierro dulce; la manera de generarlo está descrita en los complementos á la corriente del oxígeno obtenido se dirige, á la general del conducto aspirante del ventilador, á fin de que se mezcle perfecta con el aire y se purifique al pasar por la disolución alcalina, donde dejará el ácido carbónico que la impureza de los materiales trae consigo.

El oxígeno naciente carece de transparencia, hasta el punto de impedir que la luz de una vela sea visible á cinco metros de distancia en una cámara de 29 metros de capacidad, donde se hayan generado trescientos litros de oxígeno; y esta falta de transparencia subsiste por más de una hora: lo cual era un gran inconveniente, tanto por la oscuridad que ocasionaba, como por afectar la moral de la tripulación. Juzgué que este defecto debía proceder de un movimiento molecular muy poderoso que adquiere el oxígeno al divorciarse del cloro, y que este movimiento se templaría concentrando el mismo oxígeno, á fin de que cada una de sus moléculas encontrarse en las inmediatas, movimientos iguales, capaces, por lo tanto, de influirse mutuamente y llegar de este modo á la armonía de la transparencia. En efecto; produciendo el oxígeno en un recipiente herméticamente cerrado, donde deba adquirir una tensión de dos atmósferas, y dejándolo así comprimido no más que el tiempo de cinco minutos, sale tan transparente y oloroso como el aire de los bosques.

En estas pruebas, la presión interior alimenta desde el principio al fin, conforme crece la temperatura, lo cual está conforme con la teoría.

Nada más hay que observar, nada que decir, sino expresar la satisfacción que experimentábamos sabiendo que la atmósfera que nos rodeaba era constantemente purificada y que recibía una corriente de aire vital, que pocos momentos antes estaba en estado sólido, y que la reacción del zinc pulverizado y del peróxido de manganeso había producido bastante calor para arrancarlo del clorato de potasa.

Es indudable, pues, que con productos; gaseosos artificiales, aunque provengan directamente del reino mineral, puede alimentarse la respiración de los animales, lo cual se ha probado muchísimas veces en las cámaras de los dos Ictíneos. Ya Lavoisier había dicho que, mezclando los dos fluidos elásticos que componen el aire, fluidos obtenidos separadamente, se forma un aire en todo parecido al atmosférico, y que, casi á un mismo grado, es propio para la combustión, la calcinación y la respiración de los animales.

El oxígeno que hemos respirado provenía del bicromato de potasa, del clorato de la misma base y del peróxido de manganeso: en cualquiera de los tres casos, nuestra respiración ha sido natural, como si nos encontrásemos en plena atmósfera; y no hemos observado durante nuestro encerramiento, ni después de salir de él, ningún síntoma, ni la más ligera señal, ni vicio en nuestras funciones. Estos experimentos tienen su importancia, por cuanto el oxígeno que nos suministra la Naturaleza procede en su totalidad del reino vegetal todo el existente en estado

libre, en la atmósfera ha sido eliminado del ácido carbónico y del agua mediante la acción combinada de las plantas y la luz; ha sido depositado en el aire en estado de ozono, y ya sabemos que en este estado posee propiedades eminentemente activas. Ahora bien: cuando el ozono pasa al estado neutro ¿adquiere alguna nueva propiedad que le distinga del oxígeno eliminado de sustancias inorgánicas y que le haga impropio para la respiración? Los experimentos que hemos hecho prueban que el oxígeno así obtenido es tan propio para la vida respirativa, como el que pone en libertad el reino vegetal.

En el primer Ictíneo lo extraímos del bicromato de potasa por medio del calor y del ácido sulfúrico, cuya operación se verificaba fuera de la cámara donde lo llevábamos almacenado para las pruebas.

En el segundo, y antes de tener motor submarino, lo sacábamos del clorato de potasa, dentro del mismo Ictíneo, durante las sumersiones y á medida de las necesidades de la respiración.

Ultimamente, cuando ha estado de una manera definitiva instalado el motor en el Ictíneo, se desprende, de la misma combustión, cuyo calor es la fuerza que ha sustituido la de nuestros brazos: en este caso, en gran parte, proviene del peróxido de manganeso.

De cualquiera de estas tres procedencias el oxígeno es respirable: en ninguna prueba, repito, hemos echado de menos, bajo este aspecto, el libre ambiente, aunque el tiempo se haya prolongado á más de ocho horas.

Ignoro, como ya he observado en otra ocasión, si en mayores periodos de encerramiento en una atmósfera artificial, podrían desarrollarse condiciones que dificultasen la respiración; sin embargo, sean cuales fueren esas condiciones no me dan ninguna pesadumbre; porque el término de ocho horas es un período suficiente para las actuales necesidades de la navegación submarina, ya se refiera á la industria, ya á la guerra marítima, y aun á ciertas exploraciones científicas.

Más adelante, cuando el empleo de la cámara del Ictíneo requiera mayor conocimiento de la atmósfera, se verán los inconvenientes que acaso pueda ofrecer el sustraerse el hombre por largo tiempo á la acción de los agentes naturales. La luz del sol, por ejemplo, es indispensable todo ser organizado; pero así las plantas como los animales pueden vivir por algún tiempo privados de sus rayos, y aun los animales, tal vez, de una manera indefinida: ¿podrán vivir asimismo y por un tiempo también indefinido sustraídos á las corrientes del aire atmosférico? ¿Qué calidades adquiere en su perpétuo movimiento del ecuador á los polos, de los mares á las tierras, de las montañas á los valles, aromatizándose con los olores de la vegetación, ya humedeciéndose, ya secándose, y continuamente penetrado por la electricidad y el magnetismo, por la luz y el calor, y tal vez por otras fuerzas de nosotros desconocidas?

Estas últimas, que llamamos catalíticas y de cuya existencia tenemos pruebas irrefragables, tanto en el orden químico por las reacciones suaves ó violentas que provocan, como en el físico y aun mecánico, por las rupturas que experimentan ciertos cuerpos por choques insignificantes cuyos resultados en efectos mecánicos son muy superiores á la causa aparente que los ha producido, estas fuerzas, repito, ¿tienen aplicación en los organismos?; la Naturaleza ¿las emplea en sus funciones vitales?; ¿serán indispensables para dar ciertas condiciones al aire destinado á la respiración?

Este estudio, mucho más grave de lo que á primera vista parece, hubiera yo podido acometerlo de una manera indirecta, esto es, con la permanencia prolongada dentro del Ictíneo de grandes dimensiones, que me ofreció el Gobierno, y hoy sabríamos ya á que atenernos sobre tan importante materia; pero referido este estudio á un Ictíneo de pequeñas dimensiones, que

no consiente satisfacer otras necesidades que las que atañen á la respiración, el tiempo de prueba está limitado á unas ocho horas, y no es posible completar ni aun continuar dicho estudio.

En prueba de que no hay inconveniente en prolongar de una manera indefinida la permanencia de los animales en una atmósfera artificial, no hay más que fijarse en los interesantes experimentos que recientemente los Sres. Regnault y Reisel han practicado sobre animales encerrados, durante muchos días, junto con sus alimentos, con el objeto de indagar en qué cantidad de oxígeno contenido en el ácido carbónico espirado, difería de la cantidad de oxígeno que había desaparecido de la atmósfera limitada en una campana de cristal; y si estas diferencias tenían relación con la alimentación, la clase de animales y sus tamaños relativos y absolutos.

No reseñaré en este capítulo las conclusiones de estos estudios<sup>21</sup>, sólo me limitaré á consignar cuanto de esencial han practicado que tenga aplicación á los Ictíneos, pues que no son ya las ocho horas, de que yo hago mención, sino días los que han pasado los animales encerrados, alimentándose y respirando en una atmósfera artificial. Por manera que la tesis que he sostenido siempre, de que el oxígeno, tanto si procede del reino vegetal, como del mineral, es igualmente propio para oxigenar la sangre, queda fuera de toda duda, al menos durante algunos días y probablemente de una manera indefinida.

Conviene que los exploradores subacuáticos estén prevenidos sobre la influencia nociva que ciertos gases ejercen en la economía animal (de los cuales me ocupo en el *Complemento* á este capítulo que se encontrará en la SEGUNDA PARTE) y que pueden generarse, por determinadas reacciones químicas. Siempre que se intente alguna nueva, por ventajosa que sea al arte submarino debe estudiarse cuidadosamente bajo este aspecto, antes de llevarla al interior de la cámara.

En la actualidad, el Ictíneo es bastante, perfecto para impedir la formación de gases deletéreos; sólo deben combatirse el ácido carbónico, gases intestinales, y la materia albuminosa que transpiramos y que entra fácilmente en putrefacción. Todos desaparecen en el purificador.

La materia albuminosa que excreta el hombre por la transpiración cutánea y pulmonar ha sido objeto de un delicado estudio de Lemaire. Se ha recogido esta sustancia á favor de un globo de cristal lleno de nieve colocado en el centro de una cuadra de un cuartel de soldados, desde las cuatro á las cinco y media de la mañana en la cual había veinte camas ocupadas desde las nueve de la noche anterior. Condensáronse seis gramos de agua cuyo olor era el de la cuadra y sabor algo picante: contenía el líquido, mirado con el microscopio y seis horas después de condensado, cuerpos esféricos, ovalados, cilíndricos regulares ó irregulares de 1 á 2 milésimas de milímetro de diámetro en número tan considerable que una sola gota contenía millares. Sucesivamente se fueron metamorfoseando en animalillos que ejecutaban movimientos rápidos en todos sentidos y otros llamados *bacterios y vibriones*.

Dentro de los Ictíneos, los gérmenes de estos animalillos serán arrastrados en la corriente de aire del purificador, en cuya disolución alcalina quedarán curtidos; y así no podrán desarrollarse el tifus y otras enfermedades de que se les supone ser la causa y fundamento. Si, á pesar de esto, el examen microscópico acusara su existencia, indudablemente desaparecerían por la adición del ácido sulfúrico en el purificador, en una pequeña cámara especial y dispuesta en sitio conveniente.

La cal absorbe el ácido carbónico cuando éste pasa muy dividido en una lechada que contenga *diez* de agua por *uno* de cal. Cinco gramos son suficientes para absorber rápidamente

un litro de este ácido. Si, como he dicho antes, un hombre produce por hora 16 litros de ácido carbónico, 2 kilogramos de cal y 20 litros de agua pueden absorber el que produciría un hombre durante 24 horas.

Las excursiones científicas de los Ictíneos, aunque pidieran muchos días de observación constante, no exigirían por este motivo grandes espacios destinados á la purificación del aire á favor de la lechada de cal.

En este capítulo y en su complemento he expuesto cuanto sé que interesar pueda á las cámaras submarinas con referencia á la atmósfera y á las funciones de los reinos vegetal y animal. Quizá no baste para satisfacer todas las condiciones que á la vez exigen la higiene y la permanencia indefinida del hombre en ese pequeño mundo artificial; sin embargo, para las actuales necesidades de la navegación submarina, creo ser suficiente la resolución que he dado á esos problemas trascendentales que se resuelven por medios tan sencillos y tan seguros como la producción de oxígeno, á intervalos marcados por la necesidad de la respiración; la absorción del ácido carbónico por los álcalis; la condensación de los vapores de agua, y la destrucción de los miasmas.

## Motor submarino

Desde muy temprano el hombre se ha aprovechado de otras fuerzas, además de las propias suyas musculares, tanto para su industria como para la destrucción de sus enemigos.

Las fuerzas de los animales, del agua y del viento, durante siglos, han sido las únicas de que ha dispuesto el hombre para su trabajo, para el acarreo, para el comercio, hasta la invención del vapor; si bien para la guerra había ya encontrado la pólvora. Hasta ahora no ha podido aplicarse á la industria, cuyo trabajo desempeñado por este agente resultaría caro, aunque se lograra reducir su viveza, demasiado instantánea y rebelde, á la sujeción, docilidad y mansedumbre con que se presta el vapor de agua á todas las evoluciones que le imponen los admirables mecanismos inventados por Watt y los maravillosos órganos inyectadores descubiertos por Giffard.

Acerca del empleo de la pólvora, como motor aplicado á la industria, se cita al astrónomo, miembro de la Academia de París, Huygens, holandés de nacimiento, que fué llamado á Francia (según Aracero, por las liberalidades de Luis XIV y el celo inteligente de Colbert), y que los edictos contra los protestantes arrojaron del suelo francés.

Huygens encendía la pólvora en un cilindro: la expansión de los gases movía el émbolo que recorría un cierto espacio a la extremidad del cual volvía á verificarse una nueva combustión de pólvora que movía el émbolo en sentido contrario, y así obtenía un movimiento de vaivén que más tarde se aprovechó para la utilización de la fuerza expansiva del vapor de agua en la máquina llamada de vapor.

Según los interesantes experimentos de Bunsen y Schischkoff, la pólvora, en el acto de la inflamación, desarrolla una temperatura de 3,340 grados, una fuerza expansiva de 4,500 atmósferas, y un trabajo teórico de 67,410 kilogrametros por cada kilogramo de pólvora consumido<sup>22</sup>.

Para la industria, el comercio, y los viajes rápidos, basta la fuerza de la máquina de vapor, y aunque también ha sido suficiente para sujetar la superficie de nuestro globo y es poderosa para procurar el bienestar general, sin embargo, han aparecido otros motores fundados en la electricidad, que hemos visto funcionar en los talleres del habilísimo Mr. Froment; en la del aire, inventados por Ericson y perfeccionados en Barcelona por nuestro amigo Reilein; fundados en la combustión de los hidrocarburos por Lenoir, que vimos operar en el Sena y en la última Exposición Universal de Londres; y, por fin, en el calor solar aplicado á evaporar agua y á calentar aire.

Mas, para dominar las elevadas regiones de la atmósfera y el mundo submarino, no bastan las combustiones ordinarias ni el empleo de las fuerzas expresadas; si se encomedaran las conquistas de ambos imperios á las condiciones, actuales de la utilización del calórico, el hombre se vería condenado á no poder salir del vasto paraíso que ocupa sobre la tierra, dejando á las aves y á los peces sus dominios respectivos. Uno y otro dependen de motores especiales que cada uno exige. Fuerzas poderosas y dóciles al mismo tiempo reclama el imperio de los aires; organizaciones mecánicas parecidas á las aves, cuyos aparatos respiratorios y actividad digestiva y muscular desarrollan una fuerza proporcional diez veces superior á la del hombre. Así, en poco tiempo, pueden elevarse á considerable altura, y atravesar luego dilatados países

sin grandes esfuerzos y con la rapidez que imprime la gravedad á los cuerpos que libremente la obedecen.

Fuerzas relativamente débiles suponen los aparatos destinados, como el pez, á recorrer los espacios submarinos. En efecto: el sistema de respiración de estos animales es imperfecto; gasta poco oxígeno; hay por lo tanto en sus órganos una combustión moderada, y ya se sabe que las fuerzas animales son proporcionales al carbono ó hidrógeno quemados. Por otra parte, cuando el hombre nada y se sumerge, atraviesa con facilidad las aguas, á pesar de ser sus formas impropias para este objeto, y de no poder, como el pez, hacerse más ó menos denso. Por lo tanto, las fuerzas destinadas á la locomoción y gobierno de la densidad de los Ictíneos son suficientes si alcanzan la proporción de las ejercidas por los peces: la ley de las correlaciones orgánicas, es ley también en los organismos mecánicos y aun en las máquinas comunes.

El hombre consume mucho más carbono é hidrógeno que el pez, y desarrolla una fuerza proporcional que, á falta de datos más precisos y sacados directamente del estudio comparado de los mamíferos y de los peces, vamos á deducir de una comparación también, de la de los dos medios en que respectivamente viven.

El agua de mar contiene 0'026 de su volumen de aire disuelto, en cuya composición entra el oxígeno por 30/100. En un metro cúbico de agua de mar hay, pues, unos 8 litros de oxígeno disueltos; en igual volumen de aire atmosférico hay 208, esto es, 26 veces tanto oxígeno como en un metro cúbico de agua. Si las fuerzas de los mamíferos y de los peces corresponden á esta proporción, será natural suponer en el hombre, á igualdad de volumen, una fuerza 26 veces superior á la del pez.

Si el hombre pudiese respirar dentro del agua, desarrollaría en la natación fuerzas muy superiores á las de los peces; mas para que la vida respiratoria pueda ejercerse en toda su plenitud, es necesario que se encierre en un aparato cuyas formas y órganos sean iguales ó parecidos á los de aquellos animales. Este aparato ocupará dentro del agua un volumen muy superior al del cuerpo humano, y la experiencia me ha enseñado que cada hombre necesita un metro cúbico de aire, para poder fácilmente purificarle y restituirle el oxígeno que va consumiendo.

Si á esta cantidad de metros cúbicos	1,000
añadimos:	
El volumen del cuerpo humano	0'060
El de la máquina interior	0'030
El de las paredes de la cámara interior	0'100
El de las vejigas de flote, para hacer posible la entrada y salida de dentro del Ictíneo	0'100
Y el del revestimiento exterior para suavizar las formas y resguardar los útiles del trabajo	1'000
Tendremos por cada hombre encerrado en un Ictíneo, un volumen de	2'200

O sea un volumen 38 veces superior al del cuerpo humano.

Antes de relacionar este volumen con la fuerza humana y la del pez, debemos hacernos cargo de las resistencias nocivas que tiene todo aparato mecánico y de la fuerza necesaria para purificar el aire, y bajo ambos conceptos, disminuirá la nuestra de una tercera parte; y así como la total, comparada á la del pez, era de 26 quedará el efecto útil reducido á 19.



Por una parte tenemos fuerza igual á la que desarrollarían 19 peces de un volumen exactamente igual al nuestro, y por otra un volumen de aparato 38 veces el del cuerpo humano; por consiguiente el hombre encerrado en un aparato ictíneo, que debe penetrar como el pez por el seno de las aguas, si no dispone de otro motor que el muscular, su fuerza es sólo la mitad de la de un pez que midiese un volumen igual al del aparato. En este caso la velocidad del aparato sería sólo una cuarta parte de la del pez.

Bajo estos principios que quizá sean verdaderas bases para motores submarinos se han construido los primeros Ictíneos que han navegado en las aguas de Barcelona; y no teniendo todavía mejores datos, así seguiré construyendo los demás, aunque resultarán mejorados en la marcha, por razón de poder aumentar la fuerza, ya que dispongo de un motor inanimado.

Como hemos visto, para que podamos navegar por debajo del agua no con la mitad, sino con iguales ventajas á las del pez, necesitamos por cada  $2^{m^3}290$  la fuerza de 2 hombres; y siendo la de éste de 8 kilográmetros y la de un caballo de vapor de 75, tendremos que bastará la de un caballo por cada  $10^{m^5}$  del volumen del aparato submarino. Si los grandes Ictíneos se acomodasen al tipo de fuerza media de los buques blindados, que es de un caballo por  $4^{m^3}$  de desplazamiento, yo sospecho que se adquirirían velocidades parecidas á las de los cetáceos; y esta rapidez en la marcha tendría su aplicación á la guerra marítima, en una esfera más ancha que la de defensa de puertos y costas. Sin embargo, para ésta, y para las aplicaciones industriales y científicas, la fuerza será suficiente si corresponde á un caballo de vapor por cada  $10^{m^5}$  de volumen, sin otro cuidado ni otra mira que la de ser susceptible de aumento para casos especiales, lo cual estaría conforme á la manera con que procede la Naturaleza.

Así como todos los animales almacenan fuerzas en sus músculos para casos extraordinarios, así también el motor de los Ictíneos deberá tenerlas almacenadas para poderlas desplegar en casos idénticos, con el objeto de huir de una corriente ó con el de atacar al enemigo ó burlar su vigilancia, y en general con el de alcanzar un sitio de refugio. Por manera que una fuerza constante poderosa no es necesaria, con tal que se pueda contar con ella en casos especiales.

Si esta fuerza es el calórico aplicado al agua, entonces los depósitos de vapor de las calderas de los Ictíneos deberán ser muy grandes á fin de tener almacenada mucha fuerza para los casos, especiales á que he hecho referencia; pero sin olvidar que la actividad de la combustión también podrá excitarse, en un momento dado, á fin de lograr por el tiempo requerido el desarrollo de la potencia extraordinaria reclamada por la utilidad de las operaciones y la salvación de los Ictíneos.

Se desprende de lo dicho que siendo la fuerza normal para la marcha submarina un caballo de vapor por cada  $10^{m^3}$  de capacidad interior, la extraordinaria deberá ser mucho mayor: me atrevo á señalar desde ahora que á lo menos deberá ser su cuádruple, á fin de doblar la velocidad en el andar.

Del examen de los motores hoy día en uso, resulta que, la máquina de vapor marina y la de Ericsson, la máquina de Lenoir y la eléctrica, no cumplen con las condiciones exigidas por la navegación submarina. Las dos primeras por estar fundadas en la combustión del carbono, la cual da una cantidad enormísima de ácido carbónico; la de Lenoir, porque debajo de agua, debiera estar fundada en quemar hidrógeno puro, para cuya producción se exigirían cantidades enormes de ácidos corrosivos que harían peligrosa la estancia dentro de los Ictíneos; y la eléctrica, porque aun cuando pudieran precaverse las emanaciones venenosas de las pilas, no ofrece, desgraciadamente, un motor poderoso.

El motor submarino, si esto fuera posible, no debiera estar fundado en la emisión de calórico, á fin de evitar la vasta extensión de superficie refrigerante indispensable para

trasladar al exterior el calor sobrante; pero no pudiendo usar ni de la electricidad, por no saber producirla en grandes cantidades y en reducidos espacios, ni saber luego utilizarla de una manera no sabiendo tampoco aprovechamos de la corriente magnética de la tierra, ni, en general, de la afinidad química, mucho menos de las fuerzas catalíticas, he debido fijarme en el calor, ya que aplicado á la evaporación del agua, me ahorra al menos todos los estudios y pruebas que exigen los receptores de las fuerzas.

Antes de pasar adelante debo confesar que todos mis para obtener alguna fuerza de la osmose se han estrellado contra la debilidad de las membranas ó en la obstrucción de los diafragmas.

También he de confesar mi ineptitud con referencia á obtener algún resultado de la vibración de los cuerpos sonoros, sobre lo cual y á pesar de ser ajeno á este asunto, he de llamar la atención de los inteligentes ya que el fundamento de mis ensayos descansaba sobre la existencia de fuerzas catalíticas que podían desarrollarse á favor de las ondulaciones sonoras.

Para mí ha sido siempre un fenómeno mecánico muy extraordinario, que un cristal, una campana, una barra de acero, templada ó no, tina roca, y en general todos los cuerpos duros y granujientos, se rompan por efecto de las vibraciones ocasionadas por uno ó muchos golpes, cuya fuerza es insignificantisima comparada al esfuerzo mecánico que se necesitaría si, por tracción, debiese producirse el mismo efecto. Cuando se fija la atención en las frecuentes roturas de los árboles cigüeñales, los ejes de los carros comunes, y sobre todo en las ocasionadas en las barras de hierro por una baja temperatura, uno no puede menos de reconocer una fuerza catalítica difícil por ahora de explicar, y comparable á la que reside en las elipsoides de cristal llamados: *lágrimas de Holanda*.

Entre tanto que desconozcamos estas fuerzas, en el terreno mecánico, y en los casos ya indicados, deberemos suponer que en los expresados cuerpos reside una que está equilibrada y cuya manifestación depende de las vibraciones; de la misma manera que el agua contenida en un depósito producirá un grande efecto mecánico el cual parecerá producido por el levantamiento de la esclusa.

Observando estos efectos y recayendo algunos en cuerpos sonoros, supuse en éstos un aumento de volumen, indicado por las vibraciones; aumento que podía llegar á la ruptura en los nudos ó en los vientres ya que con tanta facilidad se quiebran.

Si había en realidad este aumento de volumen, entonces era necesario recurrir á una fuerza extraña, á fuerzas cósmicas, esparcidas por todos los cuerpos de la naturaleza y que una de sus manifestaciones consistirá en movimientos vibratorios; de la misma manera que el éter se exhibe por las ondulaciones lumínicas.

Que los cuerpos sonoros, cuando vibran, aumentan de volumen parecían indicarlo los experimentos de Savart y Saint-Auge.

Así es que sintiendo la falta de un motor submarino, me resolví á probarlo. En una caja de hierro, puesta vertical, de sección cuadrada, cuyos lados eran de 42 milímetros y cuya longitud era de dos metros, encerré herméticamente una barra de bronce de campanas de igual longitud y de 40 milímetros de lado, sostenida dentro de la caja en dos de sus nudos; el extremo superior de la caja estaba cerrada con una tapa y el inferior por un tubo en U lleno de agua; en la extremidad libre del tubo en U había ajustado otro recto vertical de cristal de 4 milímetros de sección interior por donde debía subir el agua, en el caso que en el interior de la caja hubiese un aumento de volumen. Las vibraciones repetidas en la barra de bronce no hicieron subir por el tubo de cristal ni una molécula de agua; lo que prueba que los cuerpos sonoros no aumentan

de volumen á favor de las vibraciones, aunque durante éstas sean alteradas realmente sus dimensiones.

Sin embargo, en los experimentos de Savart descritos por Daguin<sup>23</sup>, se asegura que una barra de latón cilíndrica de 34<sup>mm</sup>95 de diámetro y de metros 1'40 de longitud, á favor de las vibraciones, se prolonga de milímetros 0'60; que cuando las vibraciones son muy enérgicas, pueden ocasionar la ruptura de la barra la cual se divide en pequeños, anillos, como lo ha demostrado Saint-Auge, sobre bastones de vidrio. Si á estos ejemplos unimos los que todos hemos observado en los cuerpos que llamamos por este motivo *frágiles*, si comparamos el considerable esfuerzo que por tracción hubiera sido necesario para producir iguales efectos no podremos menos de sospechar la existencia de fuerzas catalíticas que obran en determinados cuerpos, produciendo efectos mecánicos; fuerzas ya admitidas en el orden químico, cuyo estudio es del mayor interés; fuerzas á que he dado yo el calificativo de *cósmicas, y de las cuales he sacado partido* para la navegación submarina.

Siendo tan reducido el número de fuerzas inanimadas de que puede disponer el hombre, en el estado actual de los conocimientos que tiene sobre los agentes naturales, y siendo tan cómodo después de los estudios de Watt, el empleo del calor como fuerza, me fijé que en la desarrollada por las combustiones. Los combustibles hasta ahora empleados para la emisión de calor, son vegetales. En ellos el hidrógeno, el carbono, el ázoe y el oxígeno se han unido absorbiendo luz y calórico, y se han constituido en estado sólido; el estado sólido se debe á la fuerza solar; ella los mantiene unidos. Si por cualquier medio nosotros sustráemos la fuerza solar, se deshará la unión, y les restituiremos á su primer estado. Ya hemos visto en el capítulo de la respiración, que estos cuerpos constituyen la atmósfera; que, son el mismo aire en forma de organismo, y que su destino es volver á su primer estado á favor de la combustión animal. Si los empleamos, pues, como combustibles en nuestras máquinas, necesitamos un espacio grande, una atmósfera, lo cual no es posible en navegación submarina.

¿Qué hizo la Naturaleza, de qué medios se valió para la formación de los vegetales? Las fuerzas cósmicas elaboraron las primeras materias; y los rayos solares, después, han continuado el trabajo.

Las fuerzas cósmicas son las que han formado el reino que llamamos mineral: en él residen aquellas fuerzas representadas por combinaciones de materia, cuyo estado inmediato anterior fué también el estado sólido. Unidas estas materias por la fuerza cósmica, si el hombre logra sustraerla para aplicarla á sus usos, tendrá productos que afectarán su estado anterior inmediato, el sólido. Pues bien, lo natural es buscar en el reino mineral los elementos de las fuerzas que necesitamos para nuestra cámara submarina, y cuya acción no necesite grande espacio para desarrollarse.

Reduzcamos, por un supuesto, todas las fuerzas de la Naturaleza á una sola; la atracción por ejemplo, ya que con este carácter se han presentado las fuerzas cósmicas que formaron el sol y nuestro sistema planetario, y ya que la materia conglomerada subsiste en este estado por la atracción.

Si la atracción ha unido la materia que estaba distribuída en el espacio y la ha hecho más densa, podríamos representar un cuerpo cualquiera, bajo esta fórmula: un cuerpo es *igual á densidad primitiva, más atracción*.

Y si esta ecuación es verdadera, todas las demás fuerzas no son más que maneras de manifestarse la atracción.

La atracción produce movimiento; el movimiento en la presión, en el choque, y en el roce, produce luz y calor; y éstos, en cierto estado y combinados con el movimiento, producen electricidad, magnetismo, afinidad química, fuerza orgánica y fuerzas catalíticas.

Por consiguiente, todo cuerpo es un agregado de sustancia cósmica, sujeta por fuerzas cuya suma es igual á la atracción que lo ha producido: estas fuerzas que residen en los cuerpos y que están ocultas, se manifiestan, entre otras maneras, por reacciones químicas que el hombre va estudiando y aplicando á sus necesidades.

Estas fuerzas son considerables; representan el trabajo ejercido durante el tiempo necesario para pasar de su estado primitivo de materia difusa, al estado actual; y si para formarnos concepto del valor de estas fuerzas, nos entregamos á comparaciones de densidad entre cuerpos ya agregados, encontraremos resaltados que rayan en lo fabuloso. Si debiéramos mantener el hidrógeno á la densidad del hierro, necesitaríamos una presión constante, de más de 4,000 atmósferas. ¡Qué fuerzas se habrán empleado en el éter para adquirir la densidad de la materia de los cometas, y en la de éstos para la del hidrógeno! Y sin embargo residen en los cuerpos y de ellas podremos aprovecharnos, cuando conozcamos mejor las propiedades intrínsecas de la materia, objeto á que tienden los estudios que para el Ictineo emprendí.

Fundado en este raciocinio, y después de muchos ensayos pude anunciar en una de mis Memorias, el siguiente principio, que es uno de los medios que da resultados más insignificantes, sin duda para hacer patentes las fuerzas cósmicas:

«Cuando dos ó más cuerpos, capaces de formar combinaciones que, por vía seca, desarrollen abundante calor, se encuentran muy divididos íntimamente mezclados, y en las proporciones indicadas por sus equivalentes químicos, estos cuerpos se reaccionarán y la reacción se propagará á toda la masa, si un agente cualquiera ha determinado la combinación en un punto de ella.»

Este principio aplicado á la oxidación, sulfuración, y reducción de ciertos metales, es cierto y se hace evidente por los hechos.

Sea un peróxido,  $MO^2$ , por ejemplo; cederá por vía seca parte ó todo su oxígeno al cuerpo simple metálico  $x$ , en los casos que  $x$  al unirse con el oxígeno, desarrolle una temperatura superior á la que emitió  $M$  al combinarse con el oxígeno.

Para que tengan lugar estas reacciones, es necesaria una temperatura inicial suficiente, para provocar la reacción en una pequeña parte de la mezcla del peróxido con el cuerpo simple; luego sigue de ella misma la reacción y se propaga por toda la masa, porque en toda ella se encuentran los cuerpos íntimamente mezclados con el calor necesario para formar la nueva combinación.

## EJEMPLOS DE OXIDACIÓN

1.º 3 partes de nimio ( $4 PbO, PbO^2$ ) y 1 de zinc íntimamente mezclados, sin excitante alguno, arden dentro un tubo de hierro de 6 centímetros de diámetro, á pesar de estar la mezcla muy apretada; quedan como residuos; plomo reducido, y óxidos de plomo y zinc.

2.º Partes iguales de peróxido de hierro seco y zinc y un poco de clorato de potasa como excitante, arden vivamente en un tubo de hierro de 4 centímetros de diámetro, cuyas paredes de 2 milímetros de espesor, toman la temperatura del color rojo oscuro.

3.º El óxido rojo de manganeso, cede también una parte de su oxígeno al zinc; lo cede también al azufre, y en uno y otro caso el óxido rojo queda reducido á protóxido; la temperatura que desarrolla es poca.

4.º 2 partes de bicromato de potasa y 3 de sulfuro de plomo arden tranquilamente sin que se desprenda ácido sulfuroso. Después de la reacción, el peso de los residuos es sensiblemente igual al de la mezcla primitiva.

5.º 2 de peróxido de manganeso seco por 1 de zinc arden en un tubo de 6 centímetros desprendiéndose el ácido carbónico que traen consigo los peróxidos del comercio.

6.º El litargirio excitado por el clorato de potasa cede su oxígeno al sulfuro de plomo y al hierro colado.

Todas estas reacciones tienen un carácter tan tranquilo que son aplicables en navegación submarina. -Estas reacciones constituyen el motor del Ictíneo.

No debe hacerse uso de la reacción de los nitratos sobre el hierro por las razones que voy á exponer:

1.ª La combustión por los nitratos desarrolla gran cantidad de gases.

2.ª Haciendo uso del nitrato de sosa no debe prepararse la mezcla sino con dos ó tres días de anticipación, porque la combustión empieza desde el momento que el hierro está en contacto con el nitrato, lo cual se echa de ver por el aumento de temperatura.

3.ª Los cilindros de hierro que contienen la mezcla han de estar rajados de vino á otro extremo á fin de dejar libre salida á los gases, y esto es un grave inconveniente para el transporte.

4.ª No puede la mezcla estar apretada, porque cuando arde aumenta de volumen y abre los cilindros; y ya que no puede estar apretada, tampoco pueden cebarse los cilindros con antelación, pues que en el transporte se mezcla el cebo y la mezcla.

5.ª Porque es muy difícil señalar la proporción del nitrato con el hierro; pues que si la cantidad del nitrato es escasa, entonces el hierro descompone el agua del nitrato y se forma amoníaco, y si el nitrato está en exceso se forma protóxido de ázoe.

Y como en el cambio de cilindros de mezcla no es posible evitar que una pequeña parte de estos gases se mezcle con el aire de la cámara del Ictíneo, de aquí que sea peligroso hacer uso de los nitratos como comburentes.

6.º Los gases, al pasar á sus depósitos, arrastran gran cantidad de sosa cáustica que obstruye los conductos.

Por todas estas razones, debo aconsejar á los que se dediquen á la navegación submarina, que proscriban el uso de los nitratos. Es verdad que la temperatura que desarrolla esta combustión, es grande; es verdad que el hierro colado y nitrato son baratos; pero los inconvenientes son algo graves; yo me resolví á abandonar este medio y á hacer uso de otras mezclas más caras; pero de resultados más higiénicos y más cómodos en su preparación y uso.

Al abandonar los nitratos para las combustiones submarinas, escogí la sulfuración de los metales, cuya materia primera no es cara, cuyas temperaturas son ardientísimas y cuyos

residuos tienen valor comercial; á pesar de los buenos resultados que obtuve en la sulfuración del zinc, cuyo azufre era cedido, en gran parte, por las *galenas* naturales, no me atreví á continuar estos estudios, temiendo gastar un tiempo demasiado precioso, hasta conseguir una sulfuración tranquila y exenta de ácido sulfuroso.

La reacción que yo he estudiado con cuidado y que he aplicado al Ictíneo es la del peróxido de manganeso y el zinc, sobre la que he practicado experimentos á millares.

Mi objeto consistía en obtener una reacción que me diese una temperatura elevada y oxígeno para la respiración, y esto se obtiene á favor de la mezcla siguiente:

366 Zinc	75	
586 Peróxido de Mn	120	1 Kilg.=310 calorías.
48 Clorato de potasa	10	
1000	205	

Esta mezcla arde estando muy apretada, y si el peróxido de manganeso ha sido secado al fuego, de manera que haya abandonado toda el agua que contiene, la cual, es de 1 á 6 por 100, los cilindros concluídos, cebados y con la mecha pueden guardarse mucho tiempo, puesto que á los tres meses arden como si estuvieran recién hechos.

Para las manipulaciones de las mezclas, confección de los cilindros y demás operaciones, véase el capítulo titulado: *Manipulaciones*

Colocados los cilindros en las cámaras de combustión de la caldera, cerradas éstas y conducido el oxígeno que se desprende á una cámara especial donde se purifica y se hace transparente; la elevada, temperatura de la combustión se insinúa luego en el manómetro de la caldera; y si cada 30 minutos se ponen en las cámaras de combustión 30 kilogramos de mezcla, se obtiene una fuerza constante de más de un caballo de vapor.

Causa verdadero placer encontrarse encerrado herméticamente en una cámara donde funciona una máquina de vapor, cuyo fuego al mismo tiempo que provee al Ictíneo de la fuerza que necesita, alimenta la respiración de los tripulantes. Es necesario haber navegado con el solo auxilio muscular para sentir la dicha de poseer una fuerza inanimada submarina; de un motor que, además, da aire vital. No se oirán ya los sordos resuellos de la respiración fatigosa de los tripulantes; y al abandonar éstos la risueña morada de la atmósfera, tendrán mayor confianza, sabiendo que su seguridad no depende de sus harto débiles brazos, sino de la poderosa de la máquina de vapor.

En el segundo Ictíneo me han faltado medios para combatir la temperatura, siempre creciente, del principio al fin de los ensayos (en razón á ser la cámara interior de madera) y no tener recursos para, construir los refrigerantes tubulares, en que circularía el agua, trasladando al mar el calor que nos fatiga.

Si el segundo Ictíneo lo hubiese construído en la previsión de un motor fundado en el calórico, la cámara interior no hubiera sido de madera, y hoy estaríamos en las aplicaciones industriales que nos darian los capitales para perfeccionar nuestra obra. Mas los adelantos, los progresos en todo orden de ideas son lentos; se presentan sucesivamente, y el que ha de realizarlos depende, por lo común, de personas que no tienen ni pueden tener la perseverancia del inventor, ni su fe en los resultados. Así es que cuando he necesitado cubrir la caldera y una parte de las paredes de la cámara con refrigerantes tubulares en que circulara el agua del mar por diferencia de temperatura, no he encontrado medios para realizarlo, ni paciencia en los acreedores para esperar los resultados de las aplicaciones del Ictíneo.

## Segunda parte

Por menores referentes á la navegación submarina y al ictíneo

- I -  
El Mar

El mar se extiende sobre unas tres cuartas partes de la superficie terrestre: sin él no hay vida posible, á lo menos, tal cual la conocemos.

La acción constante del calor solar sobre la vasta superficie de las aguas alimenta la atmósfera de vapores que se precipitan en lluvias periódicas, las cuales mezclan y disuelven las sustancias de la tierra.

El agua, pues, es el vehículo que pone en contacto los elementos de la vida orgánica, que luego se desarrollan á favor del calor, de la luz, de la electricidad, de la afinidad química: la tierra se cubre de una vegetación riquísima y variada, nuevo elemento que, á su vez, da vida á millones de animales.

Así, donde quiera que busquemos la vida, debemos suponer la existencia de un disolvente que ponga los elementos en contacto para que se desarrollen las leyes á que están sujetos. Si sospechamos la vida en los astros y suponemos en ellos vegetación y animalidad, debemos imaginar la existencia de un mar (agua ú otro líquido) y de un moderador, depósito y distribuidor de las fuerzas físicas, esto es, de una atmósfera (aire ú otros gases): todo lo cual parece estar reunido en los planetas Venus, Marte, Júpiter y Saturno, especialmente en Marte.

**PROFUNDIDAD DEL OCÉANO.-** Esta masa de aguas que forma los mares continentales, polares y mediterráneos, tiene la forma de lúnula ó menisco, cuya parte convexa, mira hacia la atmósfera, y la cóncava hacia tierra. El mayor grueso de esta lúnula se ignora; sólo se sabe que, está en el hemisferio austral, que ofrece profundidades que una línea de 15,000 metros no ha podido medir. En efecto, el teniente Parker, de la marina de guerra norte-americana, sondeó el Atlántico Austral, y en ciertos puntos, con una línea de 50,000 pies, no encontró fondo.

**SALUMBRE Y PESO ESPECIFICO DEL AGUA DEL MAR.-** En los tres mares, Pacífico, Indico y Atlántico, las mayores, profundidades se encuentran en la parte austral; también en esta parte las aguas son más saladas y más posadas que en el hemisferio boreal. Sin embargo, la diferencia es pequeña, como puede suponerse, atendidos los continuos movimientos de las aguas sujetas á las corrientes, á las mareas y á las olas.

El peso específico del agua destilada á la temperatura de cuatro grados, y ocupando el volumen de un decímetro cúbico, es el término de comparación á que se refiere el peso específico de los demás cuerpos: el volumen es 1,000 centímetros cúbicos y el peso 1,000 gramos.

El peso específico del agua del Océano oscila entre 1,025 y 1,030; sin embargo, el término medio de un gran número de experimentos verificados con aguas sacadas de todos los mares, de un gran número de situaciones geográficas, de la superficie, de las aguas medias y profundas, es 1,026; la del Mediterráneo es 1,029.

Estos experimentos han establecido que:

El agua es más pesada hacia el Ecuador, que hacia, los Polos;

En las profundidades, que en la superficie;

Lejos de las costas, que cerca de ellas;



En el Océano, que en los mares interiores que se comunican con él, á excepción del Mediterráneo.

La mayor densidad del agua del mar es á  $-3^{\circ}6$  en calma, y agitada á  $-2^{\circ}5$ . Este máximo descendiende á menos grados cuanta sea la salumbre.

La salumbre del Océano sigue, como es natural, las mismas indicaciones del peso específico: es más salada en el Ecuador, que en los Polos; en el hemisferio Sur, que en el Norte; sin otra particularidad que la de ser las aguas del Pacífico menos saladas que las del Atlántico.

La mayor cantidad de políperos de las aguas del Pacífico, el in calculable trabajo que verifican, debe ser la causa de la menor salumbre de las aguas del Pacífico.

Las aguas disuelven las sales de la tierra, y los moluscos y los pólipos se las apropian. Ese gran número de islas de tan diferentes dimensiones, cubiertas de una vegetación pomposa, que abraza una extensión de muchos grados en latitud y longitud, y que forman casi ellas solas la parte del mundo conocida con el nombre de Oceanía, en su mayoría han sido levantadas desde el fondo del Océano hasta la superficie de las aguas, por la acción combinada de las fuerzas geológicas y la de esos infatigables obreros llamados pólipos<sup>24</sup>. Han sacado de las aguas las moléculas de cal, de óxido de hierro, de magnesia, y las han ido depositando una sobre otra, hasta formar esos terrenos calcáreos que los descubridores han encontrado ya poblados de salvajes. ¡Y continúan todavía su trabajo con tan portentosa actividad, que las islas van uniéndose entre sí!

Las materias disueltas en el agua del mar y que se encuentran en los residuos sólidos, son: cloro, bromo, yodo, fósforo, azufre, carbono, potasa, sosa, cal, magnesia, óxido de hierro, ácido sulfúrico, sílice é indicios de plomo, cobre, plata y de muchas otras sustancias de las que arrastran las aguas de los ríos; los seis primeros cuerpos se encuentran en estado de cloruros, bromuros, yoduros, fosfatos, sulfatos y carbonatos. El cloruro de sodio (sal común) es la más abundante de las materias disueltas en el agua del mar.

Contiene además en disolución varia, aire atmosférico, que sirve para alimentar la respiración de los peces y de las plantas marinas. Parece que la cantidad de aire disuelto, crece con la profundidad, pero no se sabe en qué proporción. En la superficie, según Gay-Lussac, el aire disuelto contiene 30 por ciento de oxígeno y 10 por ciento de ácido carbónico; pero según los experimentos verificados en agua traídas de diferentes profundidades y de los tres Océanos, par la fragata de guerra *Bonita*, en su viaje de circunnavegación verificado en 1836 y 37, las proporciones de oxígeno máxima y mínima son 4 y 10 por ciento respectivamente á las aguas superficiales y profundas, y las de ácido carbónico 10 y 30 por ciento. Peluze y Fremy, citando á Lewy y Morreu, dicen que por una serie de días buenos y junto á una vegetación marina abundante, la proporción de oxígeno puede aumentar hasta el 39 por ciento, y el ácido carbónico disminuir en igual proporción, y que aquél es más abundante durante el día, y éste durante la noche.

**COLOR.**- El color de las aguas del Océano, puras, tomadas en pequeña cantidad, es el mismo que el del agua destilada; pero vistas en masa las aguas, tienen un bello color azul ultramarino.

Sólo accidentalmente son verdes, lechosas, rojas ó amarillas; sin embargo, el mar, en tiempo sereno, afecta el color verde vivo, tanto más pronunciado cuanto mayor es la agitación de las aguas; si el cielo está sombrío, el color es verde oscuro.

**TRANSPARENCIA DEL MAR.**- En las aguas de Barcelona y desde el interior del Ictíneo, en tiempo sereno, y después de algunos días de calma, se ven los objetos á la distancia de cinco metros; en las de Alicante á la de diez metros.

Berard, capitán de navío de la marina francesa, comandante de la corbeta Rhin, con destino á Nueva Zelandia, dice que en 16 de julio de 1845, en las aguas entre Wallis y las Mulgraves, se suspendió de un bramante un plato de porcelana, y sumergiéndole, pudo seguirle la vista hasta la profundidad de 40 metros.

Malte-Brun, asegura que desde el puente de las embarcaciones se ven los corales, en el Océano Indico, á la profundidad de 97 metros.

Scoresby, capitán ballenero, que ha publicado una interesante obra sobre los mares polares, la cual mereció un brillante informe de Arago, dice que las aguas azules de color de ultramar, son tan diáfanas que permiten ver el fondo hasta la profundidad de 130 metros.

El capitán Wood (1675), citado por Schleiden, vió en Nueva Zembla el fondo cubierto de blancas conchas, á la distancia vertical de 146 metros.

En general, la transparencia del agua del mar está indicada por el color. El bello azul de las altas mares, toma á veces y en una extensión de muchas leguas, matices amarillos, rojos, blancos, etc., debidos á infinitos infusorios que aparecen frecuentemente en la superficie: en este estado no es transparente.

Algunas veces, y en sitios cercanos á las costas ó sobre los altos fondos, el agua aparece verde como en Tasmania, Nueva Zelandia y Valparaíso, á pesar de ser muy diáfana: en estos casos, el color aceitunado se debe al del fondo, visto á través del fluido, y algunas veces teniendo la capa líquida un espesor de 200 metros.

**FOSFORESCENCIA.**- Esa luz fosfórica que con frecuencia aparece en las rompientes de las olas, en el extremo de los remos, en la estela que dejan tras sí las embarcaciones, es tan viva en ciertos casos, que llega á iluminar los objetos cercanos. El ingeniero hidrógrafo de la fragata francesa de guerra *Venus*, en su viaje de circunnavegación (1836 á 1839), en False-Bay (Cabo de Buena Esperanza), pudo leer á cuarenta pasos de las rompientes; tomó un cabo de estas aguas, y filtradas resultó que contenían una tercera parte de su volumen de pequeños animalitos del género de las medusas.

Scoresby sospecha que el color verde oliva, debido á la pululación de los infusorios, indica la fosforescencia del mar.

**TEMPERATURA.**- Los marinos, hasta nuestros tiempos, no se dedicaron á otros estudios que á los del manejo de las embarcaciones; no comprendían, en general, (pues siempre ha habido grandes y nobles excepciones en una clase tan valiente como honrada), no comprendían, repito, que los experimentos que les encargaban, que las ciencias físicas, cuyo estudio se les recomendaba, interesasen inmediatamente á la seguridad de los buques que mandaban. Nada más natural, pues, que despreciasen un precioso libro que apareció en el siglo pasado, bajo el título de *Navegación termométrica*, por Jonatás Williams; cuya doctrina convenientemente aplicada ahorra muchos naufragios. En efecto, Franklin, el ilustre inventor del pararrayos, ya había indicado que á la aproximación de bancos, altos fondos y peligros velados, islas y continentes, el termómetro sumergido en el agua, bajaba algunos grados.

Williams, aprovechándose de esta idea, estudió extensamente esta materia, y ha podido establecer lo siguiente:

1.º Que el agua es más fría sobre un banco, que en alta mar;

2.º Que la diferencia es mayor, cuanto mayor sea la extensión del banco;

3.º Que los bancos cercanos á las costas, son menos fríos que los bancos rodeados de mares profundos;

4.º Que los cambios de temperatura son tanto más rápidos, cuanto más brusca es la variación de profundidad.

Estas observaciones no pueden aplicarse entre cabos y costas muy cercanas.

Williams, afirma que en el espacio de tres horas de marcha, observó una baja de 4º centígrados, y el peligro, que era un alto fondo, todavía estaba muy lejos. Por lo tanto, el termómetro sumergido, consultado con frecuencia cuando tema el navegante haber incurrido en errores de estima, indicará el momento oportuno para echar el escandallo y probar si hay sonda. Es útil, especialmente en las noches oscuras y en los días cubiertos y de niebla. Jonh Davy y Humboldt, por experiencias propias confirman esta doctrina.

En navegación submarina, una baja rápida en el termómetro exterior, indicaría un acantilamiento, y por consiguiente, debiera moderarse la marcha, si ésta fuera rápida.

La temperatura del Océano crece desde los Polos al Ecuador proporcionalmente y desde -3º á +27º.

En el Ecuador las aguas profundas, (+21) son más frías que las superficiales (+27º); en los Polos, al revés, las aguas superficiales (-2º) son más frías que las profundas (+2º).

La mayor cantidad de sal que contienen las profundas del Polo, las hace más pesadas que las superficiales.

La temperatura del Océano, no sólo ha contribuído a la resolución de muchos problemas de física terrestre, sitio que está llamada á resolver aún, una cuestión de física, cósmica, muy interesante al planeta que habitamos. Hay estrellas fijas, cuya luz ha dejado de llegar á nosotros; hay otras cuyo esplendor mengua; el Sol, que también es una estrella fija, ¿está en un período de fuerza constante, ó su esplendor mengua, y por consiguiente su luz y su calor?

No teniendo datos para poder resolver esta cuestión, porque nuestros predecesores ninguno nos han dejado; porque todos los experimentos que podríamos hacer acerca de la temperatura de nuestros continentes, islas y costas, estarían sujetos á la influencia de circunstancias locales, es indispensable, según Arago, notar constantemente la temperatura de las aguas superficiales en el ecuador del Océano, en alta mar, lejos de las costas, y por consiguiente, de todo objeto que pueda alterarla. Si el Sol pierde de su esplendor, la temperatura del Océano, observada en las circunstancias expuestas, decrecerá gradualmente.

**LA VIDA EN EL MAR.**- La vegetación del mar conocida, comprende dos mil especies que pertenecen á una sola clase: *las algas*.

Se conocen, además, plantas microscópicas que Freycinet y Turrel observaron á bordo de la corbeta *Criolla*, frente al Tajo, y en una extensión de 60 millones de metros cuadrados. Esta planta, teñía las aguas de un color rojo pronunciado, y era, tan diminuta, que en el espacio de *un milímetro* cúbico estaban contenidos *cuarenta mil* individuos: la extensión en profundidad de este banco de moléculas vegetales, que tenían, sin embargo, vida propia, era considerable.

Galdo<sup>25</sup> dice que las algas, según su especie, sólo pueden vivir en condiciones determinadas por el flujo y reflujo, por la profundidad, temperatura y salubre de las aguas; que el *chorda filussi* tiene unos trece metros de longitud, y que es tan abundante en las Orcadas (Norte de Europa), que obstruye las balsas.

Müller nos habla del *nereocystis* de proporciones gigantescas, que alcanza, una longitud de 500 á 1,500 metros; y Schleiden de las *laminares*, que se parecen á inmensas cintas que flotan á merced de las olas y de las corrientes.

El *fucus* gigantesco de la Tierra de Fuego y la *lechuga* purpurina del mar del Norte, cuya consistencia es un poco mayor que la de la gelatina, se disuelven en el agua dulce.

He aquí el cuadro del paisaje subacuático que la imaginación, de un profesor de Yena<sup>26</sup> nos ofrece:

«La flora submarina comprende casi exclusivamente una sola clase, las algas ó *fucus*. Desprovistas de órganos sexuales y dotadas de órganos de reproducción muy simples, estas plantas ofrecen una diversidad de formas, que hace tan interesante y variado el paisaje del fondo del mar, como el de los climas tropicales. La estructura particular, blanda y gelatinosa de todas las partes, un conjunto de órganos redondeados, prolongados y abiertos, á los cuales no son aplicables los nombres de *tallo* y *flores*, brillantes colores de un verde oliva, amarillo rosa y púrpura, algunas veces matizando juntos un mismo órgano foliáceo, todo esto imprime al paisaje submarino un carácter extraño y encantador. A semejanza de los bosques vírgenes de la tierra, las plantas acuáticas se estrechan y entrelazan; las pequeñas confervas y ectocárpeas cubren el suelo de un tapiz de terciopelo verde, sobre el cual la *lechuga* de mar con sus anchas hojas, hace, el papel de las grandes yerbas, que realzan los irisados de largas hojas purpurinas y de color de rosa; una infinidad de *algas* tapizan las rocas de verde, esmaltadas por los vivos colores de la *rosa de mar*; los *talasiofitas*, que hacen en estos bosques los oficios de chaparrales, despliegan sus hojas amarillas, verdes, rojas en abanico ó las dejan ondular á merced de las corrientes; y en fin, los árboles están representados por las *laminares* de largas cintas de más de 10 metros de longitud entrelazadas á los *macrocistos* de ramificaciones numerosas, cargados de sus quistos del tamaño de una pera; siguen las *alariadas*, de largo tallo, cuyo tronco ornado de una gorguena de hojas, imitando el vuelo del camisolín, del cual sale un brazo, que termina por una sola hoja gigantesca de 20 metro de longitud. Este conjunto está dominado por los *nereocistos*, de cuya raíz parecida á coral, se eleva un tallo filiforme de 30 metros de altura, que va engrosando y tomando la forma de porra ó de una enorme vejiga coronada de hojas estrechas de 10 metros de largo. Pudiera llamarse la palmera del mar. Tal es el paisaje submarino, cuyas bellezas tan pocos habrán podido admirar.»

Nada puedo decir yo acerca de este cuadro, habiéndose limitado mis excursiones á los fangos de las aguas de Barcelona, ó las algas de escasa dimensión de la rada de Alicante, donde todo es sombrío, sin otra variedad que la vista de los peces que acaso aciertan á pasar, y por las burbujas de los gases que se fijan y brillan sobre las ojas de un verde oscuro de las algas, pareciéndose á gotas de rocío que hermosean nuestros prados. Por lo demás, los objetos visibles debajo de agua se presentan velados, como si se vieran á través del polvo que se levanta en las carreteras donde todo aparece vago é indeterminado.

Respecto de los animales, el mar ofrece los mismos contrastes: desde los infusorios que en el grado mínimo de la animalidad, parecen vio poseer de ésta otra condición que la irritabilidad, de cuyo cuerpo, destituido de extremidades y de todo órgano conocido, apenas el microscopio ha podido darnos la forma; hasta la ballena, el mayor de los mamíferos que viven en el mar, y cuyo crecimiento no tiene límites, el Océano ofrece una variedad de animales desconocida aún, tanto por sus formas como por sus hábitos. Cada, día se encuentran nuevas especies. La tierra

está desierta comparada con el mar: reside en su seno una potencia vital tan asombrosa, que hace sospechar que la misma agua tenga vida.

**EL FONDO DEL MAR.**- Muchas sondas se han ensayado para medir la profundidad del Océano, y saber la temperatura, la cantidad de sales y de gases disueltos, y la dirección de las corrientes en las aguas próximas al suelo de los mares.

Las dificultades son grandes, aun suponiendo el tiempo en calma y los instrumentos perfectos; así es que sólo han podido obtenerse las aproximaciones ya notadas. El escándalo de Brooke para sacar muestras del fondo, es el más perfecto de los instrumentos de esta clase. De la sondaleza pende un cilindro de hierro en cuya extremidad libre se pone una capa de sebo y un tubo que debe penetrar en el suelo: para que el descenso sea rápido y el agujero del tubo pueda llenarse de las sustancias del fondo, y el sebo pueda traer la impresión de las rocas y de las hojas de los vegetales, el cilindro atraviesa una bala de cañón perforada, la cual se queda en el fondo del mar.

Á favor de esta sondaleza, se han traído muestras del fondo de la meseta telegráfica, que se extiende desde Terranova á Irlanda. No conozco otra descripción de estas muestras y de las del Océano Índico y Pacífico, que la dada por Maury en su *Geografía del mar*:

El aspecto de la muestra del Atlántico, sacada de la profundidad de 3,700 metros, era fangoso; y el profesor Bailey, hábil microscopista de New-York, encontró estar compuesta de conchas calcáreas (abundantes) y silíceas (poco numerosas) sin mezcla de arena y casquijo. La del mar del coral, y de la profundidad de 3,931 metros, consistía en una arcilla calcárea muy adherente, que según el mismo profesor contenía lo siguiente: un gran número de espículas silíceas de las esponjas; diátomos en corto número y en fragmentos; algunas conchas enteras de *coscinodiscus*, muy raros fragmentos de *canalíferos* y una sola entera. Las del norte del Océano Pacífico y de las profundidades de 1,647, 3,111 y 4,937 metros, eran ricas en conchas silíceas en un estado de conservación perfecta, las más con sus valvas, con la particularidad de haberlas encontrado mezcladas con minerales tales como cuarzo, horblenda, felsdespato y mica.

¿Viven estos animales en aquellas profundidades? Bailey, que en un principio se inclinó á creer que las presiones enormes que debían resistir eran un obstáculo á la vida, sospecha luego que, atendida la circunstancia de que la mayor parte estaban unidas entre sí, estas conchas y moluscos viven en el fondo del mar. Maury, cree que no hay vida ni movimiento posible en aquellas profundidades, y que las corrientes las han trasladado, después de muertas, á mil y más leguas de distancia; pero no se hace cargo de que para seguir tan largo camino, y antes de que llegasen a una profundidad que hiciese dificultosa la descomposición de su cuerpo, debían ya haberse descompuesto. Si viven en la superficie y vivas esas conchas han sido arrastradas por las corrientes, y cuando muertas se han precipitado, entonces el microscopio las encontrará en la corriente del Gulf-stream, lo cual no se ha examinado todavía, que yo sepa.

Este es un punto de zoología que interesa en igual grado á la física: si estos animales viven en el fondo del mar, se sigue, o que los rayos químicos de la luz llegan al fondo del Océano, o que no para todos los organismos es necesaria la luz solar, y que la fuerza vital es superior á las mayores presiones del Océano.

**MAREAS.**- Las mareas son producidas por la acción atractiva que ejercen la Luna y el Sol sobre la Tierra, cuya acción en las sizigias disminuye el peso de los cuerpos en 1/300,000 avas parte, que por ser tan insignificante no podemos apreciar por medio de instrumentos. En la atmósfera, como pesa poco, tampoco se hace notar, ó por lo menos el barómetro la acusa de una manera dudosa; en el fuego líquido central, se cree, que hay grandes mareas y muchos de los terremotos coinciden con ellas.

En los mares vastos y profundos las mareas son notables, y cuando tienen una profundidad de 15,000 metros, presentan una intumescencia, que podríamos llamar ola de la marea, de unos cuatro ó cinco centímetros de altura y de un diámetro que sería el de la Tierra, si no estuviese limitado por los continentes. Esta intumescencia se presenta á la vez en los dos opuestos meridianos. Así es, que se experimentan dos mareas diarias, mediando entre una y otra 12 horas 25 minutos.

Cuando el Sol está en el equinoccio (marzo y septiembre), la Luna en su perigeo (más cerca de la Tierra) y cercana al Ecuador, tienen lugar las mareas fuertes; al contrario, cuando el sol está en uno ú otro de los límites tropicales (junio y diciembre y la Luna en su apogeo (más lejos de la Tierra) y separada del Ecuador, entonces las mareas son débiles.

A pesar de que en alta mar no se conocen las mareas, en las costas son notables y producen inundaciones, sobre todo si son favorecidas por los vientos. Así como las olas son más elevadas y despiden corrientes conforme se van acercando á las costas, así también la grandiosa base de la ola de la marea, toma mayor incremento al acercarse á las costas; porque todo el espacio que le falta en profundidad, lo toma en elevación y lo transforma en corriente. En Samnaló (Francia) en las sizigias, adquieren las mareas una elevación de 15 metros. En el Mediterráneo no se conocen, porque tienen poca extensión y profundidad.

**CORRIENTES Y DERIVA DEL MAR.**- Dejando aparte las corrientes originadas por circunstancias locales, vientos accidentales, huracanes y mareas, las cuales son transitorias como las mismas causas que las producen, las corrientes constantes del Océano son *ecuatoriales* y *polares*.

Las *ecuatoriales* son calientes, saladas y corren paralelas al Ecuador: su dirección es de oriente hacia poniente.

Las *polares*, al contrario, son frías, contienen menos sal, corren paralelas al círculo polar, y su dirección es de poniente hacia oriente.

Las corrientes ecuatoriales se transforman en corrientes polares, y las polares en ecuatoriales.

La dirección general de una corriente del Ecuador, tomada en cualquiera de los tres Océanos y de los dos hemisferios, es la misma, y no experimenta otros desvíos que los causados por los continentes que encuentra al paso.

Si para comprender el curso de estas corrientes observamos una molécula de agua junto á las islas de Cabo Verde (África), veremos la recorrer la línea equinoccial hasta América, torcer su camino dejando el cabo de San Roque al Sud para entrar en el mar de las Antillas, canal de Yucatán y golfo de Méjico, cuya costa y la de la Florida recorre completamente hasta salir por el nuevo canal de Bahama; al dejar este canal forma parte del Gulf-steam (corriente del golfo) y se dirige hacia el Nordeste paralelamente á la costa de los Estados Unidos hasta los 40° de la latitud, cerca de Terranova; siguiendo siempre el Gulf-steam, se dirige hacia oriente durante un espacio de 500 leguas, tuerce hacia Islandia, pasa entre esta isla é Inglaterra y Noruega, cuyos climas calienta con sus vapores, y va directamente á los hielos de Espizberga y Nueva Zembla, donde después de haber comunicado su movimiento y dirección á las aguas que forman la corriente polar, se sumerge, se hace submarina y alimenta con su calor el mar libre del Polo Norte, que lleva el nombre del malogrado Kane.

Si queremos seguir nuestra molécula después de haber recorrido el Polo, y dado su calor á aquel mar que se mantiene líquido rodeado de eternos hielos, la encontraremos en la

superficie, dejando al monte Parry al Norte, y al dar con las islas Franklin y Crozier la veremos sumergirse para pasar por debajo de los hielos. Deja luego al Oeste el cabo Kennedy, entra por el estrecho de Smith en el mar de Baffin, pasando á la vista del monte John Ross.

En este sitio se le juntarán otras moléculas arrastradas por la corriente polar que viene del mar de Melville, de las islas de Parry, de la Tierra de Bankhs y Bering, pasando por los estrechos de Mac-Cloure y de Barrow, por aquel helado archipiélago en que tantos héroes han sucumbido, víctimas del generoso entusiasmo por las ciencias físicas de nuestro globo<sup>27</sup>. Siguiendo siempre la corriente por el mar de Baffin, entrará por el estrecho de Davis en el Océano Atlántico, y á los 40° de latitud, frente de Terranova, y al encontrarse en el Gulf-stream, de cuya corriente ha formado parte en su viaje de ida, se hará submarina y pasará al Ecuador á recibir una nueva cantidad de calor, que transportará de nuevo y por el mismo camino al mar de Kane.

La corriente descrita se bifurca varias veces durante su camino, y lo más notable de estas ramas es la que separa á los 42° latitud Norte y 40° de longitud del meridiano de Barcelona y va directamente á la península Ibérica, se tuerce frente del cabo de San Vicente y recorriendo la costa de Africa, vuelve á unirse en las islas de Cabo Verde, á la corriente ecuatorial. Este circuito, deja en medio las aguas más tranquilas del mar de Sárgarso (las praderías de Colón).

Lo mismo sucede en el Atlántico Austral, en el Océano Índico y en el Pacífico; esto es, las corrientes ecuatoriales en su camino hacia el Polo, despiden ramas que forman circuitos.

Las polares de los tres mares se comunican entre sí; las boreales con las boreales y las australes con las australes; estas últimas, como no encuentran tierras, no se desvían y forman una circunferencia exactamente paralela al círculo polar antártico.

La fuerza viva de estas corrientes no puede menos de comunicarse á todas las aguas del mar, y así es, que todo el mar obedece, á estos movimientos, y de aquí que pueda decirse que el mar deriva como las corrientes.

La constancia de los vientos alisios que dirijen las aguas superficiales hacia el Ecuador y en dirección hacia poniente, tal vez sea la causa más poderosa de estas corrientes: ésta es la opinión de Benjamín Franklin, Romme, Jorge Juan, y de otros hidrógrafos de nota, si bien Maury, Director del Observatorio astronómico de Washington, el celebre geógrafo de los mares, opina que la causa, más poderosa de este movimiento, es la mayor cantidad de sal y de calor que tienen las aguas en el Ecuador.

**OLAS.**- Medir la elevación de las olas durante las tempestades es operación difícil, arriesgada, que requiere una fortaleza de espíritu propia de las almas elevadas, que á todo interés sobreponen el de la ciencia. A consecuencia de esta intranquilidad de espíritu, se han efectuado pocos experimentos y no está suficientemente comprobada la mayor altura que adquieren las olas durante las tormentas.

El ingeniero hidrógrafo Emy dice que para muchos marinos, la mayor altura es de cuatro metros; que Goimpy, oficial de marina, citado por La Coudraye, asegura haber medido olas de trece metros de altura.

Los oficiales de la *Bonita* y los de la *Venus* en los ya citados viajes, señalan como límite de las mayores olas, seis y ocho metros; mientras que M. de Missiessy, oficial del brik *Le Sylphe*, dice que, en la tempestad del 9 al 22 de febrero de 1841, y junto á las Azores, midió olas de trece y quince metros de elevación.

Sobre la velocidad de propagación, se han obtenido datos muy incompletos: hay velocidades de 7, de 14 y de 28 leguas por hora; sin embargo, como los que indican estas velocidades nada nos dicen que se refiera á la base y altura de esas olas que se propagaban con velocidades tan diferentes, poco ó nada nos enseñan. Ello es muy difícil, es cierto, y muy arriesgado.

Letrone asegura que las aguas del mar están tranquilas desde la profundidad de 30 metros. Bayle (*Diccionario de ciencias naturales*) y Belidor (*Arquitectura hidráulica*) y Lagrange y otros piensan ser menor, la profundidad alcanzada por las olas; mientras que Bremontier (*Investigaciones sobre el movimiento de las olas*) y Poisson, y algunos de los que creen que el movimiento de éstas es puramente oscilatorio, opinan que en la vertical alcanza hasta el fondo del mar: esta opinión es combatida por Emy (*Del movimiento de las olas*): su teoría consiste en el movimiento orbital, más ó menos elíptico, de las aguas que componen una ola: á esta teoría vinieron á parar Airy y otros sabios ingleses. Con todo, Emy cree que, en algunos casos, las olas remueven las aguas á mucha profundidad.

A últimos del siglo pasado, para esclarecer esta cuestión, la Sociedad de Ciencias de Copenhague propuso un premio para el que resolviese este problema: «*Cómo y en qué relación están la altura, la base y la longitud de las olas, con las dimensiones de las aguas en que se forman.*» La resolución de este problema fué declarada imposible, según afirma Bremontier<sup>28</sup>, tanto por la Memoria laureada, como por la misma Academia. Posteriormente, no hemos sido más felices, y todavía ignoramos la relación que exista entre las olas y la cantidad de aguas removidas.

Sólo de la inspección de los olas se puede deducir el camino que seguirse debiera para encontrar el límite de su acción: he aquí cómo las consideraba nuestro Jorge Juan, en su *Examen Marítimo*. «En las olas, la potencia que actúa es la gravedad de la misma ola. Si por cualquier accidente se eleva parte de la superficie del mismo fluido, su gravedad le obliga, después de haber adquirido su mayor elevación, á descender y á tomar igual disposición y figura hacia abajo que la que tuvo hacia arriba, pues la acción y reacción son iguales.»

De esta sencilla exposición resulta: que las acciones y reacciones se manifiestan en la superficie; que en la misma se verifica un desnivel proporcionado á la fuerza que lo provoca; que cualquier otro movimiento no manifestado en la superficie, ha de ser poco considerable y ha de representar el enlace entre la acción y la reacción.

El ya citado ingeniero hidrógrafo Emy<sup>29</sup>, á pesar de que concede que el movimiento de las olas puede ser bastante profundo, dice: «La acción de una fuerza se debilita transmitiéndose; de lo que tenemos una prueba en la propagación de los sonidos, de la luz y de las mismas olas en la línea horizontal, que disminuyen á medida que se alejan de su origen, llegando por último á su completa extinción. Esto explica, que las tempestades que se forman en alta mar, muchas veces no alteran la calma en las costas. El mismo razonamiento puede hacerse respecto al movimiento vertical de las olas..»

»Estas consideraciones prueban que el movimiento de ondulación debe tener un límite dependiente de la violencia de la agitación superficial, y no de la profundidad del agua, movimiento que, pasado aquel límite, ha de ser nulo<sup>30</sup>.» ¿Cuál será este límite?

La resistencia que ofrece la cohesión molecular del agua, según Coulomb, también es, como la adherencia, independiente de la presión y proporcional á las superficies que están en contacto; pero crece como el cuadrado de la velocidad y como las relaciones de la misma en las diversas capas de agua, las cuales en el mar se mueven en diferentes velocidades.



De la resistencia que ofrecen la cohesión molecular y la inercia, tenemos un ejemplo al dejar caer de cierta altura un cuerpo pesado sobre el agua; esto cuerpo no solamente produce olas, si que también levanta una cantidad de agua en forma de surtidor. El agua levantada ha sido comprimida entre el cuerpo pesado y la resistencia que han opuesto las demás partes del líquido<sup>31</sup>; porque es claro que, sin estas resistencias, sin ninguna ondulación se transmitiría el movimiento de uno á otro extremo del líquido. Toda fuerza mecánica que, obre sobre la superficie del mar producirá igual efecto; levantará olas. No pudiendo comunicarse el movimiento en sentido horizontal de una parte del líquido á otra, con la misma rapidez con que obra la fuerza del viento ó la de gravedad de la misma ola, es claro que las aguas cederán por la parte que encuentren menos resistencia, es decir, en planos reflexivos á la incidencia del viento, esto es, en olas y ondulaciones: cuya forma se explica por la resistencia, en cada momento menor, que el agua removida encuentra en el sentido inclinado; lo que ha de dar necesariamente á estas aguas una superficie curva. Ya, que las fuerzas y resistencias indicadas, nos dan una idea de la formación de las olas, podemos establecer sin separarnos mucho de la verdad, que una ola muy alta respecto de su base, ha de producir un efecto bastante instantáneo; si instantáneamente levanta una ola de iguales dimensiones, es muy lógico admitir que su efecto no ha sido profundo, ya que las resistencias empiezan en la línea de nivel primitiva, y desde este punto aumentan hacia abajo, y disminuyen hacia arriba, y son tanto mayores estas resistencias, cuanto mayor es la velocidad. Como el movimiento es menos, rápido en una ola de ancha base y de muy poca altura, las resistencias son más fácilmente vencidas, porque el movimiento no ha de ser tan rápido, y en realidad son menores dichas resistencias y dan lugar á que el movimiento se propague á mayor profundidad. La altura, pues, de las olas indica la velocidad de transmisión; y la medida de su base señala la profundidad.

Los experimentos que acerca de este punto he verificado con mi Ictíneo, parecen dar como cierto que la base multiplicada por la velocidad que indique el desnivel de la ola, da por producto la profundidad de las aguas removidas. El desnivel real es la mitad de la altura de la ola.

Coudraye, Bremontier y otros que creen que la magnitud de las olas depende de la anchura y profundidad de las aguas en que se forman, y que sospechan que el movimiento de las olas llega hasta el suelo de los mares, citan, entre otros, los dos siguientes hechos:

«1.º Que las olas no encuentran bastante fondo en el banco de Terranova para desarrollarse; y 2.º que en San Juan de Luz, sobre las rocas llamadas Artha, que están á 10 metros debajo del agua, las olas mayores de un metro, al pasar por encima de estas rocas, adquieren mayor elevación.»

Pero ni Bremontier ni Coudraye nos dicen si al tiempo que hicieron estas observaciones había ó no corrientes, ya proviniesen de la marea, ya de viento; circunstancia muy esencial para poder apreciar estos dos hechos. Supongo que no había corriente, ya que esta suposición está á favor de la mayor cantidad de aguas agitadas por las olas.

La altura y la base de las olas regulares están en relación de 1 á 4; por lo tanto, midiendo por aquella regla las observadas por Bremontier en San Juan de Luz, hallaremos que 1/6 del movimiento de esas olas ha sido modificado en la dirección del plano que presenten las rocas Artha, que por los resultados sospechamos, que serán inclinado hacia la superficie. Las rocas están á 10 metros; la mitad de la altura de las olas es de 0<sup>m</sup>50, la base 4 metros, la velocidad 3'132 por segundo; luego es 125 la profundidad alcanzada por una ola de un metro de altura y cuatro de es natural, pues, que las olas sean más elevadas sobre Atha que en sus alrededores.

El banco de Terranova está á una profundidad que corre desde 80 metros á 160; para la primera no podrán desarrollarse olas de 4 metros de altura por 16 de base, y para la segunda,

olas de 6 metros de altura por 24 de base; y siendo las velocidades respectivas, indicadas por la mitad de la altura, metros 6'264 y 7'672 por segundo, alcanzarán respectivamente profundidades de 100 y 200 metros. Como este banco tiene muchas leguas de extensión, ha de presentar, la superficie que le cubre, olas menores ó mayores, de un movimiento más ó menos rápido, y sobre los altos fondos olas ampolladas, según si hay ó no corrientes, y según la dirección de las olas respecto de las corrientes.

Las olas que no tienen suficiente espacio ó para desarrollarse ó para propagarse, como la causa del movimiento subsiste, han de convertirse en corrientes: no conocemos otras formas de movimiento en las aguas, por lo tanto, allí donde no puede tener lugar el movimiento oscilatorio ó elíptico, debe desarrollarse la corriente. Así es que las olas ya son favorecidas, ya contrariadas por el suelo más ó menos elevado ó por las corrientes que tienen una dirección contraria ó igual á las olas. Una corriente contraria á las olas retarda el movimiento de éstas, alterando su base y altura, ganando en ésta y perdiendo en aquélla. Una corriente de igual dirección á la de las olas, ensancha la base de éstas á expensas de su altura. Así, la corriente hacia el NE. que recorre la costa oriental de la América del Norte, al pasar sobre el banco de Terranova, aumenta la altura de las olas que vienen del NO., y la disminuye cuando la dirección de éstas es la misma de la corriente. Si las dos tienen mucha elevación con poca base, se presentan ampolladas ó picadas.

**CORRIENTES PROMOVIDAS POR LOS VIENTOS.-** El viento, además de promover olas, obra sobre una masa de aguas y tiende á elevarla. Esta tendencia se manifiesta en corrientes; la dirección de la superficial es la misma del viento y su efecto es acumular aguas en la zona sujeta á su acción. Esta acumulación ha de promover otras corrientes en todos sentidos y alrededor de la masa de aguas desnivelada; porque si así no fuera, tendrían que formarse grandes mesetas de aguas, como se forman de arena en las playas donde el mar la arroja en abundancia.

El primer efecto, pues, del viento, es producir olas, que se transforman en grandes ondulaciones, y levantar sobre éstas nuevas olas, nuevas ondulaciones; por manera que la superficie del mar, mientras sopla el viento, presenta una grande agitación, una vasta complicación de variadas curvas. Es imposible poder determinar directamente cuál sea la fuerza empleada en estas perturbaciones. Ignoro cuál sea la ley que rija las corrientes marítimas: sin embargo, me atrevo á sentar algunos principios, si bien no como ciertos, al menos como muy probables, y para que sirvan de fundamento, pauta ó guía en los estudios que acerca de las corrientes submarinas pueden hacerse con el Ictíneo.

Supongo, pues, lo siguiente:

1.º La velocidad de las corrientes producidas por los vientos, depende de la altura de las aguas acumuladas en la zona en que domine el viento.

2.º El agua para ponerse á nivel, ha de vencer resistencias: éstas suponen un tiempo empleado: siendo la causa del nivel constante, el desnivel será mayor que el que indique la unidad de tiempo y la de la fuerza del viento; porque el aumento de desnivel está en razón directa de las resistencias que encuentre el agua para nivelarse.

3.º Ejerciendo el agua una presión igual en todos sentidos, la desnivelada imprime un movimiento á la que está nivelada; así que, cuando se pone á nivel, hay movimiento en la superficie y debajo la superficie del agua.

4.º El agua no puede adquirir la velocidad que indica su desnivel, porque la resistencia de la cohesión molecular crece como el cuadrado de la misma velocidad.

5.º La cantidad de agua desnivelada dividida (por el perímetro de su base, multiplicado por la velocidad que el desnivel indique), dará por cociente la profundidad que alcance la corriente.

6.º La dirección de la corriente, es indicada por los radios de la masa de agua desnivelada.

7.º Siempre que una corriente esté interceptada por un plano inclinado, ya formado por el suelo ó por los costados, alimentará de velocidad, en razón directa de la cantidad de movimiento que tenga la masa interceptada.

8.º Dos corrientes cuyas direcciones sean perpendiculares entre sí, pueden dar origen á remolinos.

Partiendo de estos principios, he formado el siguiente Estado que tiene aplicación á la extensión de los nortes en el golfo de Lion, que supongo dominan en mi espacio de 300 miriámetros, y que su perímetro es de 60; y según sea la presión ó velocidad del viento, he aquí los resultados que daría si solamente una décima parte de la fuerza del viento, fuere empleada en acumular aguas, habiendo sido extinguidas las 9/10 en promover la agitación superior y formación de las olas:

De este estado se deduce que las corrientes producidas por los vientos, en mares libres, son impotentes para detener en su marcha á los Ictíneos.

NOMBRES DE LOS VIENTOS Y NÚMEROS CON QUE SE EXPRESAN	VELOCIDAD DEL VIENTO		RELACIÓN DEL VIENTO CON LAS VELAS DE LOS BUQUES	Presión del viento sobre 1 mc. en kgs.	Número de to- neladas que desnivelará por segundo el $\frac{1}{10}$ de la presión en un área de 300 miriams.	Altura del des- nivel en mil- límetros.	Velocidad de la corriente, en metros.	Profundidad de la corriente en metros.
	En mi- llas por hora	En me- tros por seg.º						
0 Calma . . . . .	»	»	»	»	»	»	»	»
1 Ventolina. . . . .	0'5	0'23	Suficiente para gobernar.	»	»	»	»	»
2 Viento muy flojo. . . . .	1'0	0'45	»	0'021	63,000	»	»	»
» Viento flojo. . . . .	2'0	0'90	»	0'085	255,000	»	»	»
3 Viento galeno. . . . .	3'0	1'34	»	0'180	540,000	»	»	»
» Id. id. . . . .	4'0	1'88	»	0'340	1,020,000	»	»	»
4 Viento bonancible. . . . .	5'0	2'23	»	0'530	1,590,000	»	»	»
» Id. id. . . . .	6'0	2'70	»	0'800	2,400,000	»	»	»
5 Viento fresquito. . . . .	10'0	4'47	Sobrejuanetes, etc.	2'000	6,000,000	0'2	»	»
6 Viento fresco. . . . .	15'0	6'70	Gavias sobre un rizo y juanetes.	5'000	15,000,000	0'5	0'100	250
7 Viento frescachón. . . . .	25'0	11'47	Dos rizos y foque.	13'000	39,000,000	1'3	0'153	424
» Id. id. . . . .	30'0	13'41	»	20'000	60,000,000	2'0	0'198	555
8 Viento duro. . . . .	35'0	15'65	Tres rizos y mayores.	26'000	78,000,000	2'6	0'224	576
9 Viento muy duro. . . . .	45'0	20'41	Todos los rizos y mayores.	43'000	129,000,000	4'3	0'291	738
10 Temporal. . . . .	60'0	26'82	Trinquete y gavia con todos los rizos.	76'000	228,000,000	7'6	0'386	932
11 Tormenta. . . . .	80'0	35'77	Velas de cuchillo de capa.	136'000	408,000,000	13'6	0'504	1,310
12 Huracán. . . . .	100'0	44'71	A palo seco.	214'000	642,000,000	21'4	0'637	1,679

**HURACANES.**- Según varios autores<sup>32</sup>, entre ellos Reid<sup>33</sup>, Becher<sup>34</sup> y Lartigue<sup>35</sup>, el huracán es un viento giratorio de una gran fuerza, que empieza ordinariamente cerca del

Ecuador, y cuya dirección general es de Oriente hacia Occidente, inclinándose hacia el NO. hasta los 20° de latitud boreal, y desde éste punto hacia el N. y NE. en nuestro hemisferio; y en el austral al SO., y luego S. y al SE. El remolino ó viento giratorio que sigue este camino, forma una cicloide, y si se estaciona un círculo: estas vueltas en nuestro hemisferio se dirigen de E. á N. á O. y S., y al revés en el hemisferio austral de E. á S. á O. y N. El huracán se anuncia produciendo un descenso rápido en el barómetro de mercurio.

La curva parabólica que sigue el huracán en su marcha progresiva, tiene una extensión de 4 á 7,000 kilómetros, y la recorre con una velocidad varia: á veces se estaciona, ya es de 2 metros, ya de 4, ya de 12, ya de 20 por segundo (ésta corresponde á unas 45 millas por hora).

Cuando se dirige hacia ONO., que es en los primeros días y — 114 → cerca del Ecuador, su velocidad es menor que la de cuando se inclina hacia el ME<sup>36</sup>.

Es fácil concebir que con cualquiera de las indicadas velocidades, ha de producir delante y en los costados una agitación independiente del remolino y que solamente se debe á la marcha del huracán: agitación que da mayor impulso á las olas que éste despide en todos sentidos.

El diámetro del remolino es de 50 á 1,000 millas. Como su fuerza es mayor en la zona central que en la de la periferia; y siendo

La fuerza del huracán violento.....	214	kilog.	por	metro <sup>2</sup>
La del ordinario.....	136	»	»	»
La del viento impetuoso.....	20	»	»	»
La del viento frescachón.....	3	»	»	»

y suponiendo que estos cuatro vientos obren sobre un espacio de igual extensión cada uno; que el promedio sea 100 kilogramos de presión por metro cuadrado, y que el radio de la superficie sujeto á esta presión sea de 500 kilómetros, tendremos que el huracán, deducidas las 9/10 partes de su fuerza, destinada á producir la agitación superior, desnivelará por segundo unos 7,000 millones de toneladas, que producirán una corriente de 3 millas por hora, y á una profundidad mayor de 150 kilómetros; y por consiguiente, no sólo es capaz de remover con bastante fuerza los tenederos, sino los fondos mayores del Océano. Todavía el huracán posee otra fuerza mayor que ésta.

Como todo movimiento circular desarrolla una fuerza centrífuga, el huracán, animado de una velocidad de 100 millas por hora, arroja el aire superior á grandes distancias; por manera que, en toda la zona en que él domina, se nota una falta notable de presión atmosférica, indicada por el barómetro de mercurio.

Hay observaciones á millares que prueban esta falta de presión: en ocasiones la columna de mercurio ha descendido 76 milímetros; estimo el término medio en 38. Ahora bien: ¿sucederá en el agua, sujeta á la acción del huracán, lo que acontece á la columna de mercurio? Para mí es indudable. La falta de presión que se note, en el espacio donde impere el huracán, ha de producir una intumescencia en las aguas, cuyo nivel más elevado se habrá obtenido á expensas de las aguas del resto del mar, donde la presión atmosférica se ejerce con toda su fuerza. ¿Cuál será este desnivel? La columna barométrica lo indica. El mercurio es 13'254 veces tan pesado como el agua del mar; siendo el descenso de 38 milímetros, luego la ascensión del desnivelamiento de agua debe ser de 50 centímetros.

Cuando el huracán abandone el mar para entrar en las tierras, esta masa de aguas, que estaba en suspensión siguiendo el camino de la tormenta, se transforma en una corriente, cuya velocidad es de 3 metros por segundo ó de cerca 7 millas por hora, y para la cual no hay

profundidad que no pueda alcanzar. Así es, que cuando pasa por una de las Antillas, despiden corrientes y grandes olas hacia otras islas, que por su situación no han podido apercibirse del huracán.

La velocidad de los vientos no es constante; de aquí que la fuerza centrífuga del huracán tampoco lo sea. Estas variaciones en la velocidad de los vientos, son indicadas por las oscilaciones de la columna barométrica, y éstas nos demuestran que la cantidad de aguas, que desniveladas lleva consigo el huracán, sufre continuas alteraciones: ya alimenta con la velocidad del viento, y determina una corriente hacia el centro de la tormenta; ya mengua, y se establece otra en sentido contrario. Estos vaivenes promueven una agitación submarina muy parecida á un hervidero, que ha de interrumpir el curso de la corriente irradiada, la que estaría establecida de una manera normal á ser constante la velocidad del viento.

El huracán es también, con respecto á la navegación submarina, un fenómeno digno de la mayor atención: conocidas las leyes á que está sujeto, son conocidas las reglas de las agitaciones de las aguas; y de esta manera los Ictíneos podrán librarse de él, ya corriéndolo por encima, si la corriente submarina debe conducirlos a las costas, y por debajo, si en mares libres.

La formación de los huracanes se debe, según Romme, Lartigue y otros, á dos vientos de direcciones perpendiculares entre sí; y aun, según el primero, en muchas y opuestas corrientes de aire; y, según el segundo, en dos, también encontradas. Generalmente se producen cerca del Ecuador y en determinadas épocas.

Esta tormenta cuya periodicidad guarda relaciones tan íntimas con el movimiento de la tierra, con los vientos que dominan en ella; que tiene unos límites tan marcados en uno y otro hemisferio, y cuyo rumbo es el mismo que sigue constantemente la corriente más elevada de nuestra atmósfera, parecen indicar la intervención de las mismas causas que producen los alisios. Pero ¿cuál será la que termine el fenómeno? Ya que es periódica, no es accidental como la aglomeración de vapores, y otras que se podrían citar, que todas obran por todas partes y producen vientos, y sin embargo, ¿no promueven estas horribles tormentas, tornados y tifones del Atlántico y del Pacífico!

-----

Los movimientos á que están sujetas las aguas del mar, y de cuyas causas y valores acabo de ocuparme, sufren graves alteraciones, ya modificándose entre sí, cuando obran dos ó más á un tiempo, ya por las desviaciones que les ocasionan los suelos y las costas.

Así es, que las corrientes generales, ocasionadas por el movimiento giratorio de la tierra, y que debieran dirigirse constantemente de E. al O., reforzadas por los alisios de NE. y SE. en el Atlántico y en el Pacífico, ya son favorecidas, ya contrariadas por las mareas; y las resultantes son todavía desviadas por las costas. A pesar de esta concurrencia de causas, resultan corrientes generales, de las que me he ocupado ya.

Lo que sucede en varios puntos del globo, donde las mareas llegan á la altura de 16 metros, cuando son favorecidas por los vientos, se debe á la disposición del suelo y de las costas. *Saint-Malo*, que es uno de estos puntos, está en un golfo que se parece á un cono truncado, cuyo diámetro mayor es de doce miriámetros (desde la isla Breat al cabo de Hagas), y cuyo menor no llega á un kilómetro; su generatriz forma un ángulo de 30' con el eje del cono. De esta sola descripción resulta que, una corriente de cualquiera de las mareas de las cuadraturas, ha de ocasionar un gran desnivel en aquellas costas.

Alrededor de las islas Maldivas, según Pirard y Malte-Brun, se forma un *hervidero grande como una casa*, que tal vez no tenga otra explicación que los acantilamientos escalonados de su costa, que desvían las corrientes hacia la vertical convirtiendo las olas regulares de la superficie en olas picadas ó ampolladas: cuyo fenómeno, si bien en menor escala, se ha observado en el banco de Terranova y en el estrecho de Gibraltar.

En la tempestad del 21 de enero de 1820, en Warberg (Noruega), la altura de las rompientes de las olas ha llegado á 130 metros, y en las rocas de Lot (islas Marianas), y en el faro de Edystone (canal de la Mancha), han obtenido la enorme elevación de 150 metros; y en las cuevas de Kinnan (en Cornaulles), en la de Tenerife, y en la del Infierno (cabo de Creus), por aberturas que se han practicado las olas, tierra adentro, llegan á una grande elevación, en formidables columnas, á manera de inmensos surtidores.

En general, toda elevación de aguas que no pueda deducirse directamente de la fuerza de una corriente conocida, no tiene otra explicación que la de una muy insensible favorecida por la forma del suelo y de las costas; las que presentan un espacio cada vez menor, por donde debe pasar la masa de aguas, animada de una velocidad pequeña. Esta cantidad de movimiento, tan insignificante como se quiera, sin embargo, interrumpido por la configuración del suelo y de las costas, comunica una mayor velocidad á las aguas que tiene delante; y el desnivel ó velocidad de éstas es el cociente de la masa multiplicada por la velocidad de la corriente, y dividida por la cantidad de aguas levantadas en forma de surtidores cuya velocidad es extraordinaria.

El vicealmirante sir Carlos Adam, en una nota que comunica al coronel Reid, dice: «Después de un norte moderado (en el golfo de Méjico) vemos por lo común fuertes corrientes al S. y SSE. con la velocidad de 24 á 26 millas al día...» En el cuaderno de bitácora del vapor *Indostán*, se consigna que, al atravesar una tormenta en 1.º de Diciembre de 1853, yendo de la punta de Galle á Madrás, se experimentó una corriente de 46 millas de singlatura (*Ley de las tormentas*, pág. 7, id). El Vizconde de Moncel, en su *Exposición de las aplicaciones de la electricidad*<sup>37</sup>, cita una corriente de seis millas por hora, que experimentaron los buques que retiraron el cable submarino entre Port-Patrik y Donaghadee en 1855: las mayores del estrecho de Gibraltar observadas hasta hoy no han tenido mayor velocidad que la de 5'2 millas por hora.

En el *Manual de la navegación por el estrecho de Gibraltar*, obra publicada bajo los auspicios del Almirante Hamelin, los autores, ingenieros hidrógrafos, dicen:

«Hemos estudiado cuidadosamente los fenómenos de los vientos, de las mareas y de las corrientes en el estrecho... Con el objeto de ilustrar un punto de hidrografía física, dudoso aún, hemos hecho numerosos experimentos para indagar la existencia de corrientes submarinas que contrabalancearan la acción continua de las corrientes del Océano hacia el Mediterráneo: nuestras observaciones no indican en el Estrecho, corriente alguna submarina y permanente hacia el Oeste. Las sondas nos habían ya hecho presentir este resultado.»

Los escarceos observados en el estrecho de Gibraltar, se engendran en los cabos de Trafalgar, Cabezos, Fraile, Perla y Europa, en las costas de España; y en la de Africa en Espartel, Indios, Casba, en los bancos del Almirante y Fénix, y en los cabos de Gires y Leona hasta Ceuta. Los escarceos que más se prolongan, son los que se originan en Cabezos y en Malabata, que atraviesan el estrecho, cuyo fondo es menor en esta dirección que en las demás.

He aquí la descripción que de ellos hacen Vicedou-Dumoulin y Kerhallet.<sup>38</sup>

«Tal vez sea el estrecho de Gibraltar donde con más frecuencia se presentan los fenómenos conocidos con el nombre de escarceos (*raz de maréc*). Generalmente se producen cerca de las puntas salientes de la costa, cuya dirección cambia bruscamente, y cerca de los bancos que hay en estos parajes. Los escarceos se forman instantáneamente, sin indicio alguno precursor. El mar hierve como el agua en una caldera. Las olas son cortas, irregulares, vacías en su interior, y con frecuencia se, abren ó se despliegan como una vela. En este caso son terribles, no solamente para las pequeñas embarcaciones, si que también para los buques de mediano porte. El viento contribuye a que los escarceos sean más peligrosos. Sea cual fuere, la causa de estos fenómenos, cóstanos solamente que los observados en el estrecho se forman siempre en las puntas cuyo ángulo es muy agudo, y cerca de las cuales se encuentran fondos de poca sonda.»

Horsburg, citado por Reid, dice: «Que los hervideros se encuentran, por lo regular, en parajes donde la corriente no es perceptible.» Y á renglón seguido dice Reid: «He sido espectador en Bermuda del curioso fenómeno de las mangueras sobre el mar y he visto siempre junto á ellas una grande extensión de agua agitada, semejante en todo á cuantas noticias tenemos sobre el particular. La experiencia, pues, me ha convencido que es una misma la causa que produce el escarceo y la manguera. Dirigiendo mi vista, en cierta ocasión al mar, durante una calma, agitada del modo dicho, observé una nubecilla que estaba perpendicularmente sobre el hervidero del agua, y seguí mirándola con atención; al cabo de veinte minutos descendió de la pequeña nube una bomba marina, quedando en el instante suspendida encima del hervidero. Estas mangueras sin embargo, muchas veces no tienen nube, puesto que las he observado con el cielo perfectamente despejado. Cualquiera que sea la causa que las origine, creo que al fin se hallara ser la misma del hervidero, y que es un solo fenómeno, con la única diferencia, que las mangueras se desarrollan cuando la causa excitante tiene grande energía.»

**LEYES DE HIDROSTÁTICA REFERENTES Á LOS ICTÍNEOS.**- Todo cuerpo sumergido en un líquido, pierde una parte de peso igual al del volumen del líquido desplazado. El peso de un cuerpo flotante está en razón directa del líquido desalojado, y, con respecto al desplazamiento, en la inversa de la densidad del líquido. Así es, que cuanto, mayor sea la carga de un vaso flotante, mayor será el volumen del líquido desplazado, y será menor cuanto mayor sea la densidad del líquido. Por lo tanto un cuerpo flotante desaloja un volumen del líquido cuyo peso es igual al del peso flotante.

Si la densidad de un cuerpo sumergido en un líquido es igual á la de éste, permanecerá en el sitio en que se le coloque; ya sea inmediato á la superficie, ya en el fondo ó en medio del líquido: por manera que el cuerpo sumergido parecerá haber perdido su peso.

Si la densidad de un cuerpo es mayor que la del líquido en que se sumerja, se dirigirá hacia el fondo, y este movimiento sera tanto más rápido cuanto mayor sea la diferencia de densidad. Al contrario; si la densidad del cuerpo sumergido y colocado en el fondo de un vaso, puede hacerse menor que la del líquido, se dirigirá hacia arriba con una rapidez proporcional á la diferencia de densidad: ya en la superficie flotará desplazando un volumen del líquido, cuyo peso será igual al del cuerpo.

La densidad de un cuerpo es igual al peso dividido por el volumen. Se ha convenido en que la densidad del agua destilada y á 4° centígrados, sea el término de comparación de la de todos los sólidos y líquidos la unidad es un decímetro cúbico de esta agua, y ha recibido el nombre de kilogramo.

La *densidad*, la *gravedad específica* y *peso específico* de un cuerpo son sinónimos, y lo constituye el número de unidades en peso que tiene, el volumen de un cuerpo. Así el peso específico del agua del mar varía de 1'026 á 1'048; porque un decímetro cúbico de esta agua pesa, según de qué localidades está tomada, desde 26 á 48 milésimos más que el agua destilada

á la temperatura de 4°. La densidad del aire á 0° y bajo la presión atmosférica de 0<sup>m</sup>76 del barómetro de mercurio según Arago y Biot, es de 1/170=0'001299541, y según recientes experiencias de M. Regnault es 0'001293187; por lo tanto un litro de aire pesa próximamente gramos 1'3.

Es, en física, un principio inconcuso la igualdad de presión en los líquidos; entendiéndose por esto, que la presión que ejerce un líquido contenido en un vaso, lo verifica en todas direcciones. La presión de un líquido contra una porción cualquiera de una pared del vaso que lo contiene, se mide por la altura de la columna del líquido, partiendo del punto del vaso cuya presión quiera conocerse.

Verificándose la presión de los líquidos en todas direcciones, y suponiendo un cuerpo sumergido en un líquido, es claro que éste sufrirá una presión proporcional á la superficie que presente, y cuya medición, será, la altura de las columnas de agua correspondientes á cada uno de los puntos de la superficie del cuerpo sumergido. Así, un cubo de un metro de lado, sumergido á 10 metros de profundidad dentro del agua destilada, sufrirá una presión total de 60,000 kilogramos ó sea de 1,430 quintales. Así, un Ictíneo destinado á trabajar á 100 metros de profundidad sufrirá una presión de 2'400 quintales por metro cuadrado que presente de superficie exterior.

A pesar de la diferencia de presión que ejerce, la atmósfera, según su estado, se ha tomado el promedio de la altura de la columna del barómetro de mercurio que es de 0'76, como unidad de presión para comparar la que ejercen los demás gases, y en general toda fuerza que obre sobre una superficie. Así, la presión que ejerce la atmósfera sobre un centímetro cuadrado, y que es de kilogramos 1'0335, es la unidad para computar las presiones.

Siendo el peso del agua del mar de 1'026 á 1'048, y tomando como base 1'033, tendremos que el agua por cada 10 metros de profundidad, ejercerá sobre un centímetro cuadrado, una presión igual á una atmósfera.

Según Baudrimont, el agua se comprime á razón de 0'00004965 de su volumen, bajo la presión de una atmósfera: asegura que esta contracción es proporcional desde 1 á 20 atmósferas. A 240 metros de profundidad, el peso específico del agua del mar, ha aumentado de 1 milésimo.

La adherencia del agua á los cuerpos sólidos y la cohesión molecular de la misma, son independientes de la presión, proporcionales á las superficies que están en contacto y crecen como el cuadrado de la velocidad<sup>39</sup>.

La densidad mayor del agua es de 4°; por lo tanto, la del fondo del mar no puede estar helada, sino en altas latitudes.

La estabilidad de los cuerpos flotantes ó sumergidos, depende de tener el centro de gravedad más bajo que el centro del agua desplazada: estos dos centros deben estar en la misma vertical.

El teorema de Torricelli se anuncia en los siguientes términos: las moléculas de un líquido saliendo por un orificio, tienen la misma velocidad como si cayeran dentro del vacío de una altura igual á la que mide el nivel desde el centro del orificio á la superficie del líquido. En virtud de esta ley de hidrodinámica, y teniendo en cuenta que la velocidad de los graves en el vacío es de m. 9'8088 por segundo, tendremos que la raíz cuadrada del producto de 19'6176 por la altura de la columna de agua denotará la velocidad.



La cantidad de líquido que puede pasar por un conducto practicado en un Ictíneo sumergido, se obtendrá multiplicando la superficie del agujero por la velocidad. Así, el agua que entre en un Ictíneo tendrá una velocidad correspondiente á la altura de la columna de agua que tenga encima y la cantidad de agua que entrará por centímetro cuadrado del orificio y su velocidad, serán proporcionales á la profundidad á que esté sumergido, según se manifiesta en el siguiente estado:

PROFUNDIDAD EN METROS	VELOCIDAD EN METROS	LITROS POR MINUTO	PROFUNDIDAD EN METROS	VELOCIDAD EN METROS	LITROS POR MINUTO
10	14	84	800	125	750
20	19	114	900	133	798
30	24	144	1,000	140	840
40	28	168			
50	31	186	1,415	166	TONELADAS 1'000
60	34	204	2,000	198	1'188
70	37	222	3,000	243	1'458
80	40	240	4,000	280	1'680
90	42	252	5,000	313	1'878
100	44	264	6,000	343	2'058
200	62	372	7,000	370	2'220
300	76	456	8,000	396	2'376
400	88	528	9,000	420	2'520
500	99	594	10,000	442	2'652
600	108	648	20,000	626	3'756
700	117	702	30,000	767	4'602

Estas leyes manifiestan el peligro que correrán los aparatos submarinos, cuya robustez y forma no correspondan á las presiones que deban resistir.

Acabo de exponer cuanto de importante ha llegado á mi noticia sobre, el elemento líquido que cubre tan gran parte de la superficie terrestre.

La mayor hondura del mar es de 4 leguas de á 4,000 metros una; su oscuridad en pleno día es igual á las tinieblas de la noche; sus movimientos considerables en la superficie son insignificantes en los suelos profundos, donde ó no existe la vida ó no podemos formarnos concepto de ella. Reina allí un silencio perpetuo; aquellas soledades están cubiertas de precipitaciones de todo género de las materias que arrastran los ríos; de los restos de los animales marítimos, y de los naufragios de todos los tiempos. En aquel vastísimo desierto, conmovido con frecuencia por las fuerzas interiores del globo, existen cordilleras, se levantan picos, que emergen en islas, y arden volcanes, á pesar de las fuerzas que los oponen las aguas. Allí hay estudios que hacer acerca de las leyes físicas y químicas, comparando sus efectos con los que tienen lugar en la atmósfera.

Si pasando más allá de la zona superficial, donde pululan infinitos seres que tenemos el mayor interés en conocer, zona limitada por la penetración de los rayos solares, algún día nos hundimos en aquellas profundidades donde los fenómenos se verifican un silencio absoluto, donde no hay otra luz que la arrojada por los volcanes, cuyas erupciones podremos presenciar; aparte de la impresión sublime que herirá nuestra imaginación, sentiremos elevarse nuestro ser á aquel grado de aprecio propio que inspira confianza en el poder de la inteligencia del hombre.

## Descripción y datos referentes al Ictíneo

**ÍNDICE DE LOS ICTÍNEOS.**- Como la importancia de los Ictíneos depende de la profundidad á que puedan navegar, me ha parecido que la designación de éstos debía depender de los índices de su fortaleza. Así, con las denominaciones de á 5, de á 10, de á 100, etc., deberáse entender que pueden resistir como carga permanente 5, 10, 100 atmósferas, y que por lo tanto pueden trabajar respectivamente á 50, 100, 1,000 metros de profundidad vertical. El índice del segundo Ictíneo, á que tantas veces me refiero en este ENSAYO, y que actualmente está en el mar, es de á 5 atmósferas, esto es, puede navegar por 50 metros de profundidad.

**RELACIONES ENTRE EL MOTOR Y LA PROFUNDIDAD.**- No puedo prescindir de continuar en este artículo, como lo he hecho en el capítulo del motor, los estudios acerca del muscular que hice cuando no poseía el inanimado y que me sirvieron en los primeros ensayos. Además, como ellos son la base de la aplicación de la fuerza en navegación subacuática, cuanto sobre ellos establezca queda sentado como regla para los demás motores.

Ya hemos visto en el citado capítulo, que el minimum de espacio, tanto en el barco exterior como en su cámara submarina, que se puede conceder á un hombre, es de decímetros cúbicos 2,290; suponiendo, pues, un Ictíneo de este volumen (esta suposición la hago para establecer una unidad), veamos á qué profundidad podría navegar.

Esta depende de la fuerza motriz y están las dos relacionadas con la velocidad en el descenso; y por las consideraciones que luego veremos, resultará la verdad del siguiente principio:

«Navegar por grandes profundidades y bajar á ellas velozmente, reclama el empleo de grandes fuerzas y por consiguiente de grandes Ictíneos.»

Este principio es verdadero, porque la presión aumenta la densidad bajo tres aspectos: 1.º, contrayendo la cámara y reduciéndola á un menor espacio; 2.º, aumentando la densidad de toda la madera<sup>40</sup> empleada en la construcción del cuerpo exterior; 3.º, haciendo sensibles las vías de agua por leves que sean en flotación. Sin estas tres causas podría conservarse, exactamente la densidad primitiva (ó de flote) del Ictíneo, podría bajar hacia al fondo por la sola fuerza propulsiva, siguiendo una línea inclinada parándose cuando conviniese, y dirigirse luego á la superficie por la acción del mismo propulsor, describiendo otra diagonal, como en la sumersión. Mas la presión, obrando conforme he explicado, conspira á que la nave submarina sea más pesada y se dirija con una velocidad creciente hacia el fondo, y cuando éste es grande ó desconocido, las indicadas circunstancias constituyen un verdadero peligro.

El aumento de densidad, pues, está en razón directa de la presión y, según he podido colegir de los experimentos verificados con los dos Ictíneos de madera hasta 30 metros de profundidad, la proporción es de 0'0001 por metro de descenso vertical.

Siendo el volumen del Ictíneo proporcional á la fuerza del motor, aumentando su densidad conforme la presión, y dependiendo el tiempo en que puede emplear la unidad de la fuerza, del tiempo que se emplee en el descenso, es claro que puede establecerse una ecuación que indique para cada Ictíneo el límite de la profundidad á que puede descender.

Como en el primer Ictíneo no establecí vejigas natatorias, los cálculos que indican el límite del descenso estaban basados sobre el almacenamiento de fuerza que se hacía durante el mismo descenso, cálculos fundados sobre supuestos que luego los experimentos corrigieron.

**RESISTENCIA.**- Para el motor-hombre y un individuo, el volumen de un Ictíneo es de decímetros cúbicos 2,290; éstos, si la cámara y cuerpo exterior son de madera se contraerán de la cantidad de 0'0001 por metro de descenso vertical; luego, pues, multiplicando estas dos cantidades entre sí y luego por la profundidad, nos darán una parte del valor de la resistencia, el cual será completo, si añadimos un peso adicional (que es de 1 por mil del peso del Ictíneo) y multiplicamos el todo por la misma profundidad.

$$(a) \ 2,290 \times 0'0001 \times \text{profundidad} \ (+ \ \text{peso adicional}) \\ 2,290 \times \text{profundidad} = n \ \text{kilográmetros.}$$

El producto es la *resistencia*, la cual depende de la profundidad en metros.

La cantidad 1 por mil en peso adicional imprime una velocidad de descenso de metros 0<sup>m</sup>30.

**POTENCIA.**- El motor-hombre da en fuerza útil, es decir, en agua expelida del Ictíneo kilográmetros 4'5<sup>41</sup>, los cuales, multiplicados por el tiempo de su empleo en segundos, nos ha de dar una cantidad igual á la de la fórmula (a). Este tiempo es la profundidad en metros, dividida por la velocidad en el descenso vertical que he dicho ser de 0'30 por segundo.

Tenemos, pues, como verdadera expresión, dadas estas circunstancias, del motor-hombre:

$$\frac{\text{La profundidad}}{\text{-----}} \quad \times \ 4'5 = n \ \text{kilográmetros} \\ 0'3$$

Como en la resistencia y en la potencia tenemos un mismo término desconocido, igual y común á las dos, debemos buscarlo por aproximación hasta que encontremos uno que dé en ambas ecuaciones el mismo número de kilográmetros; para el caso presente 56 metros de profundidad satisfacen esta condición.

Por consiguiente, para el motor-hombre, y sin vejigas, natatorias, el límite de la profundidad es 56 metros; sin embargo, como hemos supuesto un trabajo normal que se ejerce sin gran fatiga, podría llegar el límite á 80 y aun 100 metros desplegando un esfuerzo extraordinario.

El segundo Ictíneo está provisto de vejigas natatorias, donde se almacena una fuerza tanto mayor cuanta sea la profundidad á que se intente la sumersión. El volumen de ellas es de metros cúbicos 0'800, y el de la cámara y barco exterior es de unos 50<sup>m3</sup>

En ellas se inyectan unos 400 litros de agua, mientras que el coeficiente de contracción á 50 metros de profundidad, no representa más que unos 250 litros. Siendo su destino navegar por 50 metros, puede, sin embargo, por esta parte, bajar á 80, desde cuyo punto, por el solo auxilio de las vejigas, puede alcanzar la superficie.

El autor considera que la fricción es independiente de la altura de las suelas ó guarniciones de las estopadas, y expresa esta pérdida en kilográmetros por

$$n \ D \ H \ V;$$

V, velocidad del émbolo en metros.

La regla que establece la capacidad de las vejigas es la siguiente:

$$(b) 2 Q A P$$

*Q*, volumen del Ictíneo, esto es, el de la cámara, el del cuerpo exterior y de todas las máquinas y objetos contenidos entre ellos;

*A*, coeficiente de contracción; para Ictíneos de madera igual á 0'0001;

*P*, profundidad en metros.

Se multiplica por 2 para los casos extraordinarios en que deba navegarse por una profundidad superior á la del *índice*.

Sólo resta añadir, que la presión dentro de las vejigas ha de ser doble de la que experimentará la cámara en su mayor descenso, á fin de que toda el agua que contengan pueda ser expelida.

De la fórmula (*b*) se deduce que, cuanto mayor sea la profundidad, tanto mayor ha de ser la presión y el volumen de las natatorias; y como éste ha de ser proporcional á la cámara, resulta probado que «navegar por grandes profundidades, reclama el empleo de grandes fuerzas y de grandes Ictíneos». Disponiendo de un aparato tan provechoso y de un Ictíneo bien construído, no hay inconveniente en hacer descensos rápidos.

El límite del descenso tiene otro *índice*, del cual voy á ocuparme.

**RESISTENCIA DE LOS ICTÍNEOS Á LA PRESIÓN.**- La resistencia de las paredes que constituyen las cámaras de los Ictíneos, debe ser proporcional á las presiones; de lo cual se deduce, que todo Ictíneo tiene un límite de descenso vertical, dependiente de su resistencia á la presión. La resistencia depende tanto de la naturaleza del material empleado y de su espesor, como de la forma que se dé al casco interior del Ictíneo.

En la forma que consiste en una superficie plana, las presiones ejercidas sobre cada uno de los puntos se adicionan y ocasionan todas juntas la flexión y ruptura de un punto que arrastra la de los puntos inmediatos.

Las presiones ejercidas por los fluidos son normales á las superficies de los cuerpos en ellos sumergidos, y obrarán, por consiguiente, sobre los poliedros vacíos ú impermeables, sin que se adicionen las presiones de una cara á las de otra cara; por lo tanto, un poliedro de muchas caras es más resistente que uno de pocas, siendo los volúmenes idénticos. Una esfera, que es un poliedro de infinitas caras, es la forma más resistente que puede darse á una cámara submarina; es más resistente que el elipsoide y que el cilindro. Sin embargo, como las esferas y los elipsoides tienen inconvenientes de que carece el cilindro, he escogido para interior de los Ictíneos la forma cilíndrica terminada por dos conos, por dos semi-elipsoides, ó por dos semiesferas.

Veamos cuál es la ley encontrada por la práctica entre la forma cilíndrica y el esfuerzo de compresión exterior que, tiende á aplastar el cilindro. «Sobre este punto poco estudiado, dice Morin<sup>42</sup>, Fairbain ha hecho experimentos recientes que ha publicado aunque la influencia de todos los diámetros, á igualdad de espesor del metal y la proporción de su resistencia, para esta

dimensión, no esté establecida de una manera inconcusa, yo pienso, que debe darse como expresión aproximada de la resistencia de los tubos al aplastamiento, la fórmula:

$$P = A \frac{E^2}{L D}$$

que por su simplicidad me parece deber preferirse á otras más complicadas sin ser mucho más exactas»

*P*, es la presión de aplastamiento en kilogramos por centímetro cuadrado;

*A*, una constante, cuyo valor depende de la naturaleza del material;

*L*, longitud del cilindro ó tubo en metro, ó de la porción de cilindro sostenida por refuerzos, nervios ó estribos anulares, adaptados á las paredes interiores del cilindro;

*D*, diámetro en metros, del cilindro;

*E*, espesor del material en metros.

La constante *A* para el cobre rojo, según Fairbain, es 400,000 promedio de veinte y ocho experimentos sobre tubos de 10 á 30 de diámetro y de 0<sup>m</sup>38 á 2<sup>m</sup> de largo, y cuyo espesor de paredes fué en todos de 0<sup>m</sup>00109.

Según M. Manés, ingeniero de minas, la constante *A* para el cobre rojo es de 500,000 á 800,000, resultado de catorce experimentos verificados en tubos caloríficos de calderas tubulares de 3<sup>m</sup> á 13<sup>m</sup>50 de largo, de 6 á 15 centímetros de diámetro y milímetros 1'5 á 3 de espesor.

Según un experimento hecho en Montluçon, citado por Morin, la constante *A* de la plancha de hierro es de 500,000; el tubo consistía en un cilindro de 1<sup>m</sup>70 de diámetro por 1<sup>m</sup>88 de largo y tenía 6<sup>mm</sup> de espesor.

En todos estos experimentos, el aplastamiento empezó por uno de los puntos centrales equidistante de los extremos; lo cual prueba la influencia que tiene *L* ó longitud del tubo, cuya circunstancia nos advierte la utilidad de reforzar los Ictíneos con anillos interiores que acorten la distancia *L*, de manera que la cámara ictínea se presente como un compuesto de cilindros de eje corto y unidos por las láminas de la circunferencia.

Por otra parte, tiene influencia manifiesta la relación del diámetro con el espesor de las paredes del tubo, influencia que no ha podido observarse de una manera precisa por los experimentos de Fairbain, ya que los publicados han sido hechos con láminas de un mismo espesor. Por lo tanto, la fórmula no es rigurosamente propia para poder determinar de una manera cierta el espesor que se ha de dar á las paredes de los tubos, conocidos que, sean los diámetros y la presión que ha de obrar sobre ellos. Sin embargo, como la fórmula es empírica y da cuenta de los hechos, puede aceptarse para los Ictíneos, con tal de que el espesor de las paredes del cilindro esté en relación con el diámetro en una proporción que no sea superior á la de 1 por 60 ó por 70, y la del diámetro *D* con *L* sea como 5 es 1. Con estas proporciones, se asegura la resistencia á la carga y al mismo tiempo se obtiene mucho volumen de cámara, esto es: una grande fuerza de sustentación que corresponde al peso de la maquinaria. Además, hay otra razón para aceptar la fórmula, y es que los Ictíneos no deben trabajar nunca bajo una carga superior al 1/6 de la carga de aplastamiento.

El coeficiente  $A$  para el bronce y el latón en Montluçon se encontró ser de **900,000**; sin embargo, yo me atrevo á aconsejar que sólo se tome por valor el del cobre rojo, porque en este experimento la relación del espesor con el diámetro fué como 1 es 25.

Para las maderas fuertes como el olivo, caoba y roble, el coeficiente  $A$  lo estimo en **50,000**, cifra que deduzco de la resistencia de estas maderas al aplastamiento, relacionada á las del cobre, bronce y hierro.

De la fórmula indicada de Fairbain se deduce la siguiente ecuación, que da el espesor de las paredes de la cámara icánea, siendo conocidos los demás datos.

$$E = \sqrt{\frac{P \cdot L \cdot D}{A}}$$

Un Ictíneo que pueda navegar por mil metros de profundidad, resistirá una carga constante de **100** kilogramos por centímetro cuadrado, y no se aplastará hasta una carga de unos **600** kilogramos ó atmósferas, también por centímetro cuadrado. Partiendo de que el diámetro interior sea 5 metros y la porción del cilindro entre anillos ó nervios sea 1, tendremos por espesor, siendo el material bronce, la indicada ecuación, que para este caso y sustituyendo á las letras los valores, es

$$E = \sqrt{\frac{100 \times 1 \times 5}{400,000}} = 0.01118 \text{ m};$$

y por lo tanto, el diámetro exterior será de  $5.02236$ . Si el eje de la cámara interior es de  $48^m$  se encontrará que la fuerza de sustentación de la cámara de bronce equivale á unas **400** toneladas métricas, las cuales deben representar el peso de todas las máquinas, lastres, estribos ó nervios anulares, órganos de toda clase, carbones, material de combustión submarina, etc.

El Ictíneo, que está en el agua, es un elipsoide de revolución prolongado, y sólo puede sujetarse á esta fórmula en cuanto se tome una porción del eje considerándolo como cilindro.

La cámara es de madera de olivo, de la figura que requería la construcción; tiene un diámetro de 2 metros y un espesor de 10 centímetros y está reforzada exteriormente por un forro de tablones de roble de 6 centímetros, el cual á su vez está cubierto de un forro de cobre impermeable.

Tomando, pues, una porción de  $L=5$ ,  $D=2$  y  $E=0.01118$ , tendremos que la carga de aplastamiento será

$$P = \frac{A E^2}{L D} = \frac{50,000 \times 0.01118^2}{5 \times 2} = 50 \text{ K}$$

de cuya carga tomando el décimo, por tener algún defecto de construcción, puede navegar por **50** metros de profundidad.

**RESISTENCIA DE LOS CILINDROS ARQUEADOS.**- Me parece que la forma más robusta que puede darse á los Ictíneos con la menor cantidad posible de material empleado, consiste en que la cámara cilíndrica está compuesta de toros vacíos unidos entre sí; esto es, en

un cilindro engendrado por una generatriz compuesta de semicircunferencias salientes. Los toros que se sujetaron á prueba, habían recibido la forma circular por los medios ordinarios de que hacen uso los caldereros y sin que después se afinasen sus formas en el torno: los toros se soldaron entre sí formando batería ó cilindro. Este procedimiento grosero, no puede dar formas perfectas, y, sin embargo, he aquí los resultados que se obtuvieron en las tres siguientes pruebas:

*Primer cilindro*: lo componían cinco toros de 0<sup>m</sup>39 de diámetro mayor, de 0<sup>m</sup>10 de diámetro en la semicircunferencia generatriz, y de espesor 0<sup>m</sup>00084; se aplastó por el diámetro mayor á la carga de 6'5 atmósferas.

*Segundo cilindro*: compuesto también de cinco toros de 0<sup>m</sup>20 de diámetro mayor, 0'02 de semicircunferencia generatriz y de espesor 0<sup>m</sup>0005; se aplastó en el mismo sentido perpendicular al eje, como el anterior, á la carga de 7'5 atmósferas.

*Tercer cilindro*: de igual número de toros y dimensiones que el anterior, con la sola diferencia de ser el espesor de paredes de 0<sup>m</sup>001; éste no se aplastó ni presentó la menor abolladura después de haberlo sujetado á una presión de 15 atmósferas.

El material de los tres cilindros era el cobre rojo; los casquetes estaban sostenidos por cuatro estribos interiores paralelos al eje, á fin de que la presión en el sentido del mismo eje no interviniera en el aplastamiento de los cilindros.

Como estos experimentos son muy costosos, y se rompió el vaso en que se verificaba la presión, no he podido continuarlos hasta encontrar la ley de la resistencia de estas formas á presiones exteriores. Sin embargo, podemos valernos entretanto de la fórmula de Fairbain, la cual da cuenta de los dos primeros experimentos, si  $L$  significa el diámetro de la circunferencia generatriz de los toros.

En la superficie de estos cilindros la presión ha dejado escrita la historia del aplastamiento desde que empieza hasta que concluye; abundan por todas partes pequeñas fracciones aplanadas, de uno, dos, tres y más milímetros de extensión, hasta alcanzar abolladuras de forma elíptica y la gran concavidad por donde se ha determinado la ruptura del vaso.

Esta forma se presta á las condiciones propias, de los Ictíneos, reúne á la delgadez relativa de paredes una resistencia, mucho mayor que la del cilindro común, y dará por consiguiente mayor fuerza de sustentación á los Ictíneos, que, no por ser livianos, estarán impedidos de descender á grandes profundidades.

Para los vasos que deben sufrir grandes presiones interiores como son, las vejigas natatorias, la mejor forma es la de un cilindro cuya generatriz esté compuesta de semicircunferencias *entrantes*, de modo que la vista exterior se parezca á una batería ó cilindro compuesto de *escocias*.

La fuerza que ha de quedar almacenada en las vejigas natatorias, fuerza dos veces superior á la presión que debe sufrir un Ictíneo, ha hecho necesaria la indicada forma, la cual ha dado el resultado que luego notaré.

Se fundieron cuatro aros parecidos á las escocias de las columnas arquitectónicas, de secciones transversales semicirculares, los cuales, después de unidos entre sí por tornillos formaron un cilindro cuyos casquetes eran semi-elipsoides: los cuatro aros y los dos semi-elipsoides se sujetaron con cuatro barras de hierro de 5<sup>cm</sup> de diámetro, á fin de que el cilindro tuviese en el sentido del eje una grande resistencia á la presión interior. El material de los

aros era de un bronce, cuya resistencia á la ruptura por tracción fué de kilogramos 9'2 por milímetro cuadrado. Estos aros se tornearon exterior é interiormente, dejándolos á un grueso ó espesor de seis milímetros; el diámetro en la parte convexa que miraba hacia el centro, era de 0<sup>m</sup>49; en las uniones de los aros entre sí, el diámetro era de 0<sup>m</sup>55; la sección transversal en este punto, era de 0<sup>m</sup>2374, y como fué sujetado el cilindro á 35 atmósferas de presión interior, resultó ser la total en el sentido del eje de 83,111 kilogramos y en este sentido, á pesar del refuerzo de las cuatro indicadas barras, tuvo lugar la ruptura. El bronce, pues, se rompió á una carga por tracción de kilogramos 9'2 por milímetro de sección. En el sentido de la generatriz resistió 14'3 kilogramos por milímetro, sin que hubiese el menor aumento de diámetro; indicio cierto de estar lejana la ruptura, y como debía romperse á 9'2 y resistió 14'3, esto es, una mitad más, sin que pueda encontrarse otra razón que la forma, debemos admitir que este exceso de resistencia debióse exclusivamente á la forma dada á las paredes del vaso.

Esta es la manera como he resuelto el gravísimo problema, en navegación submarina, de resistencia á la presión, sin adoptar la forma embarazosa de la esfera, y huyendo del excesivo espesor de paredes reclamado por el cilindro común. Siento no haber podido establecer las leyes que rigen el espesor y los diámetros tanto en el caso de presiones interiores como en el de las exteriores; pero el camino está abierto y creo que en cuanto sea conocido se seguirá en la construcción de las prensas hidráulicas de gran potencia y sobre todo en los aparatos destinados á la liquidación de gases: tiene aplicación esta forma á las calderas de las máquinas marítimas y de los ferrocarriles, en las cuales podrán usarse presiones más elevadas que las actuales.

**VISIÓN É ILUMINACIÓN EXTERIORES.**- Los Ictíneos terminan por proa en un casquete esferoídico que contiene cinco ó más cristales: uno está en la prolongación del eje, y los otros cuatro en direcciones perpendiculares al eje de la cámara; estos cristales tienen la forma de conos truncados, cuya mayor base mira á la parte externa; en la cuaderna maestra tienen dos miradores, uno á babor y otro á estribor con cinco cristales en cinco direcciones distintas; en la cubierta hay una cúpula dispuesta también con cristales que miran á popa, proa, estribor, babor y hacia arriba. De este modo, desde el interior de los Ictíneos, puede observarse todo lo que hay á su alrededor. Estos cristales deben poder resistir centenares de atmósferas de presión; los del segundo Ictíneo tienen un espesor de 10 centímetros, y sólo absorben una décima parte de la luz natural; consisten en conos truncados, cuyos diámetros mayor y menor son respectivamente de 12 y 20 centímetros.

Como la luz natural va disminuyendo conforme se baja al fondo del mar, es necesario que los Ictíneos lleven luces potentes como la eléctrica ú oxhídrica, las cuales no ofrecen dificultades; es de una instalación fácil la última, en las cámaras submarinas.

En uno de los experimentos de esta luz verificados por la noche y en plena atmósfera, se recibía la corriente de estos dos gases sobre un pedazo de cal; y dirigida la luz por mi reflector parabólico, no solamente se distinguieron los objetos á 200 metros de distancia, sino que se conocieron las personas á pesar de la copiosa lluvia que caía.

Las explosiones se evitan, no mezclando los dos gases hasta el momento que éstos salen de los dos tubos, que separadamente y con presiones iguales, los conducen á una pequeña cámara de 50 milímetros de capacidad, donde se verifica la mezcla.

Las sustancias que recibiendo los dos gases en ignición aumentan el brillo de esta luz, por el orden de su potencia, son: la zirconia, magnesia, cal viva, yeso, óxido de zinc, mármol. Estas sustancias se usan en forma de cilindros de dos centímetros de eje por seis á ocho milímetros de diámetro. La zirconia, según Caron, de la Academia francesa, no se desgasta como los demás materiales.



He aquí los órganos que constituyen el aparato de iluminación exterior: 1.º, una linterna que gira sobre su eje; 2.º, un tubo bifurcado en forma de Y, que conduce los gases separados sobre el expresado cilindro, el que lleva un pedazo de platino esponjoso para inflamarlos; el cilindro está sobre una varita que puede subir ó bajar; 3.º, un reflector cóncavo parabólico; 4.º, un generador de oxígeno; 5.º, un depósito de hidrógeno; 6.º, dos manómetros que marquen la tensión de cada uno de los dos gases.

Esta luz aumenta con la presión, según los experimentos del físico inglés Dr. Frankland, experimentos sabiamente desarrollados por H. Sainte-Claire Deville, autor de las *Lecciones sobre la Disociación*.

Según este último, en la llama oxhídrica á la presión de 0<sup>m</sup>76, sólo quema la mitad del hidrógeno, con motivo de las relaciones que existen entre la tensión de disociación del agua con la temperatura y la presión. Por lo tanto, añade Deville, las proporciones de la materia combinada ó el vapor de agua formado, crecerá á medida que aumentará la presión<sup>43</sup>.

Cuando la luz arde en plena atmósfera, he observado que unas veces tiene á su alrededor una aureola poco luminosa, y otras un punto oscuro central. La aureola y la mancha central jamás los he observado juntamente: la corona desaparece cerrando un poco la canilla del hidrógeno; la mancha oscura dando menos oxígeno. Esto parece probar que la corona proviene del hidrógeno en exceso; y la oscuridad del centro, de demasiado oxígeno.

**VENTILACIÓN Y PURIFICACIÓN DE LA ATMÓSFERA.**- En la popa del actual Ictíneo, hay un ventilador que por un largo tubo de 20 centímetros de diámetro, aspira el aire de proa y determina una corriente constante que recibe un chorro muy dividido de agua alcalina y de oxígeno purificado y oloroso.

Constituyen los órganos de purificación: 1.º, un ventilador de 50 centímetros de diámetro; 2.º, una bomba de agua; 3.º, un generador de oxígeno; 4.º, un ancho tubo de conducción de aire; 5.º, un aljibe de agua alcalina.

La corriente de aire es de 5 metros por segundo; la sección del tubo soplador es de 0<sup>m</sup>20925; la cámara ictínea contiene un espacio libre de unos 28<sup>m</sup>3, por lo tanto, el aire de la cámara puede pasar catorce veces, en una hora, por el chorro alcalino, en el cual necesariamente ha de dejar todo el ácido carbónico que contenga.

Hasta ahora, que yo sepa, no ha sido posible dar una expresión analítica exacta de los efectos de los ventiladores, á causa de no poder valorar las resistencias que experimenta el aire, desde el instante que es aspirado, pasa por las alas y es expelido: la fórmula que yo uso es 3/4 de la velocidad de las alas multiplicada por la sección del tubo de salida y por el tiempo; da por producto la cantidad de aire arrojado por el ventilador.

**GENERADOR DE OXÍGENO.**- Consiste: 1.º, en un cilindro proporcionado al número de tripulantes, armado de una tapa que se cierra por medio de una brida; 2.º, en una caja de purificación que contiene en su interior un líquido alcalino y una rueda de palas, cuyo movimiento mezcla el líquido con el gas, con objeto de purificarlo; 3.º, en un manómetro para saber la presión que se desarrolla dentro del cilindro. En el complemento al capítulo *Respiración*, se habla de las sustancias que generan el oxígeno.

**ÓRGANOS DE LOCOMOCIÓN Y VIRADA.**- Los propulsores de los Ictíneos serán siempre una de sus partes más interesantes, ya que no pudiendo disponer de un motor barato, es indispensable que puedan aprovecharse de toda su fuerza. Al hablar de los hélices, tengo que

repetir lo publicado en 1860 sobre el primer Ictíneo, cuyo motor era muscular, y cuya capacidad interior no llegaba á 7<sup>m3</sup>.

La fuerza que ejerce un hombre asido á un manubrio es de 6 á 8 kilográmetros; cinco hombres constituían la fuerza disponible del primer Ictíneo, de la cual se inutilizaba una tercera parte por las fricciones ó roces: quedaban, pues, 20 kilográmetros, al menos, de fuerza útil.

La sección maestra inmergida del Ictíneo flotante, era de 3<sup>m2</sup>, el calado de 3 metros, la superficie exterior de 40 metros, la cual tenía muchos agujeros para cristales y útiles, y ofrecía, por consiguiente, mucha resistencia á la velocidad; con tan malas condiciones, cuatro hombres le imprimían una marcha de 1,671 metros por hora.

El propulsor del Ictíneo se parece al molinete de Wolteman, empleado para medir la velocidad de las aguas corrientes; con el hélice no tiene otra cosa de común que la oblicuidad de las alas y la de describir en el agua una generatriz helizoidal.

John Bourne, á quien el almirantazgo inglés facilitó los documentos en que se consignan todos los experimentos referentes al hélice, practicados hasta 1852, y Paris, vicealmirante francés, que publicó un tratado del hélice, donde examina los resultados obtenidos en los buques de guerra franceses hasta 1855, convienen en que debiera hacerse en gutta-percha y armazón de hierro un hélice que, dando vueltas en el agua caliente, tomaría la forma que más apropiada estuviese á esta clase de propulsores.

Smith, que dejó la esteva para inventar la hélice, tomó por punto de partida el paso entero; pero como la hélice era de madera, á consecuencia de una avería se le rompió; le quedaron dos alas y, el barco marchó mejor. Mangin divide un hélice en dos, en sentido perpendicular al eje, y coloca las dos hélices paralelas, uno junto á otro, y consigue alguna ventaja. Esto parece probar que cuanto más, se acerca la superficie de las hélices á un plano, mayor resistencia encuentran en el agua; y cuanto mayor sea esta resistencia, mejor punto de apoyo ofrecerá á la oblicuidad de las alas.

Si queremos aumentar esta resistencia, hagamos por manera que la hélice remueva menos aguas, esto es, que éstas encuentren dificultad en apartarse del plano en que giran las alas del hélice. Para conseguirlo, he construido un molinete de Wolteman, de alas paralelas, cuyo espacio comprendido entre los dos planos es de 8 centímetros. Una de estas alas puede quitarse; he aquí los resultados que he obtenido:

<i>Alas dobles</i> - Paso en metros 1'92 x vueltas, 179 =	343 <sup>m</sup> 68
Anduvo el Ictíneo .....	325
Retroceso ó diferencia .....	18'68
Id. por ciento .....	5'2

Tiempo empleado: 11 minutos, 40 segundos (3 segundos 9 por vuelta de hélice). El camino andado en una hora, 1,671 metros. El motor consistía en 4 hombres.

<i>Alas simples</i> - Paso en metros 1'92 x vueltas 200 =	384 m.
Anduvo el Ictíneo .....	<u>325</u>
Retroceso ó diferencia .....	59
Id. por ciento .....	7,5

Tiempo empleado: 11 minutos, 52 segundos (unos 3'5 por vuelta de hélice). El camino andado en una hora, 1,643 metros. El motor consistía en 4 hombres.

Estas cifras son el promedio de un gran número de experimentos y son concluyentes en favor de los hélices de alas paralelas.

El segundo Ictíneo alcanza una velocidad de  $3 \frac{1}{2}$  millas por hora, navegando contra viento fresquito, y olas de 2 metros de base por 0<sup>m</sup>50 de altura. Velocidad suficiente para resistir, hasta cierto punto, el viento fresco contrario, máxime presentando la parte flotante poco volumen al aire y estando destinado á trabajar cerca de los sitios de refugio.

El propulsor es también de dos alas, cada una de las cuales tiene dos palas paralelas, 1 metro de paso y 1<sup>m</sup>90 de diámetro. El promedio del retroceso de un gran número de experimentos fué de 9 por ciento.

La virada, estando parado el Ictíneo, se obtiene á favor del movimiento giratorio de uno de los pequeños hélices de 0<sup>m</sup>80 de diámetro y de 0<sup>m</sup>20 de paso dispuestos en la parte superior entre el centro y popa é inclinados en 45 grados sobre la horizontal: uno á estribor y otro á babor; giran con una rapidez de tres vueltas por segundo. Estos hélices están debajo cubierta, de la cual salen por su propio movimiento cuando empiezan á funcionar.

Una de las cualidades que podríamos llamar fundamentales, si casi todas no fueran de suma importancia, es la de poder permanecer los Ictíneos en perfecta quietud entre dos aguas. Las aplicaciones á la guerra, á la ciencia y á la industria, reclaman esta cualidad de una manera casi absoluta. Esto me preocupó en tanta manera en la construcción del primer Ictíneo, que desconfiando conseguirlo por los medios que más adelante explicaré, dispuse que su puntal fuese mayor que la manga, á fin de hacer eficaz la acción de una hélice que coloqué sobre la quilla: esta hélice, girando en un plano horizontal paralelo al mayor eje de la cámara, debía corregir su tendencia al movimiento de ascenso ó descenso.

La acción del hélice debía parecer dudosa obrando sobre un plano tan extenso relativamente al diámetro del hélice cuya relación es de 7 á 1; sin embargo, como las resistencias en este caso consisten en la adherencia del agua á las paredes del Ictíneo y en la cohesión molecular del líquido, por tu misma razón de que estas resistencias crecen como el cuadrado de la velocidad, no pueden oponerse á los movimientos suaves. El hélice colocado sobre la quilla del primer Ictíneo, en sus vueltas directas é inversas, lo hacía subir ó bajar ó le mantenía entre dos aguas si la velocidad de las vueltas correspondía sólo á la diferencia de densidad.

Sin embargo, un el segundo Ictíneo no se ha colocado este hélice, del cual hicimos muy poco uso en el primero, por la facilidad con que se obtiene que la densidad de los Ictíneos sea igual á la del agua del mar.

**VEJIGAS NATATORIAS Ó DE PRESIÓN.**- Componen este aparato varios órganos:

1.º Uno, dos ó más cilindros de pareles arqueadas medio llenas de agua de mar, que comunican entre sí (cuando son dos ó más) por la parte inferior el agua y por la parte superior los gases que contienen. Los gases antes de empezar la sumersión deben estar comprimidos:

á 10, 20, 40 y 200 atmósferas,

siendo el índice del Ictíneo respectivamente de

á 5, 10, 20 y 100 atmósferas.

La capacidad de los cilindros debe ser proporcional al volumen de la cámara ictínea, como se ha dicho antes; mas como éste tiene cierto límite según se ha dicho en el artículo *Generalidades*, también lo tienen las vejigas de presión; además, al igual de la cámara, también crece el volumen de éstas como el cuadrado del radio. Dicha proporción es exigida tanto por el encogimiento de la cámara ictínea fuertemente oprimida por las aguas, como por la mayor densidad que adquieren las maderas del casco exterior en las presiones profundas.

2.º Un depósito, en el centro longitudinal de la cámara, para el agua que sirve como lastre: en este depósito van á parar las aguas que se admiten en las sumersiones.

3.º Entre este depósito y las vejigas es necesario un órgano que restituya á aquéllas el agua que hayan expelido con objeto de hacer el Ictíneo más ligero, esto es: un órgano que alivie el depósito del agua que ha entrado para hacer el Ictíneo más pesado este órgano es un juego de bombas de pequeño diámetro que comprimen el agua como en la prensa hidráulica. De esta manera el agua que ha entrado pasa á las vejigas natatorias y así puede disponerse siempre de la misma fuerza para los movimientos por diferencia de densidad, ya abriendo agua que va al depósito, ya abriendo paso á la que está comprimida en las vejigas. Así se logran avances suaves ó precipitados hacia arriba y hacia abajo, los cuales combinados con los de marcha y retroceso y de virada hacia uno y otro lado, dan al Ictíneo aptitud para las operaciones submarinas.

4.º En el sitio mismo de las bombas, hay dos manómetros; uno que indica la presión de las vejigas y otro la exterior del mar. El primero siempre ha de indicar al menos la presión inicial, que, como he dicho, ha de ser doble de la del *índice* del Ictíneo, pero desde el momento en que la presión exterior llegue á la del *índice*, las bombas deben funcionar constantemente hasta que el manómetro de la presión exterior indique que el Ictíneo empieza á subir.

En el manejo bien entendido y regular de entrada de agua en el depósito de salida de la comprimida en las vejigas y del juego de las bombas, consiste la perfecta navegación subacuática. En la densidad bien manejada del Ictíneo, estriba la seguridad de los tripulantes; desde el momento en que un Ictíneo ha empezado su movimiento de descenso, ha de proveerse á la disminución de su densidad de una cantidad proporcional al encogimiento que puede ir experimentando y que las primeras pruebas (verificadas sobre altos fondos y en un declive suave) habrán indicado.

**LASTRES ESFÉRICOS Y LASTRES DE APURO.**- Los primeros consisten en esferas macizas de hierro que llevan los Ictíneos á su parte exterior y superior, dentro una caja cuyo fondo forma un ángulo de 45 á 60º sobre la horizontal, y cuya tapa ligera cede y se abre al peso de las esferas, á fin de que éstas puedan caer libremente al mar. La cerradura de la tapa depende de un árbol que comunica al interior de la cámara.

El objeto de estos lastres es remediar las consecuencias de la obstrucción de los tubos por los cuales pasa el agua de las vejigas de presión; cuando esto sucediere, ó cuando acabada el agua comprimida que contienen, no subiera el Ictíneo y las bombas descompuestas no pudieran achicar el agua de lastre del depósito, en estos casos deben arrojarse los lastres esféricos. El peso de estas esferas debe ser doble próximamente al del agua que contienen las vejigas de presión. Sólo la práctica de la navegación submarina podrá decidir acerca de la necesidad de esta clase de lastres, que no tienen otro objeto que sustituir la acción de las vejigas natatorias en el caso de inhabilitarse.

Los lastres de apuro, responden á necesidades mayores: 1.º A la contracción considerable de la cámara, contracción posible cuando se han empleado materiales falsos ó cuando la construcción ha sido viciosa, 2.º, cuando una vía de agua considerable impida la subida del Ictíneo; 3.º, cuando su descenso sea tan rápido que no pueda gobernarlo el capitán y se encuentre navegando por un mar cuyo fondo es desconocido. En cualquiera de estos casos y después de haber expelido el agua de las vejigas de presión y arrojado los lastres esféricos, se soltarán con rapidez los retenedores de los lastres de apuro, y el Ictíneo se dirigirá instantáneamente á la superficie.

La relación entre el peso de estos lastres con el peso del agua desplazada por la cámara ictínea es como 1 es á 30.

Estos lastres están colocados en la parte, central baja y exterior del Ictíneo; aparecen en los planos como portas en el pantoque, y dependen de un árbol que comunica al interior de la cámara.

**LASTRE DE EQUILIBRIO.**- Sus funciones consisten en mantener el Ictíneo en perfecta coincidencia con el plano horizontal del mismo, á fin de que pueda navegar entre dos aguas, sin dirigirse hacia arriba ni hacia abajo. Pero como la parte alta y la cubierta de un Ictíneo es algo más gruesa y más accidentada que la parte baja, de aquí que aquélla opondrá más resistencia á la marcha que ésta, y que el Ictíneo perfectamente equilibrado en todos sentidos, estando en marcha, se dirigirá hacia arriba. Esta dirección se corregirá colocando hacia proa un peso proporcionado al volumen del Ictíneo, el cual inclinándole la proa hacia abajo, anulará la tendencia á la superficie.

Además, este lastre está destinado á dar las inclinaciones proeles ó popeles que reclamen los trabajos submarinos; inclinaciones que se obtienen muy fácilmente en los cuerpos equilibrados con el agua y sumergidos, sobre todo cuando la diferencia en la longitud de los ejes es tan notable como en los Ictíneos.

El lastre de equilibrio es bastante, cuando alcanza 5 milésimas del peso del agua que desplaza la cámara, y cuando puede recorrer 1/7 de su eje mayor.

Debe estar en la parte inferior del Ictíneo, siendo indiferente que esté en popa ó proa; irá colocado entre guías y poleas y su movimiento dependerá de manubrios á fin de que pueda correr y lograrse con facilidad la inclinación ú horizontalidad del buque.

Los movimientos ocasionados por este lastre, deben referirse al nivel de agua, colocado paralelamente al eje longitudinal de Ictíneo.

**ÓRGANOS DE PRESA.**- Si se pretende recoger objetos del fondo del mar, aunque sean de escasisimo volumen, y trasladarlos dentro del Ictíneo son necesarios órganos sumamente embarazosos y caros. Consisten en un cilindro vacío colocado en la parte baja del Ictíneo; el cilindro, cuyo extremo inferior saldrá fuera del barco, debe tener en su parte media una grande espita ó válvula; en la parte superior tendrá una tapa con caja de estopas por la cual pasará una barra en cuyo extremo inferior tendrá pinzas mecánicas para coger objetos. Por lo tanto el Ictíneo tendrá que colocarse encima del objeto que se pretenda coger, y en este estado se abrirá la espita suavemente para evitar la ruptura del cilindro, lo cual tendría lugar por la brusca entrada del agua; así quedan en comunicación la barra y la pinzas con el exterior, y podrá cogerse el objeto, introducirlo en el cilindro y cerrar la espita: abriendo la caja de estopas, podrá sacarse el objeto pescado junto con la cantidad de agua contenida en el cilindro.

Sin embargo, yo no creo necesario el establecimiento de este órgano en los Ictíneos industriales (si bien puede ser útil á los destinados á investigaciones científicas) por cuanto lo mejor y más cómodo es los objetos y dejarlos en la parte exterior y superior del buque. Esto se alcanza á favor de un azadón de una forma particular, de ástil largo y encorvado siguiendo la forma del Ictíneo, movido por un árbol horizontal, como se explica en la leyenda y planos.

Los destinados á la pesca del coral se valen de este azadón para recocer al coral mulé ó que está en el suelo. En cuanto al coral vivo que está pegado en los acantilamientos ó paredes verticales de los fondos y en las techumbres de las cuevas ó huecos de las rocas, se corta ó arranca á favor de un hacha ó pala superior, cuyo ástil es muy largo y sale de la proa del Ictíneo como 2 ó 3 metros; este ástil ó mango es de madera de plantón, va asegurado por medio de dos anillos de hierro perpendicularmente á un árbol que penetra en la cámara y á favor del cual se da un movimiento de vaivén á la pala. El coral arrancado, cae en la red pendiente de una bifurcación del ástil.

**MÁQUINA DE VAPOR.**- Componen el motor del Ictíneo una caldera cilíndrica y tubular; una máquina grande movida por la combustión del carbón ó petróleo y destinada al servicio del Ictíneo flotante; una máquina pequeña, funcionando por el fuego submarino y condensadores tubulares del vapor.

Los condensadores tubulares los aplicó Hall á un buque de vapor para probar que podía hacerse un uso indefinido de una misma cantidad de agua; á pesar de no haber sido seguido su ejemplo, voy á dar una ligera idea del procedimiento. El agua de la caldera convertida en vapor pasa á obrar en los cilindros, y de éstos se dirige á una vasta superficie de condensación, formada por una gran cantidad de tubos de paredes delgadas y de escaso diámetro, constantemente bañados por el agua del mar donde el vapor se condensa, y líquido ya, pasa á un depósito, del que lo toman las bombas de alimentación para introducirlo de nuevo en la caldera. Entre las ventajas de este sistema, resalta en primera línea á supresión de tener que evacuar continuamente el agua demasiado saturada de las calderas, á fin de evitar que la sal se precipite y las inutilice, ocasionando un gasto mayor de combustible y exponiéndolas á las explosiones. La saturación, no pudiendo pasar de  $\frac{4}{32}$  obliga á una extracción de agua salada: la relación entre el agua evaporada y la extraída es como 1 es á 0,333. Por lo tanto se evita por los condensadores de Hall la pérdida de calor que se lleva el agua extraída.

En navegación submarina debe hacerse uso del procedimiento de Hall por dos razones: 1.º, para no perder la cantidad de calor que se lleva el agua; 2.º, para evitar el empleo de una fuerza considerable, cual sería la expulsión continua del agua salada navegando por debajo de agua, que á cierta profundidad llegaría á consumir toda la fuerza útil. Ignoro la relación que debe haber entre la superficie de calefacción y la de condensación; sin embargo, por experimentos bastante incompletos parece que podía ensayarse la de 1 es á 1'5 de condensación; en el actual Ictíneo es de 1<sup>m</sup> de superficie de calefacción por 2<sup>m</sup> de refrigerante. El agua condensada que entra en la cámara es fría.

La caldera y depósito de vapor en el actual Ictíneo, están revestidos de esparto y de madera formando juntos un forro de 8 centímetros de grueso.

Cubren las dos máquinas de vapor camisas de madera de 4 centímetros de espesor.

Los tubos que conducen el vapor á las máquinas y á la descarga para pasar á los condensadores tubulares están cubiertos de cuerda de esparto y sobre ella camisas de lana.

La caldera y depósito están cubiertos además por cajas de cobre que siguen la figura de estos órganos y cuya separación de paredes es de 5 centímetros, las cuales se llenan de agua

poco antes del encerramiento de la tripulación. Así hemos logrado permanecer dos horas cuarenta y cuatro minutos en la prueba del 9 de octubre, de 1868, funcionando la máquina de vapor continuamente, la cual trabajaba bajo la presión media de dos atmósferas.

En la aplicación del vapor á la navegación submarina, debe excluirse la madera como material de las paredes de la cámara, por ser mala conductora del calórico, construyéndolas de bronce ó cobre, los cuales conducirán el calor fuera del Ictíneo: además de estar cubiertos todos los órganos en que funciona el vapor, no sólo de materias mal conductoras del calórico, sino también de refrigerantes tubulares.

Para su establecimiento á bordo debe adoptarse la siguiente disposición: habrá un tubo grande en la parte baja de la cámara que comunicará por sus dos extremos armados de válvulas con el mar; á este tubo irán insertados los refrigerantes tubulares de la caldera de los conductores de vapor y de las máquinas; en la parte alta del Ictíneo habrá otro tubo grande que también por sus dos extremos armados de válvulas comunicará con el mar; á este tubo irán á parar igualmente los expresados refrigerantes. Los refrigerantes consistirán en una serie de tubos de pequeño diámetro que cubrirán los órganos de cuyo calor queremos librarnos, siguiendo la figura que tengan. El espesor de las paredes de estos tubos será proporcional á la presión que deban resistir y por consiguiente dependen del *índice* del Ictíneo. Así se establecerá una corriente de agua de mar de abajo hacia arriba, que entrando fría por los dos extremos del tubo grande inferior, penetrará por las series de refrigerantes tubulares y saldrá por los dos extremos del tubo grande superior, llevándose el calórico que tan penosa hace la permanencia de la tripulación en el actual Ictíneo.

Como la temperatura de los fondos del mar es bastante baja y la eficacia de los condensadores tubulares podría ser tal que enfriase mucho la atmósfera del Ictíneo, en este caso, las valvillas de los tubos grandes podrán gobernar la temperatura interior hasta hacerla agradable; porque impedirán, según convenga, la salida del agua de los refrigerantes.

La parte de la caldera que se refiere á los fuegos submarinos está dividida en quince cámaras de combustión horizontales con quince tapas y sus bridas para incomunicarlas con el aire del Ictíneo. Cada una de estas cámaras está provista de dos llaves que comunican con dos tubos circulares concéntricos colocados en el frente de la caldera, uno por la parte interior del espacio que cierran las quince cámaras y otro por la parte exterior, el cual conduce los gases á una caja de purificación: el tubo interior sirve para indagar si en una cámara de combustión determinada, ésta tiene lugar, ó si ya ha concluido, lo cual se sabe cerrando la llave del tubo exterior y abriendo la interior, si en la cámara hay combustión lo revelan los gases que salen por el tubo interior. Los cilindros de mezcla de combustión arden tranquilamente hasta el amarillo claro y á razón de 5 centímetros por minuto.

Al cerrar el hogar, se deja el cok que hay encendido á fin de no perder tiempo apagando los fuegos ó sacándolos, lo cual ahumaría la cámara y aumentaría su temperatura: esta operación se practica algunos minutos antes de empezar la sumersión.

La chimenea tiene una grande espita ó válvula que se cierra completamente pocos momentos antes de llegar el agua á ella, con objeto de que los gases que pueda ir dando todavía el carbón salgan libremente al exterior. Siendo dificultoso que la combustión continúe estando cerrada con arcilla la tapa del hogar, porque debiera establecerse una doble corriente de aire ascendente y descendente por la chimenea, no podrán formarse óxido y ácido carbónico, sino en muy pequeña cantidad; la cual en su mayor parte saldrá por la chimenea durante el tiempo que transcurre, desde el momento que empiezan á llenarse de agua los espacios entre cámara y buque, y el instante en que el nivel del mar llega á la línea de la válvula de la chimenea. En el

hogar, pues, no podrán originarse otros gases que el hidrógeno carbonado que contenga todavía el carbón ó cok.

Desde el hogar al depósito de aguas de lastre, va un tubo llamado de seguridad, con su espita que se abre de vez en cuando para saber si en las cajas de humo hay vapor, el cual puede provenir de algún escape de la caldera ó del agua de mar que se infiltre por la válvula mal ajustada de la chimenea: en uno y otro caso se juzgará de la importancia de estas pérdidas por el ruido que producirá el vapor al encontrarse con el agua fría de lastre donde estará inmerso el tubo de seguridad. Entre la espita de este tubo y el hogar puede ponerse un manómetro cuyo movimiento nos dirá la presión que por las causas indicadas se desarrolle en las cámaras del humo.

Para saber el agua que hay en la caldera no será muy propio hacer uso de indicadores de cristal, porque por su fragilidad, están expuestos á continuas rupturas; y aunque sea fácil cerrar las dos canillas cuando esto sucede, siempre se pasa algún tiempo en esta operación, para evitar las quemaduras llenándose en el entretanto la cámara de vapor, lo cual no agradable y trae alguna confusión. En el actual Ictíneo se hace uso de tres medios para esta indagación, dos directos y uno indirecto: 1.º de las llaves ordinarias de prueba de la caldera que son consultadas con frecuencia por el fogonero; 2.º, de un indicador de manecilla: consiste en una cámara cilíndrica dispuesta en sentido vertical de 40 centímetros de eje y 20 de diámetro donde va un flotador cuya espiga pasando por guías se inserta en la cigüeña interior de la manecilla. La parte superior de este cilindro y la parte inferior comunican respectivamente con el depósito de vapor y con el agua de la caldera. El flotador en sus movimientos de ascenso y descenso moverá la manecilla cuyo árbol de 5 milímetros de diámetro pasando por una pequeña caja de estopas exterioriza los movimientos del flotador; 3.º, de un tubo de cristal colocado en el depósito de aguas de condensación, cuya cantidad indicada por la altura sobre la inicial nos dirá la cantidad de agua que falta en la caldera.

Las válvulas de toma de vapor, han de estar inmediatas á los disparos de las demás máquinas que funcionan en los Ictíneos á fin de que puedan abrirse y dar la cantidad mayor de vapor que corresponda á cada nueva carga que se añada al árbol motor.

La máquina pequeña de vapor destinada á mover el Ictíneo por debajo de agua, es indispensable que tenga tan volante tan proporcionado á su fuerza como lo permita el local, á fin de que no se pare al dar el tornillo propulsor ó las bombas de las vejigas de presión.

Es indispensable que el árbol motor sea independiente de toda máquina: esta disposición está exigida por la multitud de órganos de que está compuesto un Ictíneo, los cuales deben funcionar ya todos juntos, ya a pares y alternativamente, ya uno solo, y por lo tanto se ha de estar continuamente sobre los disparos y las válvulas de toma de vapor. De aquí la necesidad de que muchas ruedas dentadas tengan de ser de hierro batido, para evitar el desgaste y consiguiente ruptura, que con harta frecuencia en el actual Ictíneo ha paralizado nuestras operaciones.

Como las dos máquinas de vapor tienen un condensador común, se tendrá particular cuidado en cerrar la descarga de una cuando va la otra, ó de lo contrario, mientras funciona una, la otra se llenará de agua.

Las purgas de los cilindros van á parar al depósito de aguas de condensación.

El establecimiento de las máquinas de vapor en los Ictíneos, exige una cámara especial fuera del mismo cuerpo interior, y en comunicación con él, destinada á la colocación de los



cilindros de mezcla después de ardidos, ya que saliendo de las cámaras de combustión á una temperatura muy superior á 100° dan mucho calor al aire del Ictíneo.

El ruido producido por los diversos órganos y en especial por el ventilador, hacen conveniente el establecimiento de tubos acústicos y el uso de silbatos para la comunicación de las órdenes.

**CORREDERA DE LOS ICTÍNEOS.**- No conoce ningún medio mecánico para saber de una manera fija el camino recorrido por mi buque en un tiempo dado, por no ser posible apreciar la influencia de las corrientes; se recurre á medios astronómicos en largas travesías, y en las de cabotaje á distancias conocidas en la costa. Por lo tanto, la corredera sirve, sólo para saber próximamente la velocidad con que anda un buque. La submarina está tomada del cilindro aforador de Lapointe, el cual es el mismo molinete de Wolteman, metido dentro de un cilindro bastante grande, con relación al molinete helizoidal que ocupa el centro para evitar la influencia de las paredes en la velocidad del agua.

Este molinete se establece en el Ictíneo de la manera siguiente: en la cubierta se practicará un canal abierto por la parte superior de 60 centímetros de diámetro y 1 metro de largo, cuyos dos extremos estarán un poco agrandados á manera, de embudo; en el centro de este canal irá colocado un molinete helizoidal cuyo radio será de 15 centímetros y cuyo plano estará paralelo á las secciones transversales del Ictíneo; el eje del molinete que será de un centímetro de diámetro, llevará un *sinfin* ó tornillo que engranará con una rueda de dientes helizoidales, cuyo eje de 5 milímetros de diámetro, penetrará por una pequeña caja de estopas dentro de la cámara del Ictíneo donde estará el contador.

Supongamos que el paso del molinete sea de 0'25, que el *sinfin* haga marchar de un diente por revolución de molinete á la indicada rueda de dientes helizoidales; que el número de éstas sea de 40, tendremos que 40 revoluciones de molinete equivaldrán á 10 metros de camino andado y á una vuelta de la rueda de dientes helizoidales, cuyo eje, como he dicho, penetrando en la cámara del Ictíneo, marcará en el contador los 10 metros andados, los cuales partidos por el número de segundos empleados, nos dará la velocidad.

**PERSONAL DE UN ICTÍNEO.**- Las máquinas de que está compuesto un Ictíneo han de tener personas especiales para cuidarlas y dirigir las; en la distribución de este personal se ha de atender solamente á las funciones principales, las cuales son: gobierno de la densidad; aireamiento; máquinas de vapor; fuegos, y nivelación. La más importante de todas es el gobierno de la densidad, la cual por mal gobierno ó por descuido momentáneo, podría precipitar el buque á abismos cuyas presiones aplastasen la cámara antes de dar tiempo para usar de los medios extraordinarios que tiene un Ictíneo para subir á la superficie. El gobierno, pues, de la densidad por los medios naturales del Ictíneo, debe reservarse al Jefe, Capitán y Director del buque, ó á su segundo, los cuales al mismo tiempo que marinos deben conocer la parte de las ciencias físico-químicas que se refieren á la navegación submarina. Los órganos, que gobiernen la densidad, que por sus propias manos dirigirá el Capitán ó segundo, se hallarán en la timonera del Ictíneo.

Purificar el aire, producir oxígeno, ventilación y demás órganos y sus funciones, estarán á cargo de un *aireante*, que en las sumersiones cuidará exclusivamente, del mantenimiento del aire en las condiciones exigidas por la higiene.

Los *maquinistas* celarán todas las máquinas, y en especial las de vapor.

Los *fogoneros* tienen á su cargo el fuego submarino, el cual debe mantener una presión constante en la caldera.

Los *nivelantes* tienen el encargo de las bombas hidráulicas que procuran la presión necesaria en las vejigas, por medio de la cual el capitán gobierna la densidad del buque; además cuidarán del lastre de equilibrio.

Los *torreros* que proveen á las funciones de los faros iluminadores del espacio exterior, cuyas luces, ya sean eléctricas ú oxhidricas, requieren cuidados especiales y constantes.

Los medios extraordinarios para subir con rapidez del fondo, estarán encomendados á los que los tengan más cerca del sitio que ocupen.

**OPERACIONES EN LAS PRUEBAS SUBMARINAS.**- Antes que todo, y esto es importantísimo, se ensayarán todas las máquinas, todas las espitas, todos los árboles que comuniquen movimiento, tanto á las máquinas interiores como exteriores, y un especial los de los lastres esféricos y de apuro, las bombas de agua y aire; y todo lo que ofrezca duda, se recompondrá ó ajustará hasta tener una seguridad completa de que todo marcha con la regularidad debida.

El Ictíneo debe estar perfectamente equilibrado; no debe inclinarse ni á estribor ni á babor, ni á popa ni á proa, y para la sumersión (contando con el agua de lastre, carbones ó petróleo, tripulación y fuego submarino), debe pesar el Ictíneo exactamente lo que pesa el agua que desplaza. Para saldar las diferencias en inclinación, serán necesarios lastres de plomo y hierro en el interior, igualmente se saldará en esta clase de lastres la diferencia de densidad si ésta es grande; si ésta es pequeña bastará saldarla en agua en el depósito de la de lastre. -La operación de equilibrar el Ictíneo, tendrá lugar cuando esté concluído y cuando por razón de alguna reforma en él se haya alterado su densidad ó los centros de gravedad y de sustentación.

El barómetro indica si la cámara está herméticamente cerrada; si estando la tripulación dentro sube, es señal de que está cerrada; si oscila, hay algún escape poco importante, y si no se mueve, es indicio de que ha quedado algo abierto, y por lo tanto, se suspenderá la sumersión hasta saber por dónde tiene lugar el escape. Algunas veces consiste en alguna espita mal ajustada, ó en alguna válvula que cierra mal por haberse interpuesto algún cuerpo duro entre las dos superficies de junta; y en uno y otro caso, son comunicaciones superiores, es decir, válvulas y canillas que están comunicando con el aire exterior.

Para proceder á la sumersión, se cerrará herméticamente el hogar dejando en él el carbón que haya, y al mismo tiempo se quitarán los tubos de entrada de aire en el Ictíneo, y la parte de chimenea exterior; cerrado el hogar, se encenderán los cilindros del fuego submarino, á fin de que no baje la presión en la caldera, y cuando estén en actividad, se procederá á la sumersión.

Se abrirá la espita superior y las inferiores de estribor y babor, ambas pertenecientes á las vejigas que mantienen el Ictíneo flotante; así se vaciarán del aire que contienen y se llenarán de agua.

En este estado se admitirá en el depósito de agua de lastre la que falte para estar el buque en perfecto equilibrio con el agua que desplaza.

Si la sumersión debe ser vertical, se admitirá agua hasta hacerse más pesado el Ictíneo, teniendo, sin embargo, en cuenta, que las paredes de la cámara se contraerán por la presión, y que la madera del barco exterior se hará más pesada, porque el agua la penetrará, y por ambas causas aumentará la densidad del Ictíneo: por lo tanto, esta última admisión de agua, se hará de una manera prudente, estando siempre dispuesto el Jefe á dar salida á la comprimida en las vejigas de presión ó natatorias. Los descensos, y sobre todo el vertical, en sitios de fondo

desconocido, deben practicarse de una manera muy suave: sólo haciéndolo así, el Jefe dominará el Ictíneo y podrá vencer los peligros, aun aquellos que provengan de una vía de agua considerable. El Ictíneo debe descansar en los fondos erizados de rocas, como la ligera pluma descansa en el suelo; así el buque submarino será libre en todos sus movimientos.

Cuando la sumersión haya de tener lugar estando la nave submarina en marcha, no se admitirá el lastre de agua acostumbrado, sino inclinando la proa hacia abajo por medio del lastre de equilibrio; de este modo se irá profundizando, siguiendo una diagonal, que se acercará tanto á la horizontal cuanto se quiera, según sean las relaciones entre la velocidad, la diferencia de densidad y la inclinación del eje.

Si la sumersión ha de ser profunda, antes se encenderán las luces eléctricas ú oxhídricas, tanto la superior como la inferior.

Si ha de durar horas, entonces es necesario que todos los aparatos de purificación de aire y de producción de oxígeno estén en función, para que se tenga la atmósfera en las condiciones naturales exigidas por la higiene.

Cuando la sumersión tenga por objeto la industria de la pesca, ó la exploración geológica de un fondo, entonces el descenso siempre suave, seguirá la vertical, y cuando se ande será despacio, á fin de evitar los obstáculos que ofrecen los fondos.

Los *fogoneros* que están encargados de mantener una presión constante en la caldera arrojarán el vapor á los condensadores siempre que la presión pase de lo convenido.

El *aireante*, si no recibe aviso contrario, que se lo dará el jefe cuando se acerque el momento de la emersión, no dejará en ningún caso de proveer á la respiración.

El *nivelante* encargado de las bombas, sostendrá en las vejigas natatorias la presión convenida de antemano, ó al menos la doble de la que le indique el manómetro de la exterior del mar.

El *maquinista* atenderá á las voces del jefe: *cía, bogá, á la vía, aprisa, suave, más suave, pára*, y cuando esté en este caso, á las de: *vuelta por estribor ó por babor*. Cuando el Ictíneo esté á la vía, las voces *estribor, babor*, van dirigidas al timonel.

Concluído el objeto de la sumersión, se subirá suavemente, deteniéndose el Ictíneo á 5 ó 6 metros de la superficie, á fin de evitar el choque que podría tener lugar si un barco flotante acertara á pasar por el sitio que debe ocupar el Ictíneo; lo cual inspeccionará el jefe desde los cristales de la cúpula: y en este estado se pondrá en marcha el Ictíneo y acabará de alcanzar la superficie y ponerse á flote, vigilando siempre el jefe desde la cúpula.

Para ponerse á flote se cerrará la espita superior, se abrirán las inferiores, se pondrá en movimiento la grande bomba de aire, al mismo tiempo que se abrirá la espita, por cuyo paso irá el aire de la bomba á los aljibes ó vejigas de flote, desalojando el agua que contienen la cual saldrá por las espitas inferiores.

Al hacer esta operación, el *nivelante* tendrá colocado transversalmente un nivel de agua, al cual tendrá puesta su atención; y á fin de que el Ictíneo se ponga á flote sin ladearse, cerrará las espitas de babor si el barco tomare la inclinación á estribor, ó al contrario cuando al revés acontezca. Cuando el barco está completamente á flote, lo indica el ruido del aire que sale por las espitas inferiores, que cuando llega este caso se cierran.

En seguida puede abrirse la escotilla, la grande válvula de la chimenea, el hogar, en el cual se encenderán los fuegos ordinarios y se colocarán los tubos de aire exteriores.

La brújula, debajo de agua, obra de la misma manera que en la atmósfera, y la corredera marca el camino andado; por consiguiente la navegación submarina tiene lo indispensable para ofrecer guías bastante seguros á los Ictíneos, los cuales podrán dirigirse por debajo de agua al cumplimiento de sus destinos.

El conocimiento de la pesantez del aire, se debe á Galileo; el aire oprime, todos los cuerpos de la superficie terrestre y esta presión ejerce notabilísima influencia en los seres organizados. La pesantez del aire sobre 1 centímetro cuadrado es de 1,033 gramos; esta presión está indicada por 0<sup>m</sup>76 en el barómetro de mercurio. La capa de aire que cubre la tierra tiene un espesor de 50 á 60 kilómetros. El aire es un fluido permanente, inodoro, insípido, incoloro, diáfano y de una elasticidad muy perfecta. La densidad de sus capas inferiores comparada á la del agua es de 0'0011293 millonésimas; esta densidad va disminuyendo hacia arriba en una progresión que se ignora y que depende de la mutua afinidad de sus moléculas. El límite superior de la atmósfera, según Poisson, se ha de comportar como un líquido no evaporable y esta opinión es casi una certidumbre, porque según los resultados espectroscópicos de Lochkier, así se comporta la atmósfera de hidrógeno de 8,000 kilómetros de espesor que rodea la atmósfera del sol<sup>44</sup>.

El aire continuamente penetrado por los vapores de agua y por las emanaciones terrestres, cuando es atravesado por la electricidad dinámica ha de dar lugar á un gran número de productos que tal vez ejerzan grande influencia en la vida. Según Schoebein es incontestable que las descargas eléctricas atmosféricas dan lugar á la formación de una pequeña cantidad de ácido hiponítrico (ó mejor ácido nítrico); sin embargo, este químico no ha podido encontrar en el agua de una lluvia tempestuosa el ácido nítrico, sino nitrito y nitrato de amoníaco; porque el ácido hiponítrico formado en el aire satura el carbonato de amoníaco que encierra la atmósfera.

El mismo químico, en 1840, señaló en el aire atmosférico la presencia del ozono, cuyos caracteres son los siguientes: gas incoloro, muy oloroso, agente poderoso de oxidación, estable á los 15° y destruído hacia los 75°. El ozono es el oxígeno naciente. Por lo tanto, el oxígeno que resulta de la descomposición del ácido carbónico por las plantas es ozono, y por este motivo se encuentra en la atmósfera. La densidad del ozono, según Soret, es una vez y media la del oxígeno<sup>45</sup>.

Habiéndose ofrecido dudas sobre la existencia del ozono en la atmósfera, Th. Andrews, ha probado que el cuerpo disuelto en el aire atmosférico que colora el papel yodurado, no es ni el ácido nítrico, ni el cloro, sino el ozono<sup>46</sup>.

Su presencia, según Schoebein, se comprueba además con el papel yodurado y almidonado, con el papel mojado en una disolución de protóxido de talio, el cual se ennegrece al tomar un mayor grado de oxidación con el ozono, y se hace más sensible este papel si se humedece con la tintura de guayacán (palo santo)<sup>47</sup>.

Además de las plantas, producen también el ozono las descargas eléctricas.

Vamos á ver en qué grado ejercen su influencia las plantas en la atmósfera y cómo la ejercen.

**RESPIRACIÓN DE LAS PLANTAS.**- Los estudios de los químicos del pasado y presente siglo están sabiamente continuados por muchos químicos y fisiólogos, entre los cuales figuran Dumas y Boussingault<sup>48</sup>; y á la vaguedad de los resultados anteriormente obtenidos, este último ha sustituido la claridad de las cantidades precisas.

1.º Los vegetales elaboran:

Materias azoadas: albúmina, cáseo, gelatina y fibrina que posee todas las calidades de la fibrina que se saca de la sangre;

Materias vegetales: almidón, gomas, azúcares;

Materias grasas: aceites, grasas;

Conteniendo las vegetales estas tres clases de productos, se ve que todos los animales, tanto herbívoros como carnívoros, se alimentan de las mismas sustancias.

2.º Los vegetales se alimentan de las secreciones animales: agua, ácido carbónico, óxido de amonio, esto es: fijan el carbono, el hidrógeno, el azoe, el agua de los productos excretados por los animales y exhalan el oxígeno que contenían.

3.º Además, la planta, según Dumas, absorbe calor y electricidad y precisamente calor y electricidad produce el animal.

4.º La acción del reino vegetal reduciendo se verifica á favor de la luz solar: los rayos amarillos, según Drapper, citado por Boussingault, son los que ejercen el máximo de descomposición; el rojo intenso, azul, índigo y violado no ejercen ninguna<sup>49</sup>.

5.º Las hojas de las plantas, en la oscuridad, producen ácido carbónico, que manda su carbono á favor del oxígeno del aire.

6.º La facultad reductriz de las hojas de las plantas disminuye si durante el tiempo que permanecen en la oscuridad están privadas de respirar oxígeno; si este tiempo se prolonga de dos á cuatro días, cesa completamente la facultad reductriz.

7.º Las hojas expuestas al sol y al ácido carbónico puro no descomponen ese gas, ó si lo descomponen es muy lentamente. Pero lo descomponen si la presión disminuye á 0<sup>m</sup> de la columna de mercurio.

8.º Las hojas expuestas al sol en una de las siguientes mezclas: ácido carbónico y aire; ó de ácido carbónico mezclado con azoe ó con hidrógeno ó con hidrógeno carbonado ú óxido de carbono, descomponen rápidamente el ácido carbónico. Por lo tanto, la presencia del oxígeno en el aire no es necesaria para la reducción del carbono; pero sí es indispensable que las moléculas de ácido carbónico estén separadas unas de otras por falta de presión ó por interponerse otro gas.

9.º El volumen de oxígeno producido es igual al volumen de ácido carbónico descompuesto.

10.º Las hojas que han perdido su agua constitutiva son impropias para reducir el carbono, aunque se las humedezca y estén verdes.

11.º La cara de las hojas tiene una facultad reductriz superior al envés.

12.º La cantidad de ácido carbónico descompuesto por un metro de superficie de los dos limbos de las hojas durante doce horas de exposición al sol, es de 6 litros 336 milésimas; y la cantidad de ácido carbónico que esta misma superficie produciría en doce horas de noche es de litros 0'396.

13.º Expuestas las hojas á la luz difusa, ya sea por un tiempo nublado ó á la sombra, la cantidad de ácido carbónico descompuesto no es más que la mitad del descompuesto á la luz directa.

14.º Según los experimentos de *Wan Tieghem*, la *Elodia Canadensis* y otras plantas acuáticas conservan la facultad reductriz después de tres horas de haber recibido la luz solar y estando en completa oscuridad solar, y expuestas á la luz artificial<sup>50</sup>.

Estos experimentos tienen grande importancia en navegación submarina, porque pueden conducirnos á la descomposición en frío del ácido carbónico á favor de otros agentes que no sean ni la luz solar, ni el organismo de las plantas. Morreu, citado por Dumas, indica que hay ciertos animalillos en las aguas que, á favor de la luz solar, descomponen también el carbónico; y, como hemos visto, *Tieghem* supone que la luz solar es capaz de almacenarse en ciertas plantas acuáticas y obrar la descomposición del ácido carbónico tres horas después de estar aquéllas en la oscuridad.

En la Naturaleza está todo tan bien dispuesto y tan bien compensadas las acciones recíprocas de unos principios con otros, que debieron aparecer á la vez el aparato de reducción y el de combustión: al menos así parecen indicarlo la semejanza en su manera de obrar en ciertos estados, y el servir uno á otro de complemento como si sus existencias estuvieran invariablemente unidas.

En efecto; la planta y el animal empiezan la vida exhalando ácido carbónico; esto es, el huevo y la semilla germinan quemando carbono; germina la semilla produciendo *esparragina* que es un producto azoado, que se transforma luego en esparragato de amoníaco, como la *urea* es una materia azoada animal, que se transforma en carbonato de amoníaco.

Los reinos animal y vegetal cuyas primeras funciones son parecidas, tienen semblanzas en otros períodos acercándose los vegetales á los animales en la época de la eflorescencia y en la de entrar los frutos en sazón: en una y otra el vegetal vuelve á respirar oxígeno para quemar carbono y exhalar ácido carbónico. Por manera que en los tres grandes actos de su vida, en el nacimiento, concepción y reproducción, la planta funciona como el animal.

Además, durante la noche, las plantas son aparatos de combustión, producen ácido carbónico, y, según Dumas, cuando la planta no recibe calórico obra también como si fuera animal, quema carbono para procurarse el calor que le falta. Según Boussingault las semillas sembradas en la oscuridad crecen y se desarrollan, siendo siempre aparatos de combustión y viven en tanto que la semilla contiene carbono. Lemair que ha observado la existencia de infusorios en el acto de la germinación, admite que éstos la provocan.

¿No parece todo esto indicar que el principio de la vida en ambos reinos es uno, pero conforme á la ley del dualismo, de este dualismo que cada individuo lleva en sí, produciendo los sexos que perpetúan las especies?

He aquí como se expresaba Lavoisier acerca de la manera, como se verifica el trabajo de reducción en las plantas: «Para formarse una idea de lo que pasa en esta grande operación, es necesario saber que no hay vegetación sin agua, y sin ácido carbónico; estas dos sustancias se descomponen mutuamente en el acto de la vegetación, por su *lado* análogo: el hidrógeno se separa del oxígeno para unirse con el carbono, y formar los aceites, las resinas y para constituir el vegetal; al mismo tiempo el oxígeno del agua y del ácido carbónico se desprende en abundancia (como lo han observado Priestley, Ingenhousz y Senebier), y se combina con la luz para formar gas oxígeno.»

Esto es (podemos decir ahora que conocemos el ozono, el autozono y el oxígeno en estado neutro): el oxígeno del agua y el del ácido carbónico están en estados alotrópicos diferentes y se combinan entre sí, al mismo tiempo que se forma hidrógeno carbonado.

Faltan, pues, para descomponer en frío el ácido carbónico, saber qué papel ejerce el color verde y sustituir por otro agente la luz solar.

**RESPIRACIÓN HUMANA.**- Los animales que se asimilan los productos vegetales por medio de la digestión, á favor del aparato respiratorio devuelven á la atmósfera los alimentos que necesitan las plantas después de haberles sustraído la fuerza solar que con ellos estaba combinada.

He aquí los resultados de los estudios de Andral y Gavarret acerca de la respiración del hombre:

«1.º La cantidad de ácido carbónico exhalada por los pulmones en mi tiempo dado, varía en razón de la edad, del sexo y de la de los individuos.

2.º En el hombre, como en la mujer, esta cantidad se modifica con las edades, independientemente del peso de los individuos, sometidos á la experiencia.

3.º En todos los períodos de la vida comprendidos entre ocho años y la vejez más adelantada, el hombre y la mujer, se distinguen por la cantidad de ácido carbónico que se exhala por sus pulmones en un tiempo dado; en igualdad de circunstancias, el hombre exhala siempre una cantidad más considerable que la mujer. Esta cantidad es muy notable entre los 16 y 40 años; en cuya época el hombre exhala por el pulmón casi doble cantidad de ácido carbónico que la mujer.

4.º En el hombre, la cantidad de ácido carbónico exhalado crece sin cesar de 8 á 30 años, y este crecimiento continuo se hace mayor repentinamente en la época de la pubertad. A los 30 años, comienza á disminuir la exhalación de ácido carbónico, disminución que se verifica por grados tanto más marcados, cuanto se aproxima el hombre á la vejez: hasta tal punto, que en el último límite de la vida, la exhalación de ácido carbónico por los pulmones vuelvo á ser como en la edad de 10 años.

5.º En la mujer la exhalación de ácido carbónico aumenta según las mismas leyes que en el hombre durante la segunda infancia; pero en el momento de la pubertad, al mismo tiempo que aparece el menstuo, la exhalación, al contrario de lo que sucede en el varón, se detiene de pronto, permaneciendo estacionaria (casi como en la infancia) mientras que la menstruación permanece en toda su integridad. Al retirarse ésta, la exhalación de ácido carbónico por los pulmones aumenta de un modo notable; después disminuye como en el hombre á medida que la mujer adelanta en su decrepitud.

6.º Durante el embarazo la exhalación de ácido carbónico se eleva momentáneamente á una cantidad igual á la de las mujeres que han llegado á la edad crítica.

7.º En los dos sexos y en todas las edades, la cantidad de ácido carbónico exhalada, es tanto mayor cuanto más fuerte es la constitución y más desarrollado el sistema muscular.<sup>51</sup>»

**EXPERIMENTOS DE REGNAULT Y REISET.**- Imaginaron y construyeron un aparato que se encuentra dibujado y descrito en una obra moderna<sup>52</sup> que ya he tenido ocasión de citar, en que durante muchos días puede vivir un animal dentro de un volumen de aire limitado



cuya composición puede siempre ser comparada á la del ambiente, á favor del mismo juego del aparato.

Ignoro si estos experimentos precedieron á los míos, si son anteriores ó posteriores á mis ensayos en el Ictíneo que se han hecho de una manera pública; ignoro si los privados que hice antes de 1857, época en que comencé mi barco submarino, han sido precedidos por algún otro autor; pero es positivo que yo no he tenido conocimiento de ellos, y en la actualidad no sé de otros que de los de Regnault y Reiset y aun por la publicación ya citada en la nota. De todos modos son tan interesantes, y estos señores los han hecho tan perfectos y tan prolongados en tiempo de secuestación, que es una verdadera dicha para mí, saber por pruebas propias y por las que otros han hecho, que puede sostenerse la respiración en cámaras herméticamente cerradas de una manera casi indefinida.

Regnault y Reiset aseguran, que experimentos previos demostraron, que los alimentos y excreciones sólo vician el aire después de un tiempo bastante largo, y en consecuencia, se ponía en la campana de cristal, en que sucesivamente se colocaban los animales, el alimento necesario á su manutención.

Regnault y Reiset han reconocido que los animales no se prestan todos con igual facilidad á los experimentos fisiológicos; muchas especies mueren de inanición, teniendo á su alcance los alimentos; de aquí el estado de *inanición* y de *alimentación* que en diferentes animales han sido estudiados por Regnault y Reiset. Los gatos son desconfiados y no comen; él ánade, sin compañía, tampoco; la gallina se alimenta y pone huevos que luego se come junto con la cáscara; el perro y el conejo, admirados de encontrarse encerrados al principio no comen, pero luego se resignan y se alimentan. He aquí un extracto de las conclusiones de los experimentos de Regnault y Reiset.

**MAMÍFEROS Y AVES.** - 1.º Cuando estos animales están sometidos al régimen alimenticio que les es habitual, emiten siempre ázoe en una cantidad que no pasa nunca de dos céntimos del peso del oxígeno consumido.

2.º La absorción de ázoe por los pájaros es casi constante si hay inanición, pero jamás en los mamíferos.

3.º La relación entre la cantidad de oxígeno contenido en el ácido carbónico y la cantidad total de oxígeno consumido, parece depender mejor de la naturaleza de los alimentos que de la clase á que pertenece el animal. Esta relación es más grande cuando los animales se nutren de granos; con frecuencia pasa de la unidad. Cuando se alimentan de carne, esta relación es más débil y varía entre 0'62 y 0'80; y sometidos al régimen de legumbres la relación es intermedia.

4.º Cuando los animales están sometidos á la inanición, la relación entre el oxígeno contenido en el ácido carbónico y el oxígeno total consumido, en general es un poco menor que la observada para el mismo animal sometido al régimen de carne; en este caso da á la respiración su propia sustancia que es de la misma naturaleza que la carne que comía. Todos los animales, pues, de sangre caliente, cuando están hambrientos, presentan la respiración de los animales carnívoros.

5.º La relación entre el oxígeno contenido en el ácido carbónico y el oxígeno total consumido varía, para el mismo animal, desde 0'62 hasta 1'04, según el régimen a que está sometido.

6.º Lavoisier intentó probar que el calor emitido por un animal en un tiempo dado, es precisamente igual al que resultaría de la combustión viva en el oxígeno por el carbono

contenido en el ácido carbónico producido, y por el hidrógeno que formaría el agua con la porción del oxígeno consumido que no se encuentra en el ácido carbónico<sup>53</sup>. Es, pues, por una coincidencia fortuita que Lavoisier, Dulong y Despretz hayan encontrado que las cantidades de calor emitidas sean casi iguales á las del carbono del ácido carbónico producido y del hidrógeno del agua formada ardiendo un completa libertad.

7.º Las cantidades de oxígeno consumidas por un mismo animal en tiempos iguales, varían mucho según los diversos periodos de la digestión, el estado de movimiento, y según una multitud de circunstancias que es imposible especificar.

8.º Para los animales de una misma especie y á peso igual, el consumo de oxígeno es mayor en los individuos jóvenes que en los adultos; en los animales sanos de pocas carnes que en los muy gordos.

9.º El consumo de oxígeno hecho en tiempos iguales por pesos iguales de animales, que pertenecen á la misma clase, varían mucho con el tamaño absoluto; así es diez veces mayor en pequeños pájaros, tales como el verderol y gorriones, que en las gallinas. Como la temperatura de estas diversas especies sea igual y como las más pequeñas presenten comparativamente una superficie mucho mayor al aire ambiente, es necesario que las causas que engendran el calor obren más enérgicamente y que la respiración sea más abundante.

10. Los animales de sangre caliente exhalan por la respiración cantidades infinitamente pequeñas y casi indeterminables de amoníaco y gas sulfurado.

**MAMÍFEROS INVERNANTES.**- 11. Los mamíferos como la marmota absorben ázoe; la relación entre la cantidad de oxígeno contenido en el ácido carbónico exhalado y la del oxígeno consumido es más débil; algunas veces no se eleva más que á 0'4: estos animales, pues, aumentan de peso por la sola respiración; mas este aumento no es indefinido, puesto que de vez en citando el animal excreta urea.

12. El consumo de oxígeno que hacen las marmotas durante su letargo es 1/30 del que consumen en la época de su despertamiento.

En el momento en que las marmotas salen de su letargo su respiración es muy activa, y en este primer período consumen mucho más oxígeno que cuando están completamente despiertas.

13. Las marmotas aletargadas, pueden vivir mucho tiempo en un aire pobre en oxígeno, aire que asfixia en pocos instantes una marmota despierta.

**ANIMALES DE SANGRE FRÍA.**- 14. La respiración de los reptiles consume á peso igual mucho menos oxígeno que la de los animales de sangre caliente: no difieren la naturaleza y la proporción de los gases absorbidos y exhalados. Los experimentos han dado ya absorción, ya exhalación de ázoe.

15. Las ranas á quienes se han quitado los pulmones, continúan respirando á poca diferencia con la misma actividad; viven frecuentemente muchos días y difieren poco las proporciones de gas absorbido y exhalado: lo cual parece demostrar que la respiración de las ranas tiene lugar principalmente por la piel.

Fremy y Pelouze añaden á las observaciones de Regnault las siguientes:

16. La respiración de los gusanos de tierra es comparable á la de las ranas; pero la de los insectos es más activa; gastan á peso igual casi tanto oxígeno como la de los mamíferos.

17. En fin, los animales de diversas clases pueden respirar normalmente en una atmósfera que contenga dos ó tres veces más oxígeno que el aire ambiente, ó bien en una atmósfera cuyo ázoe haya sido reemplazado por hidrógeno; en este último caso la respiración es más activa.

Ahora sólo me resta hablar de la absorción de ciertos gases y llamar la atención de los exploradores submarinos sobre los funestos efectos que producen, á fin de que eviten las reacciones que pueden generarlos.

**GASES DELETÉREOS.**- Es de indudable utilidad saberlos efectos que producen los diferentes gases que pueden desarrollarse en los Ictíneos, ya que por ahora no se dispone de otra fuerza que la del calórico emitido por las reacciones químicas, las cuales según de que materias provengan son capaces de dar origen á muchos de ellos.

Las siguientes notas son extractadas de Thenard: En una atmósfera de ázoe, de protóxido de ázoe ó de hidrógeno sin oxígeno ó con poca cantidad de este gas, los animales se asfixian; pero exponiéndoles en seguida al aire libre recobran sus fuerzas.

Los efectos del protóxido de ázoe en la naturaleza humana helos aquí expuestos por el químico Davy:

«Después de haber expedido el aire de mis pulmones y de haberme tapado las narices respiré litros 3'52 de gas óxido nitroso; las primeras sensaciones que experimenté, fueron como en otro ensayo los del vértigo y vahidos; pero en menos de medio minuto, continuando siempre de respirar, disminuyeron por grados, los reemplazaron sensaciones análogas á una presión suave sobre todos los músculos acompañada de estremecimientos muy agradables, particularmente en el pecho y las estremidades.; los objetos que estaban á mi alrededor, se me figuraban más brillantes y el oído se me hizo más sutil. Hacia las últimas aspiraciones la agitación se acreció; la facultad del poder muscular se aumentó, y al fin adquirió una propensión irresistible al movimiento. Confusamente me acuerdo de lo demás; sólo sé que mis movimientos fueron variados y violentos. Estos efectos disminuyeron desde que dejé de aspirar el gas, y diez minutos después me encontré en mi estado natural, prolongándose más tiempo que las demás, la sensación de estremecimiento en las extremidades.»

Thenard, dos de sus ayudantes y Vanquelin experimentaron efectos parecidos respirando dicho protóxido de ázoe. La respiración se activó y sus rostros se pusieron pálidos y azulados; y se les hubiera juzgado llenos de fuerza al ver el ardor con que aspiraban el gas; y sin embargo, apenas se les quitó la vejiga de que lo aspiraban, cayeron desfallecidos, permaneciendo algunos segundos sin movimiento, los brazos caídos y la cabeza inclinada sobre los hombros.

Cuando se somete un animal á una atmósfera formada de amoníaco ó hidrógeno sulfurado, hidrógeno arseniado, ó de deutóxido de ázoe muere de repente, y muere también aun cuando el gas esté mezclado con una porción de aire atmosférico. El más mortífero de todos ellos es el hidrógeno sulfurado; su acción es tan grande, que apenas puede concebirse; pues el aire que contiene 1/1,500 de su volumen de hidrógeno sulfurado, mata al instante a un verderón; el que tiene 1/800 á un perro de mediana talla, y mi caballo acaba por morir en el que posee 1/250. Estos experimentos que Thénard y Dupuytren practicaron hace 20 años, y después de ellos Chaussier, prueban, que hasta hacer obrar el gas sobre la superficie cutánea para destruir los animales; porque es absorbido por las bocas absorbentes del cutis<sup>54</sup>.

Siendo el ácido carbónico uno de los productos más notables y abundantes de los animales, veamos los efectos que produce en el hombre. Con el objeto de conocerlos, muchos químicos han respirado durante algún tiempo este gas, y lo han encontrado ligeramente ácido; que promueve tos, estornudos y transpiración; luego sofocación, atolondramiento y que predispone

á la locura. Por poco tiempo que se prolongue la estancia, en medio de una atmósfera que contenga gran cantidad de este gas, ocasiona la muerte.

Según Seguin, por experimentos ejecutados en sí mismo, cuando este gas está mezclado con el aire en relación de 1 á 13, produce algún efecto; de 1 á 10, produce comezón en los pulmones, y restricción en el pecho, y de 1 á 5, determina la asfixia.

Se ha creído, durante algún tiempo, que el óxido de carbono ejercía una acción, insignificante sobre la economía animal; pero las investigaciones de Leblanc demuestran lo contrario; que este gas es muy deletéreo y que una atmósfera que contenga 1/100 es mortal para un pájaro, mientras que podría vivir en una atmósfera que contuviese 4/100 de ácido carbónico. (*Fremy y Pelouze*, obra citada.)

Como el óxido de carbono no es absorbible por sustancia alguna, que yo sepa, que no absorba al mismo tiempo el oxígeno, se tendrá especial cuidado en precaver la formación de este en las cámaras de los Ictíneos.

Así es que se evitarán las reacciones sobre el carbono, por beneficiosas que á primera, vista aparecieran. Debe rechazarse, por ejemplo, la combustión del carbón por medio de los nitratos, porque da lugar á la formación de este óxido, y además á la del protóxido de azoe, gases ambos mortales.

Los efectos que produce el protóxido de azoe en la naturaleza humana, y que también describen Davy y Thénard, son demasiado graves para no precavernos contra él; además, si consideramos que para eliminarlo de las atmósferas artificiales, no tenemos más recurso que disolverlo en agua (que no admite más que medio volumen de dicho protóxido) ó en alcohol (que retiene disuelto volumen y medio), procuraremos que no se genere en las cámaras ictíneas. Este gas se forma por la acción del ácido nítrico sobre los metales; por consiguiente, puede formarse en la combustión del hierro por el nitrato de sosa. Por este motivo me decidí á rechazar esta combustión dentro del Ictíneo, en la cual hace cuatro años fundaba el motor submarino. Es ocasionada á producir amoníaco si se quiere evitar la producción del protóxido de azoe, y á pesar de que el amoníaco es absorbible por el agua en una proporción de 670 veces su volumen, debe evitarse en lo posible su formación porque sus emanaciones son siempre nocivas, y en un espacio tan reducido como la cámara de un Ictíneo, son mortales.

Por iguales motivos debe evitarse también la formación de los gases sulfuroso, cloro, clorhídrico, hidrógeno-sulfurado, cianógeno, cianhídrico y otros, á pesar de ser absorbibles por las disoluciones alcalinas.

**PRODUCCIÓN DE OXÍGENO.**- La obtención de este gas en grandes masas y de una manera económica se ha considerado en estos últimos tiempos muy ventajoso á la industria de productos químicos y á la iluminación de las ciudades y faros. Este proyecto ha ejercitado inteligencias de primer orden como las de Boussingault y Sainte-Claire Deville. El primero ha encontrado un excelente medio en la propiedad que tiene el protóxido de bario en convertirse en bióxido á favor de una corriente de aire, cuando su temperatura es la del rojo sombrío; en esta temperatura adquiere un equivalente de oxígeno, el cual vuelve á perder si se aumenta el calor hasta el rojo claro.

Sainte-Claire Deville lo saca del ácido sulfúrico que en forma de hilo continuo hace penetrar en un tubo de platino lleno de esponja del mismo metal, cuyo tubo debe estar á la temperatura roja; entonces el chorrito de ácido sulfúrico se evaporiza, y al atravesar la esponja de platino se descompone en ácido sulfuroso, que es absorbido por una disolución de carbonato de sosa, quedando el oxígeno en libertad.

Ni uno ni otro sistema satisface á las necesidades de la navegación submarina, y tampoco los descritos en los tratados de química, ya que todos suponen un espacio y medios de que carecen los Ictíneos.

El procedimiento de M. A. Mallet, descrito por Dumas<sup>55</sup>, puede aplicarse á los Ictíneos que disfruten de motor inanimado. Este procedimiento descansa en la propiedad que tiene el protocloruro de cobre ( $Cu^2 Cl$ ) de absorber el oxígeno del aire y transformarse en un oxiclóruo ( $Cu Cl Cu O$ ) susceptible de restituir el oxígeno cuando sea calentado hacia los  $400^\circ$ , y de volverlo á tomar después y así sucesivamente. Este procedimiento facilita la obtención del oxígeno muy puro, casi sin gasto de materia primera; porque las pérdidas debidas á la manipulación están evitadas en los aparatos destinados á realizar esta fabricación en grande escala; en la disposición industrial la materia, contenida en las retortas horizontales animadas de un movimiento de rotación, no sale jamás de estos vasos; la destilación y la verificación se hacen en el mismo recipiente. Se añade á la materia cobrizada una sustancia inerte, como la arena ó el kaolín, para impedir la fusión ígnea. La rotación de las retortas tiene por objeto igualar la temperatura y mezclar la materia, tanto para su destilación como para vivificarla por una corriente de aire. La temperatura necesaria relativamente es débil; no es mayor que la exigida por la descomposición del clorato de potasa; así es que puede operarse en retortas de vidrio. La vivificación es rápida si la materia es un poco húmeda y la corriente de aire conveniente tres ó cuatro horas bastan, mediante la rotación de las retortas que favorece el contacto incesante del aire y de la materia. La pérdida es casi nula; en pequeña escala y en una serie de doce operaciones hechas sucesivamente sobre la misma cantidad de 100 gramos de materia, la cual se sacaba de la retorta para vivificarla, sólo han perdido 9 gramos por una producción total de litros 36'760, lo que da una pérdida de 1 kilogramo por 4 metros cúbicos de oxígeno obtenido, esto es, 1 fr. 20, un gasto de 0 fr. 30 por metro cúbico; pero no saliendo jamás la materia de las retortas la pérdida es casi nula. Un kilogramo de materia da de 28 á 30 litros de oxígeno.

Si se aplicase este procedimiento en un Ictíneo, que como el primero no necesitase más tripulación que la de seis hombres, el alimento de su respiración costaría 253 calorías por hora; en el supuesto de que el calor específico del oxiclóruo de cobre sea el promedio del protocloruro y del óxido, el cual sería 0'14014 del calor específico del agua, 1 kilogramo de la mezcla que sirve para el motor submarino, daría sobradamente la temperatura necesaria para la destilación de los 5 kilogramos de oxiclóruo de cobre.

M. I. Robbins ha descrito un método para obtener oxígeno ante la Sociedad de Farmacia de Londres, apoyándose en los resultados obtenidos por M. Schoebein y por otros químicos á propósito de los tres estados químicos en que puede estar el oxígeno.

Un equivalente de bicromato de potasa y 3 de bióxido de bario, pulverizados y mezclados, en estado de polvo seco, se ponen en una botella en la cual se deja caer, poco á poco, ácido sulfúrico. Este pone en libertad el ácido crómico del bicromato y forma agua oxigenada á expensas del bióxido de bario; encontrándose estos dos cuerpos frente uno de otro se descomponen mutuamente y desprenden oxígeno á la *temperatura ordinaria* y se transforman en agua y óxido crómico.

Esto se explica, admitiendo que el oxígeno en el ácido crómico está en el estado de ozono, y el del agua oxigenada en el de antozono, de aquí es que se unirían para formar oxígeno neutro<sup>56</sup>.

Yo he probado este procedimiento y da buenos resultados.

Cuando el procedimiento de extraer el oxígeno del permanganato de potasa, haya llegado á aquel grado de perfección que deben tener las operaciones químicas dentro del Ictíneo, tal vez sea el método más ventajoso que para obtenerlo se habrá ideado y de que la navegación submarina se aprovechará tanto por lo que atañe á la respiración como á la combustión del hierro dulce y con aplicación á los fuegos de las calderas, ya obrando debajo de agua y aun en la superficie; pero ignoro si el procedimiento ha llegado a ser industrial. En este caso, habría una verdadera economía en obtenerlo del permanganato de potasa, á pesar de que sólo cede 1/20 de su peso en oxígeno.

**PRODUCCIÓN DE OXÍGENO EN EL ICTÍNEO.**- Los procedimientos de que acabo de hacer mención ocupan un grande espacio; y aunque no fuera por otro motivo, no serían del todo aceptables en los albores de la navegación submarina, en la falta de experiencia y de espacio en la cámara; hasta ahora han exigido medios simples y aparatos poco voluminosos. Así es que he preferido sacarlo del clorato de potasa y á favor de combustiones metálicas; aunque el clorato sea una sustancia algo cara, es ventajosa bajo los conceptos de la economía del espacio, la simplicidad del procedimiento y del aparato y la regularidad de la operación.

Siendo el motor muscular, he aquí el procedimiento que se seguía en el Ictíneo.

Se hacía la siguiente mezcla:

Limaduras de hierro dulce.....	7
Clorato de potasa pulverizado.....	3

La cual arde desde el momento en que se aplica una ascua á un punto cualquiera.

Tomaba 500 gramos y los colocaba en un bote de hoja de lata con su *cabeza de ignición* (de que se habla en el capítulo de las manipulaciones); luego en otro bote mayor se ponía un kilogramo de clorato de potasa pulverizado é íntimamente mezclado con una décima parte de peróxido de manganeso; el botecito de mezcla de hierro ocupaba el centro del bote de clorato, saliendo fuera de éste la *mecha de la cabeza de ignición*. Así dispuesto, colocaba el bote en una cámara que encerraba en un cilindro de palastro de una capacidad de 150 litros; pegaba fuego á la *mecha*, cerraba herméticamente el generador, se desprendía el oxígeno, lo dejaba encerrado durante cinco minutos á la presión de unas dos atmósferas, para que adquiriese transparencia, y lo soltaba luego al purificador del aire de la cámara, donde dejaba el ácido carbónico; pasando de allí á sustituir, en nuestra pequeña atmósfera, el oxígeno consumido.

Un pote, así dispuesto, puede ser guardado durante un año; pero á los dos años ya no arde la mezcla.

En el generador debe haber manómetro que indique la mayor presión y por consiguiente el momento en que haya terminado la combustión del hierro y por lo tanto el desprendimiento del oxígeno. Esta operación es rápida y bajo este concepto es útil que se verifique en un recipiente de bastante capacidad; si fuera poca y por medio de un tubo quisiera conducirse el oxígeno á un depósito mayor, se usaría un tubo de grande diámetro y recto, para evitar su obstrucción por el cloruro de potasio, que en gran parte se volatiliza y se pega en las paredes de los conductos: si el tubo es recto hay facilidad para limpiarlo.

El fuego submarino que alimenta la máquina de vapor, da actualmente una cantidad de oxígeno susceptible de aumento hasta aquel punto que lo reclamen las necesidades de la respiración de los tripulantes; pero independientemente del que suministra el motor, es necesario disponer de otro manantial, aunque esté fundado en el mismo procedimiento.

Para esto sirve una de las mismas cámaras de combustión de la caldera submarina; en ella se coloca un cilindro de la siguiente mezcla:

Zinc pulverizado.....	1
Peróxido de manganeso.....	2
Clorato de potasa.....	2

Á favor de una *cabeza de ignición*, se prende fuego, se cierra la cámara y se abre la espita del tubo que debe conducir el oxígeno á la caja de purificación, donde dejará el ácido carbónico que se desprende de la mezcla, y tomará la transparencia propia de los gases.

Si el cilindro es de 6 centímetros de diámetro y apretado con espeque, entonces cada 60 centímetros de cilindro pesan unos 3 kilogramos; en esta densidad, arde á razón de 2 centímetros, en el sentido del eje, por minuto. Por cada kilogramo de mezcla se obtienen un poco más de 100 litros de oxígeno.

Los cilindros así dispuestos no sé cuánto tiempo pueden estar guardados; aunque sospecho que, siendo tostado el peróxido y fundido el clorato de potasa, podrán resistir mucho tiempo á la combustión lenta á que están sujetos los metales en contacto con cuerpos oxigenados poco estables.

Si se quiere sustituir las limaduras de hierro dulce al zinc, he aquí la proporción:

Limaduras de hierro.....	1
Peróxido de manganeso.....	3
Clorato de potasa.....	2

En esta reacción se obtiene tanto oxígeno cuanto está contenido en el clorato, ó sea el 39 por 100 del peso de esta sal.

El hombre por la respiración, consume trabajando cerca de medio litro de oxígeno por minuto; por lo tanto bastará que ardan uno tras otro cilindros de aquellas dimensiones para alimentar la respiración de 12 tripulantes de una manera constante.

Por una parte estos cilindros procuran el oxígeno necesario á la vida; por otra (como se ha visto al describir los órganos de la purificación), el ventilador y bomba de inyección de la lechada, marchan constantemente absorbiendo el ácido carbónico y purificando el aire de la cámara de los vapores de agua y de los miasmas putrescibles; así es, que bien puede asegurarse que por muchas horas el aire del Ictíneo es tan puro como el que circula por los bosques; y como éste, también es oloroso; está en cierto estado alotrópico, que no he tenido ocasión de examinar, porque durante las pruebas del Ictíneo, no conocía la última preparación que ha dado Schoebein al papel ozonométrico, por medio de la cual no puede confundirse la acción del ozono con la del cloro.

Ahora bien; en cualquier momento importa saber que cantidad de oxígeno y qué cantidad de ácido carbónico contiene el aire del Ictíneo, con el objeto de saber si el aireante coloca á tiempo los cilindros en el generador de oxígeno; si éstos dan poco ó demasiado; si la disolución alcalina absorbe el ácido carbónico; en una palabra, si estos órganos marchan con regularidad ó si hay alguna interrupción en sus funciones.

Para esto se hace uso de la *botella de rectificación*, la cual sirve para *dosar* el oxígeno y el ácido carbónico que contenga el aire.

La potasa cáustica absorbe todo el ácido carbónico y el agua ó mercurio de la botella; estando bien ajustado el tapón del tubo graduado, subirá por éste, y la cantidad de ácido carbónico absorbida quedará indicada por el nivel del agua ó mercurio dentro del tubo graduado. Se procurará que en el aire, del Ictíneo no haya nunca uno por ciento de ácido carbónico.

El fósforo consumirá todo el oxígeno que contenga el aire del tubo graduado y, por consiguiente, el agua ó mercurio subirá por el tubo graduado, el cual para el oxígeno conviene que la graduación llegue á indicar una tercera parte del volumen total interior del tubo. Este examen podrá hacerse de media en media hora, ó de hora en hora, según la confianza que inspiren los materiales de que se haga uso, la bondad y perfección de los órganos y la habilidad de los obreros que hayan preparado las mezclas y las disoluciones.

Debo advertir, por lo tocante á la cantidad de oxígeno mezclado con el aire, que no es rigurosamente necesario que la proporción sea 20'8 por ciento, que puede oscilar sin inconveniente entre 18 y 24 por ciento.

Debo observar, aunque parezca ocioso, que *dosar* el oxígeno y *dosar* el ácido carbónico son dos operaciones distintas, que deben hacerse, no á la vez, sino en distintos tiempos, á pesar de que pueden practicarse en un mismo instrumento.



- IV -  
Manipulaciones

La mezcla de las sustancias cuyas reacciones constituyen el motor submarino requieren varias operaciones que voy á describir.

Las sustancias han de ser finamente pulverizadas, á fin de que entre ellas haya estrecho contacto, aunque no sea necesario que se lleve á la intimidad de los cuerpos que entran en la composición de la pólvora ordinaria.

**PERÓXIDO DE MANGANESO.**- Tal cual viene de las minas es bueno para este uso, si bien cuanto más puro mejor: se pulveriza en muchas verticales, y queda con facilidad convertido en un polvo muy fino. El peróxido de manganeso es higrométrico, y antes de mezclarlo con el zinc, conviene sacarle el agua que contiene. Para esto debe tostarse á 200 ó 300°, y antes de que se haya enfriado del todo, cuando su temperatura está á 60 ó 70°, se hace la mezcla; si no se hacía desde luego ó se dejara enfriar, fuera necesario una segunda tostadura.

Si el peróxido de manganeso no ha sido tostado, el agua que contiene á la temperatura ordinaria, es descompuesta por el zinc; á los 15 días de fecha de la fabricación de los cilindros, el zinc está ya bastante oxidado y arde con dificultad; á los dos meses la mezcla está echada á perder y sólo arde añadiendo un 5 por ciento de zinc y 2 por ciento de clorato. Además, si se usan recién hechos, dan bastante hidrógeno; porque los vapores de agua, al atravesar la mecha ardida de los cilindros, ceden su oxígeno al protóxido de manganeso que se convierte en óxido rojo.

Hay tanta facilidad en el protóxido para pasar al estado de óxido rojo, que basta que esté expuesto al aire cuando está pulverizado y á la temperatura ordinaria, para que tres moléculas de protóxido se unan á una de oxígeno: y á esta propiedad debe atribuirse la descomposición de los vapores de agua en los cilindros de mezcla de que he hecho mención.

Esta propiedad nos advierte también de que no debe abundar el clorato en la mezcla de este peróxido con el zinc; porque el oxígeno del clorato serviría, en gran parte, para formar óxido rojo, al atravesar la parte ardida del cilindro y cuando la temperatura no se opusiera ya á ello. El clorato ha de entrar en esta mezcla como excitante, en una proporción limitada entre 2 y 5 por ciento; entre estas proporciones queda libre un poco de oxígeno, y el calor del ascua llega ya al rojo claro en la periferia, mientras que el centro del cilindro alcanza el albedo.

Queda, pues, probada la necesidad que hay de tostar el peróxido de manganeso antes de verificar la mezcla, y así resulta: 1.º, que se ahorra el calórico necesario para la evaporación del agua en los cilindros; se ahorra también el indispensable para descomponer una parte del agua que contiene dicho peróxido, y 3.º se evita la producción de hidrógeno.

**ZINC.**- La pulverización del zinc se obtiene fundiéndolo á un fuego moderado, dentro de un crisol de hierro; colocándolo, luego de fundido, en cantidades de 2 á 3 kilogramos en un vaso de hierro bastante hondo y cónico, dentro del cual se menea en todas direcciones á favor de espátulas de hierro con mangos de madera; á medida que se va enfriando, en lugar de cristalizar en grandes facetas, si el meneo es vivo lo verifica en pequeñísimos cristales. Pero como siempre quedan bolas del tamaño de un guisante y aun mayores, se pasa el todo por un tamiz de tela metálica, y lo que queda en él se vuelve al crisol. El zinc así pulverizado, presenta el aspecto de menudísima arena.

Dos hombres pulverizan por este método 160 kilogramos diarios; sostienen bien este trabajo, y á pesar de que aspiran continuamente el polvo del zinc, no experimentan alteración en su salud. - La pérdida total del zinc, tanto en su fundición, como en polvo que se levanta en el zarandeo no llega á un 5 por ciento.

Pulverizar el zinc, machacándolo en el mortero á la temperatura de 200 á 300°, como está indicado en varios autores, es un trabajo pesado, y que da resultados exiguos. El método descrito, ha sido encontrado por los tripulantes del Ictíneo, practicando el recomendado por las obras de química.

Facilita mucho la operación, si el vaso de hierro donde se agita el zinc para desmenuzarlo, está metido en una cuba donde haya mucha agua, que pueda cambiarse cuando esté caliente; de lo contrario, el vaso toma una temperatura demasiado elevada, y se prolonga la operación del meneo.

**MEZCLA.**- Tostado el peróxido de manganeso, y estando á una temperatura de 60 á 70° se echa á un torno octogonal, sostenido por dos montantes, sobre los cuales descansa el eje, que tiene en cada uno de sus dos extremos un manubrio. Luego se echa en él el zinc y el clorato en estas proporciones:

Peróxido de manganeso.....	120
Zinc.....	75
Clorato de potasa pulverizado.....	10
	205

El torno debe estar bien cerrado á fin de que no se escapen los materiales. Dos hombres se colocan en los manubrios, y dan vueltas durante una hora, pasada la cual la mezcla es bastante íntima y homogénea para ser colocada en los cilindros.

Para esta clase de mezclas se ha de partir de los equivalentes químicos de los cuerpos que entren en su composición, y con referencia á la que nos ocupa, copiaré aquí la nota que me sirvió para el primer ensayo:

«Mn = Manganeso, equivalente: 344'68

Mn = Protóxido de manganeso 444'68 = 344'68 + 100 oxígeno

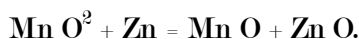
Mn O<sup>2</sup> = Peróxido de id. 544'68 = 344'68 + 200 id.

»Los dos óxidos intermedios son fácilmente reductibles á protóxido á favor del hidrógeno, por lo tanto el peróxido puede pasar á protóxido.

»El peróxido no es estable, puede abandonar 100 de oxígeno y cederlo á otro cuerpo, al zinc por ejemplo.

»El equivalente del zinc = Zn. 406'50.

»Luego, pues, mezclando 544'68 de peróxido de manganeso con 406'50 de zinc, habrá reacción, esto es, el zinc se apoderará de la mitad del oxígeno del peróxido, si hay una cantidad de calor inicial suficiente que determine la reacción en un punto cualquiera de la masa. Y el resultado será el siguiente:



»Ahora bien, como Mn O para pasar á Mn O<sup>2</sup> gasta probablemente poco calórico y el zinc al oxidarse emite mucho, de aquí que esta mezcla puede ser un generador de calórico.

»Como el peróxido de manganeso tal cual se encuentra en las minas no es puro, contiene carbonatos, etc., de aquí que la proporción indicada deberá alterarse, y la mezcla excitarse por el clorato de potasa.»

En efecto, después de muchos ensayos (para el peróxido de manganeso de las minas de Aragón) resultó ser la proporción indicada más arriba, la más conveniente, tanto con referencia á la viveza del fuego como para emitir oxígeno.

0<sup>K</sup>500 de la indicada mezcla producen 1 litro de ácido carbónico.

Contiene este peróxido 1'5 por ciento de agua.

Si pretendemos *comburir* el zinc á favor del oxígeno del minio, nos referiremos á sus equivalentes para saber la proporción en que deben mezclarse estos dos cuerpos y diremos:



contiene 5 átomos de plomo y 6 de oxígeno; y siendo el equivalente del plomo 1,294'50, el del minio será  $(5 \times 1,294'50) + (6 \times 100) = 7,072'0$ .

Suponiendo que puedan desprenderse las 6 moléculas de oxígeno para quemar otras tantas de zinc, éste deberá entrar en la mezcla en la cantidad de  $6 \times 406'5 = 2,439$ ; y en efecto, mezclados íntimamente 3 partes de minio y una de zinc, arden tranquilamente sin que se desprenda gas alguno que no sea absorbible por la lechada de cal. Aunque esté tan comprimida esta mezcla como la del peróxido de manganeso y zinc arde con regularidad. Los residuos son óxido de zinc y plomo reducido; 600 gramos de mezcla dan 77 calorías. Este fuego es pobre en calor, pero es rico en residuos, en atención á la cantidad de plomo reducido.

Si en lugar de oxigenar el zinc, el hierro, etc., se trata de sulfurarlos, siguiendo la misma regla de los equivalentes, se escogerán cuerpos en estado de persulfuros, susceptibles de descomponerse por el calor. Sin embargo, en tanto que el Ictíneo no haya pasado de esta primera época que puede decirse de ensayo, yo no creo prudente añadir á las dificultades de un arte tan reciente, los peligros de la sulfuración, la cual es ocasionada al envenenamiento de la atmósfera de la cámara submarina.

**CILINDROS DE MEZCLA.**- Los cilindros que he visado en la actual caldera son de lámina de hierro dulce de 1 milímetro de espesor; el diámetro exterior de 54 milímetros y de 68 centímetros de eje. Estos cilindros, después de ardidos, se vacían golpeándolos con un mazo de madera, á fin de no echarlos á perder; por este motivo debe ser la lámina dulce y no agria, la cual se agrieta al limpiarlos. Deben estar soldados con soldadura fuerte; no conviene que sean de cobre, porque funden y arden dentro de las mismas cámaras de combustión y al tiempo mismo que arde la mezcla.

Habría ventaja en que las cámaras de combustión tuviesen un diámetro de 9 á 10 centímetros; en este caso los cilindros serían de 8 centímetros ligeramente cónicos y el espesor de paredes de 3 milímetros. Así durarían mucho más, no se deformarían y habría mayor facilidad en limpiarlos.

Para llenar estos cilindros, se cierran por un extremo con un tapón de plancha de hierro que lleva rebordes de 3 centímetros de alto y un anillo ó aldabón para sacarlos de las cámaras.

- El *tibrador* con que se tome la mezcla, debe estar en forma de embudo, cuya parte estrecha sea del diámetro del cilindro. La mezcla se atacara con espeque de hierro de punta larga y al final roma. La densidad de la mezcla, para estar en buenas condiciones de transporte y para que arda de una manera regular, ha de ser comparada á la del agua, como 3 es á 1; un kilogramo ordinariamente ocupa en los cilindros un espacio de 300 centímetros cúbicos. Si estuviera floja en los cilindros, al ser transportados en carros, el zinc se separaría del peróxido de manganeso y por consiguiente no habría reacción.

Llenos los cilindros hasta faltar sólo unos 12 centímetros, se dejan concluídos poniéndoles cebo y mecha conforme va á explicarse.

**CABEZA DE IGNICIÓN.**- Se compone de un cono de plancha de hierro de 7 centímetros de eje, que termina por un tubo de solo 3 centímetros de largo, y de un diámetro exterior igual al del interior del cilindro de mezcla. La parte cónica ha de estar llena de agujeros como de regadera, los cuales se tapan con una hoja de papel gomado, al tiempo de llenarse de las composiciones que constituyen los cebos. Estos agujeros y la arena que se coloca en el vacío que queda, entre la parte cónica y las paredes del cilindro, tienen por objeto purgar los gases que rápida y abundantemente se desprenden de los *cebos*, y que arrastran con ellos óxidos de zinc y manganeso y cloruro de potasa, los cuales obstruirían los conductos; los tamices de arena retienen en gran parte los citados óxidos y cloruro, va porque ejercen las funciones de un verdadero filtro, ya porque robándoles temperatura dejan de ser volátiles.

En el *cono* se colocan sucesivamente la yesca y papel preparados que sirven de mecha, las composiciones *A* y *B*, más adelante indicadas, y la mezcla del cilindro: unas y otra han de estar también bastante comprimidas, á fin de que el transporte no las eche á perder.

La yesca y el papel deben estar preparados como las etiquetas ó sellos de correos con una disolución gomosa compuesta del modo siguiente:

Agua gomosa espesa.....	4
Clorato de potasa.....	4
Azúcar terciado.....	1

Por medio de una brocha se extenderá sobre el papel, procurando siempre que la pasta sea homogénea, la cual se meneará con frecuencia, porque el clorato pulverizado se precipita. Los papeles así preparados se colocarán sobre planchas calientes, cuya temperatura no pase de 100°, á fin de que sequen, ya que en libre ambiente y en verano, después de 48 horas todavía contienen demasiado agua y no arden. Los papeles así preparados no han de ser quebradizos, ó de lo contrario cuando se rollan sobre la yesca se rompen y así no sirven.

Se cortarán tiras de yesca de 2 á 3 milímetros de escuadra y de 4 centímetros de longitud que se untarán por su mitad con los indicados puches de goma cloratada y azucarada.

El papel cloratado se cortará en tiras de 3 centímetros de ancho por 6 de largo, que se harán en cucurucho, cuyo eje será la yesca; se procura que la parte untada vaya dentro del cucurucho, saliendo como 2 ó 3 milímetros fuera de él. Así, al encender la yesca, se comunicará por la parte untada al papel y de este al cebo primero, al segundo, y por fin á la mezcla.

El cebo *A* es vivo y desarrolla una temperatura elevadísima; su composición es la siguiente:

Zinc.....	53
A Clorato de potasa.....	31
Peróxido de manganeso.....	16
	100

El peróxido de manganeso entra en este cebo como materia inerte, y que al mismo tiempo da oxígeno. En la proporción de 53 de zinc por 31 de clorato, se forma una mezcla explosiva que el peróxido modera.

Este cebo se pone en el cucurucho de papel; bastan 2 ó 3 gramos, y se acaba de llenar del segundo cebo cuya composición es la que indico:

Zinc.....	45
B Clorato de potasa.....	19
Peróxido de manganeso.....	36
	100

En este segundo cebo el peróxido entra como comburente y por consiguiente el fuego no es tan vivo aunque la temperatura es fuerte.

He aquí como se confeccionan las *cabezas de ignición*.

Se toma una tira de yesca untada; se rolla sobre ella y en forma de cucurucho ó alcataz el papel cloratado; se pone un poco del cebo; se cierra la boca del cucurucho con los dedos pulgar é índice de la mano derecha para introducirlo en el cono de regadera, procurando que no solamente salga la tira de la yesca, sino también el vértice del alcataz: en esta disposición se abre la boca de éste y se echan 60 ó 70 gramos del cebo, se aprieta con fuerza y se acaba de llenar de la mezcla ordinaria. Luego con un papel gomado ordinario se tapa la base del cono, y queda concluída la *cabeza de ignición*, la cual se introduce en el cilindro de mezcla, se coloca la arena y luego se sujeta la *cabeza de ignición* con un tapón de plancha en forma de tubo, con algunos agujeros de regadera: esta tapa tiene un agujero central bastante grande para que pueda penetrar por él el vértice del cono, por el cual sale un poco el papel cloratado y la yesca. Sólo debo advertir que la arena debe ser tostada y del tamaño del trigo, á fin de que no caiga en el transporte; estará pasada por un tamiz cuyos agujeros sean de tres á cuatro milímetros de diámetro y la que quedará en el tamiz será la buena. Se supone que las cámaras de combustión y por consiguiente los cilindros de mezcla están en sentido horizontal.

**DIAFRAGMA.**- Colocados los cilindros de mezcla en sus respectivas cámaras de combustión, y con el objeto anteriormente dicho de impedir que se obstruyan los conductos con los óxidos que arrastran consigo los gases que emite la mezcla, se ponen diafragmas cilíndricos con tapas de hierro y agujeros de regadera, que contienen arena; la parte tubular de cada diafragma debe estar ajustada al diámetro de dichas cámaras.

Luego de encendida la yesca, se coloca el diafragma y se cierra la cámara de combustión con tapa embarrada con un lúten de arcilla y sujeta por medio de brida para que haga punta, y no puedan escapar los gases en su camino á la caja de absorción.

Las cámaras de combustión del segundo Ictíneo tienen 6 centímetros de diámetro y 1<sup>m</sup>50 de largo; en cada uno se colocan dos cilindros de 68 centímetros de largo.

El trabajo de tres hombres durante un día es suficiente para preparar 100 cilindros practicando todas las operaciones que acabo de describir. Los 100 cilindros producen un trabajo útil de un caballo de vapor durante cinco horas.

Si en los fuegos submarinos uso solamente el zinc como combustible, no tengo otros motivos que los siguientes: 1.º, las limaduras de hierro dulce puras, sin mezcla de hierro colado, son tan escasas que siempre he tenido que pagarlas algo más caras que el zinc; 2.º, el zinc se deja pulverizar con tanta facilidad que aun después de haber empleado el trabajo de reducirlo á polvo es más barato que las limaduras de hierro.; 3.º, porque entre la temperatura que emite el zinc y el hierro por una misma cantidad de oxígeno, es mayor la del zinc que la del hierro.

Además, como haciendo uso de las limaduras de hierro dulce (y bastará un solo Ictíneo para darlas un valor extraordinario) habría interés en falsificarlas por medio de las que provendrían del hierro colado, en este caso la cantidad de ácido carbónico que producirían fuera enorme. Lo cual es preciso que lo tengan en cuenta los que atraídos por la facilidad con que arde el hierro colado, debido al carbono que contiene, quisieran aprovechar este material como combustible en las cámaras submarinas.

El hierro colado contiene de 2 á 4 por ciento de carbono; suponiendo un término medio de 3 por ciento, cada kilogramo contendría 30 gramos, los cuales combinados con el oxígeno en la combustión del hierro, darán á la temperatura y presión ordinarias cerca de 60 litros de ácido carbónico; esto es, 12 metros por caballo de vapor y por hora.

En las reacciones que constituyan los motores submarinos, se ha de buscar, para que sean económicas, la obtención de cuerpos compuestos ó reducidos, cuyo valor sea estimado: esto es, que tengan una grande aplicación industrial.

**COMBUSTIÓN DEL HIERRO.**- He dicho ya que la combustión del hierro por medio de los nitratos, tenía tan graves inconvenientes que debía desecharse su uso en la navegación por debajo del agua. En efecto, la cantidad de gases que provienen del nitrato es portentosa; con referencia á la mejor mezcla entre él y el hierro que es 220 hierro y 170 nitrato (la cual da abundante oxígeno que es lo que se debe procurar á fin de evitar la formación de amoníaco, lo que sucede siempre que el nitrato de sosa está en defecto) debo hacer notar que un kilogramo de esta mezcla contiene 436 gramos nitrato que dan en ázoe libre, en la presión y temperatura ordinarias, cerca de 60 litros.

Quedando proscrito el uso de esta mezcla en las calderas del Ictíneo y sustituida por la del peróxido de manganeso y el zinc que con tan excelentes resultados ha favorecido la navegación submarina, y no teniendo otra mira que la de hacer más barata la combustión subacuática, hubiera continuado los experimentos empezados en 1863 con el objeto de quemar hierro á favor del oxígeno puro, si el procedimiento de sobre-oxigenar el manganato de potasa á favor de una corriente de aire y des-oxigenar el permanganato por el vapor de agua fuese un hecho industrial. Este procedimiento de obtener oxígeno no cuesta más que la fuerza que se emplea en agitar el manganato y en promover una corriente de aire seco y puro y luego una corriente de vapor de agua, lo cual reduce el valor del oxígeno al gasto que se hace en carbón para obtener la agitación de la sustancia, del aire y del vapor.

Quemar los desechos de hierro dulce de los talleres de maquinaria sería por otra parte un material mucho más barato que el zinc; en efecto poco valen las virutas y rajuelas del torno, de la escarpa, de las máquinas de cepillar, de la plataforma, del taladro, los hilos y arenas de

hierro de las fábricas de puntas de París y de los alambres, los clavos y hierro viejo, etc., etc., y sin embargo, estos materiales abundantes que tan poco valen son un excelente combustible para las hornillas de las calderas submarinas. Los residuos de esta combustión que se presentan en masas porosas, constituyen un mineral de hierro sin escorias, y sujetos á las *forjas catalanas*, darían el mejor hierro dulce, puesto que sería puro; así que, estos residuos vendrían á disminuir el precio del fuego submarino.

El procedimiento á favor del cual he oxidado el hierro, consiste: en un cilindro que llamaré hornilla, de plancha de hierro vertical, de 20 centímetros de diámetro y 8 milímetros de espesor de paredes en el fondo del cual pueden ponerse unos 500 gramos de limaduras de hierro íntimamente mezcladas con clorato de potasa y peróxido de manganeso en las proporciones indicadas por sus equivalentes químicos, á la cual llamaré *ceba*. Sobre esta mezcla se tija un tubo que ocupa el centro de la hornilla, la cual se carga de virutas de hierro hasta llenarlo completamente, sin otro cuidado que el de poner un poco de hierro en limaduras y otras partes tenues inmediatamente sobre la mezcla, á fin de facilitar el contacto de la carga con la mezcla llamada *ceba*. El tubo central debe comunicar con un recipiente que contenga ó aire ú oxígeno. Cargado el horno por el tubo central se deja caer una pequeña *cabeza de ignición* cuya yesca está encendida, se cierra la tapa superior del hornillo y se da aire ú oxígeno. El fuego pasa de la *cabeza* á la mezcla y de ésta al hierro, el cual arde como si fuera carbón.

Los productos gaseosos de esta combustión cuando arde á favor del aire son ázoe y ácido carbónico, y sólo este último, cuando arde á favor del oxígeno.

En una hornilla de 0'26 centímetros de diámetro y 3'00 de profundidad caben 112 kilogramos de desechos de hierro, los cuales darán una fuerza de 8 caballos de vapor durante una hora.

Las juntas del cuerno, del tubo, y de la tapa superior se hacen con arcilla.

Cuando todo está dispuesto se abren las dos espitas laterales y el oxígeno pasa por el tubo y se combina con el hierro incandescente que está en contacto con la mezcla que está ardiendo. A medida que se hace esta combinación el óxido de hierro liquidado se va hacia el fondo de la hornilla, entre tanto que el hierro superior va bajando; á su vez va poniéndose incandescente y liquidándose. El tubo funde también y va quemándose.

Desde el momento que se calcule que la combustión va seguida, se dejarán las espitas muy poca cosa abiertas; y se abrirán más cuando quiera activarse la combustión.

En el depósito generador de oxígeno habrá una presión de dos atmósferas; en el depósito del oxígeno que ha pasado por las hornillas y por el purificador no debe haber más de 1<sup>at</sup>.5.

Una bomba debe sacarlo de la caja de purificación para restituirlo al generador.

De manera que el camino que sigue el oxígeno es el siguiente:

- 1.º Está en el permanganato de potasa, del cual lo extrae una corriente de vapor.
- 2.º Oxígeno y vapor van á parar á tubos refrigerantes bañados exteriormente por el agua del mar.
- 3.º Una bomba lo extrae de los tubos y lo comprime en un depósito-generador.
- 4.º De éste pasa á las hornillas á combuir el hierro.

5.º El sobrante va á una caja de purificación á dejar los ácidos carbónico, fosfórico, sulfuroso, etc., provenientes de la impureza del hierro.

6.º De la caja de purificación, por otra bomba, va á parar otra vez al depósito generador para volver á las hornillas.

Del depósito-generador se toma el que se necesita para la respiración y alimentación de las luces.

Este procedimiento para quemar hierro es el resultado de un gran número de experimentos que verifiqué en 1863 y 64, ya á favor de oxígeno puro, ya por medio de la inyección del aire; en uno y otro caso ha dado resultados satisfactorios y completos. No lo adopté en el Ictíneo por no tener una manera barata de sacar oxígeno de los cuerpos que lo contienen; pero en llegando á ser industrial el método de sobre-oxigenar el manganato de potasa, y el de reducción, entonces la navegación submarina podrá hacer uso del procedimiento descrito para obtener calor, el cual se adquirirá á muy poca costa.

La caldera, en este caso, debe estar dispuesta como lo indica la figura especial que dedico al esclarecimiento de este punto<sup>57</sup>: igual disposición puede tener para los fuegos de las mezclas ya descritas. De manera que en cualquiera época que se encuentre un procedimiento barato para producir oxígeno podrá aplicarse á la combustión del hierro en las calderas de los Ictíneos.

**PRODUCCIÓN DE GASES PARA LAS VEJIGAS NATATORIAS.**- Es bastante dificultoso hacer una presión mayor á 10 atmósferas á favor de bombas de aire; porque las suelas de las bombas y aun los cuerpos de ellas vienen sumamente calientes con el roce, aunque estén bañadas exteriormente por el agua; y sobre todo, porque los espacios nocivos á presiones elevadas, y las pérdidas naturales de las bombas, á mayor presión que la indicada de 10 atmósferas, representan un volumen de aire igual al de la capacidad del cilindro. Así es que para poner presión en las vejigas natatorias me separé de los aparatos mecánicos, resolviéndome á generar los gases y que se comprimieran de ellos solos, por el solo efecto de desarrollarse de los cuerpos que los contienen.

Para esto sirve la combustión de la hulla por medio del nitrato de sosa mezclándolos con un cuerpo inerte como el óxido rojo de manganeso. A fin de obtener un desprendimiento de gases gradual, la mezcla de los tres indicados cuerpos debe sujetarse á la presión de una prensa mecánica, hasta adquirir la masa aquel punto de dureza que con dificultad se deje escarbar con la uña. Así se obtiene un agregado de bastante densidad que arde de una manera sucesiva, aunque sea bajo una presión de 16 atmósferas, á la cual he podido yo probarla; y no de un modo instantáneo ó bastante rápido que diera acaso una explosión.

He aquí las proporciones:

Nitrato de sosa.....	50
Hulla de Cardiff.....	8
Oxido rojo de manganeso.....	42
	<b>100</b>

Un kilogramo de esta mezcla á favor de la combustión, y en el espacio de unos 20 minutos desarrolla 150 litros de gases, sin que haya notado que se desprenda ácido nítrico, como sucede si la materia inerte es la cal apagada.



Antes de cerrar el aparato en que ha de arder la mezcla se pone encima de ésta una *cabeza de ignición*, luego tiene lugar el desarrollo de gases, cuya tensión marca el manómetro, los cuales pasan del generador al cilindro lavador donde dejarán no sólo la sosa cáustica que arrastran consigo, sino también si alguna pequeña cantidad de ácido nítrico se formara, la cual atacaría las vejigas natatorias.

El aparato debe estar dispuesto de manera que los tubos de comunicación con el cilindro lavador puedan limpiarse con facilidad de una á otra operación, si necesario fuese si bien la experiencia me ha probado que con tal que los tubos tengan un diámetro de 6 centímetros tardan bastante á obstruirse.

Suponiendo que en las vejigas natatorias haya ya presión, la espita del *generador* al *lavador* no debe abrirse hasta que el manómetro indique una presión mayor que la de las vejigas; de lo contrario, el agita que contiene el cilindro lavador iría á apagar el fuego de la mezcla, y se echaría á perder la operación.

En las vejigas natatorias, ya he dicho que los gases debían estar á una presión inicial superior á la que experimentará el Ictíneo en su descenso; así es que, si el Ictíneo debe trabajar á 50 metros, la presión inicial deberá ser al menos de cinco atmósferas, y si ha de llegar á 100 metros, 200, 300... de profundidad, aquélla será respectivamente de 10, de 20, 30... atmósferas. Obtenida la presión inicial, se inyecta agua en las mismas vejigas natatorias á favor de bombas robustas hasta obtener una presión doble á la inicial de los gases. En este estado puede emprenderse la sumersión en la seguridad de que no pasando más allá de la profundidad propuesta, el jefe del Ictíneo lo dominará en los descensos y ascensos, conforme se ha explicado en el artículo *Relaciones entre la profundidad, y el motor, y vejigas natatorias*.

## Aplicación del Ictíneo á la guerra

Al abordar esta parte de mi trabajo me considero bastante incompetente para dar soluciones prácticas que sean desde luego ventajosas. Hay en las aplicaciones, cuando sólo han sido precedidas por un corto número de experimentos, aunque todos ellos hayan sido buenos, tantos inconvenientes, que suelen quebrantar la voluntad del que las intenta. A priori no es posible prevenir las contrariedades de segundo orden que irán presentándose sucesivamente y que de una manera aparente contradecirán los hechos ó ensayos primarios, fundamento del sistema. Y sin buscar ejemplos en otras artes citare á Armstrong, quien á pesar de haberle convencido los hechos de que los cañones encintados tenían una resistencia mayor que los construídos de una sola pieza, y de que la masa del proyectil debía intervenir tanto como la velocidad de choque en la penetración del blindaje; sin embargo, no logró en los primeros cañones que fabricó para la marina, ni la fortaleza de éstos, cuyas cintas se desligaban, ni suficiente dureza en los proyectiles, ni la penetración de las corazas: con todo, á estos ensayos había precedido el buen éxito que tuvieron sus ligerísimos cañones de campaña en la guerra de China.

Por lo que toca á mi asunto he de decir que es positivo que existen relaciones íntimas entre la resistencia de una obra que se pretende destruir y la cantidad de pólvora que se ha de emplear; igualmente es positivo que un Ictíneo va por debajo de agua á un sitio determinado y con una velocidad que depende de su motor, velocidad igual á la de los buques flotantes; es también cierto que las naves submarinas pueden llevar agentes destructores, y por lo tanto es segura la pérdida de un enemigo que ataque puertos y costas defendidos por naves submarinas. Si, pues, la práctica de las armas de defensa que propongo ofreciere podrán atribuirse á error fundamental del sistema, sino á imperfección de pormenores, debida á la falta de ensayos previos.

Los míos sobre las aplicaciones del Ictíneo á la guerra marítima han dado el siguiente resultado, que puede servir de fundamento á los estudios posteriores que emprendan. Estando dentro del Ictíneo, á 7 metros de profundidad vertical, cargamos un cañón corto, de alma lisa, de 0<sup>m</sup>10 de diámetro con 1 kilogramo de pólvora; luego subimos quedando velados por el fluido y teniendo unos 0<sup>m</sup>50 de agua sobre la boca del cañón: en esta disposición hemos tirado. Si, por imperfección en la carga, el tiro no ha salido, hemos vuelto á bajar á 7 metros, cambiado la carga, y subido luego para tirar; volviendo á bajar y cargar, para en seguida subir y tirar, empleando en cada una de estas maniobras unos 10 minutos. Hemos hecho en todo unos 30 disparos<sup>58</sup>.

Estos son los únicos ensayos que, como buque de guerra, ha practicado el Ictíneo; sin embargo son bastantes para ensayar con fruto y en mayor escala una arma submarina contra un enemigo poderoso, revestido de hierro, y que puede destruir á mansalva las ciudades marítimas, centro de riqueza y de afecciones. Ajeno á los asuntos de la marina, voy solo y sin precedentes que me abonen, pero al considerar que esos colosos del mar son hijos del orgullo de unas naciones que tantas veces nos han humillado, confieso que sin examinar si mis fuerzas propias correspondían al objeto, me he considerado competente para intentar el hundimiento de esas masas de hierro que tienen en constante alarma á los Estados, cuyos recursos no corresponden á los dispendiosos progresos de la guerra.

**ATAQUE.**- Cuando los pueblos levantaban castillos de madera para dominar las baterías de los puertos, tal vez las ventajas estaban por parte de éstas; pero desde que los buques se

revistieron de hierro para resistir al cañón y proyectil Paixhans, adquirieron la ventaja de ser superiores á las obras de defensa de los puertos.

Los cañones Paixhans<sup>59</sup> arrojan proyectiles huecos que revientan en el acto de penetrar la obra viva de los antiguos navíos de madera, lo cual dió origen al planteamiento de los barcos ferrados. Fueron primeramente adoptados como baterías blindadas en la guerra de Oriente, en vista de la destrucción instantánea de la flota turca, en Sinope, por la escuadra rusa, y á favor de la indicada clase de cañones.

De este hecho data la lucha moderna experimental, entre la coraza y el proyectil; lucha en que se han invertido millones de libras esterlinas por Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Prusia.

Si las corazas resistieron la acción de las balas esféricas de á 68; si los primeros cañones de marina de Arsmtrong de á 110 no lograron penetrarlas, sucumbieron á la fuerza viva de los proyectiles de á 150, 200, 300, 600 y 1,000 libras de Arsmtrong, Whirworth Scott (ingleses), y Rodman (de los Estados Unidos). Los proyectiles ojivales, llenos ó huecos, atraviesan los blindajes de 28 y 30 centímetros de espesor, espesor que sólo pueden soportar las torres de los Monitores, destinados á la defensa de puertos y costas.

Y este inmenso gasto en pruebas, y los miles de millones empleados en cambiar el armamento y defensa de las antiguas escuadras, y en crear las nuevas, todo ha sido, con referencia al objeto primario, completamente inútil. Si antes los proyectiles huecos *rovirianos*, norte-americanos ó Paixhans reventaban al atravesar los buques de madera, ahora los proyectiles huecos Arsmtrong y otros, revientan al atravesar los buques ferrados, esparciendo la muerte entre puentes, por la conversión del mismo blindaje en metralla.

«No es suficiente, decía ya en 1857 el Sr. Rivera<sup>60</sup>, tener piezas de artillería de mucha y conocida resistencia; es forzoso tenerlas del mayor efecto posible, que satisfagan en cuanto sea dable todas las necesidades de la marina, en sus diferentes clases de buques; y es preciso, en fin, para lograrlo, no perder la marcha de los inventos y aplicaciones que constantemente se ensayan en el extranjero los cuales podrá suceder que dentro de poco hagan variar el armamento de las plazas flotantes, montándoles piezas de artillería enteramente nuevas en su forma, en sus calibres y en el alcance y efectos de sus proyectiles.»

Estas previsiones se han realizado; y los combates navales, hoy, como antes de los buques ferrados, á igualdad de fortaleza de nave á nave, de pericia en los jefes y subalternos, de valor, destreza y disciplina en las tripulaciones, y de acción perforente y contundente de los proyectiles, vencerá en un combate naval, aquella nación cuya escuadra sea más numerosa en buques y cañones.

«Todavía, como observa el citado capitán Scott<sup>61</sup>, en las batallas decisivas se combatirá cuerpo á cuerpo, en la confusión y en la humareda de los cañones y entre muertos y heridos. Aun tendría razon Nelson de izar á lo más alto del palo: *Aborda al enemigo, bátele de más cerca todavía.*»

En efecto, según la opinión de los hombres del arte, la mayor distancia admisible en los combates acorazados, es aún como entre las antiguas escuadras de madera, de unos 600 metros, y entre éstos tampoco es decisiva la batalla, sino á 200 metros.

Es verdad, pues, que las condiciones navales no han cambiado entre naciones poderosas; pero son distintas las de la defensa de los puertos. Ya no encierra ninguna verdad el antiguo adagio de que un cañón en firme vale tanto como un navío en el mar, porque la defensa de los

puertos es insuficiente, si está encomendada, como la de Barcelona, á cañones incapaces de perforar los buques blindados.

Por otra parte las nuevas condiciones de estos combates son muy desfavorables para los Estados de escasos recursos, que no pueden seguir, ni en la misma escala proporcional antigua, á las grandes naciones, por carecer de las grandiosas industrias de la elaboración de hierros, y de las pingües rentas de que disfrutaban los erarios de los pueblos exuberantes de población. Vese la superioridad de Inglaterra, considerando que al finalizar la guerra de Crimea producía una batería blindada diaria, y la de los Estados Unidos, levantando en 90 días, sobre las líneas de los planos del primer Monitor, murallas de hierro que resistieron los proyectiles del ferrado *Merrimac*, quien al fin fué vencido y abandonado por sus mismos tripulantes, á consecuencia de las graves averías causadas en su casco por los proyectiles de 70 kilogramos, que á pares y de tres en tres minutos le arrojaba el Monitor.

En las guerras marítimas, pues, alcanzarán victoria los Estados de primer orden sobre los demás, tanto en los combates navales como en los bombardeos de las plazas. Hoy en día las escuadras acorazadas, desde una distancia en que no recibirán avería alguna grave, pueden arrasarse en poco tiempo y á favor de los fuegos, directos y curvos de los modernos cañones, ciudades y arsenales de los cuales estén separados por 4 y aun 5,000 metros. Contribuirán á abreviar la escena de destrucción los obuses de á 200 kilogramos, llenos de hierro fundido, de fósforo disuelto en sulfuro de carbono, ó de cualquiera otra materia incendiaria; y sobre todo tendrán en este salvaje trabajo una acción pronta y decisiva los cohetes modernos de mayor alcance y más perfeccionados en todos sentidos que los de Congreve, que llevarán la muerte y el incendio á 8 kilómetros de distancia.

Carecemos de recursos industriales nosotros para imitar á esas naciones que tanto nos aventajan y á cuya fuerza no resistiríamos; sin embargo de que hemos podido combatir las y aun dominarlas en los tiempos en que los vientos del cielo y la madera de nuestros bosques ocupaban el sitio que han conquistado la hulla y el hierro.

Ya que no disponemos de elementos propios para la defensa, ya que debemos sacar nuestras armas de los arsenales extranjeros, busquemos en las artes de ingenio una nueva base de fortaleza á fin de tener á raya á nuestros enemigos.

Por otra parte, la paz del mundo no está asegurada, tenemos colonias envidiadas y lejanas, un litoral de más de 300 leguas, y si bien nuestra prudencia puede librarnos de un conflicto, será muy difícil, en ciertos casos, sostener la neutralidad. Nuestros puertos y centros de riqueza marítima no están á cubierto de un golpe de mano en las circunstancias ordinarias y por cuestiones frívolas provocado, y aun nuestros temores suben de punto cuando nos representamos el posible y formidable choque entre los colosos del siglo. En semejante caso no se respeta la neutralidad del débil y se conculcan los preceptos del derecho de gentes; porque para el poderoso no hay más reglas de moral y de justicia que la misma fuerza y sólo por ella puede ser contenido para dejar de estar ansiosos se ensalza demasiado en estos tiempos el valor salvaje de los Nelson y desgraciadamente lo hacemos en daño de los fueros de la humanidad y de los beneficios de la civilización, los cuales anulamos en los campos de batalla y en las ciudades arrasadas, ó los hundimos con las naves en las profundidades del mar.

La necesidad, pues, nos obliga á pensar en la defensa; y antes que un acontecimiento desgraciado venga a reprendernos por nuestra incuria, ó debemos reforzar la escuadra de buques ferrados, ó fiar nuestra salud á las armas submarinas.

Es necesario acabar con la fuerza siempre renaciente del *Ataque*, oponiendo una defensa más estudiada, más científica, y, por consiguiente, más segura en sus efectos.

Cuando los hombres fiaban al número la victoria, y se batían sin táctica y con armas informes, cuando en las de fuego se desdeñaban las relaciones entre el viento y el proyectil y arrojaban balas de granito y pedernal; cuando para matar un combatiente en las batallas era necesario que los fusiles arrojasen seis arrobas de plomo, los procedimientos científicos fueron demasiado delicados para confiarlos á la rudeza de los combatientes. Mas ahora, que los soldados saben manejar la carabina Minié, el fusil de aguja y el cañón rayado de resalto ó á cambio de estría; ahora que las ciencias exactas y de experimentación presiden en la confección de todos los artículos referentes á los medios de ataque y defensa; ahora que se fabrican cañones monstruos que arrojan proyectiles de un peso enorme, que son tan precisos en su puntería que rara vez yerran el blanco<sup>62</sup>, en cuya construcción se guardan las más delicadas atenciones como si fueran instrumentos astronómicos, es necesario emplear en la defensa todo lo que la ciencia haya encontrado de más provechoso, de más preciso, aunque pueda parecer caro y complicado y deban ser personas facultativas las encargadas de dirigirlo y aplicarlo. Hora es ya de que sucumba ese fiero valor que todavía anima á pueblos y soberanos que en su ambición y audacia, contrarían los destinos de la humanidad.

Las armas defensivas hubieran sido siempre inferiores á las de ataque, si se hubieran sacado del mismo arsenal; mas la lógica de la defensa ha opuesto á las fuerzas musculares, el arma blanca; á la armadura de hierro, el arma de fuego; á las irrupciones de los bárbaros y salvajes, la estrategia; á las invasiones de los ejércitos permanentes de las grandes naciones, la emboscada, la sorpresa, la guerra de guerrilla, que acaba con las tropas disciplinadas; á los buques acorazados, las armas submarinas. Y así, en fin, de derrota en derrota, el ataque desaparecerá y podrán desarrollarse libremente las artes de la paz.

**DEFENSA.**- En el capítulo dedicado á la importancia de la navegación submarina, indiqué el oficio de las cámaras subacuáticas con aplicación á la *defensa* de puertos, y aunque más tarde pueda extenderse al *ataque*, hoy me limito á describir los medios de que disponen para impedir que los buques acorazados destruyan las ciudades marítimas.

He dado ya en este ENSAYO una idea completa del segundo Ictíneo en todas sus partes; se podrá formar uno de guerra, suponiéndolo de una capacidad cuatro ó cinco veces mayor y añadiéndole los órganos que se refieren á las armas subacuáticas.

Estas son de tres clases, y un Ictíneo de guerra debe estar armado de una de ellas.

1.<sup>a</sup> Consiste en llevar á cubierta y en proa un mástil móvil que pueda salir de 10 á 12 metros fuera del Ictíneo, en la misma dirección de su eje, llevando en su extremo exterior una esfera de pólvora de metros 1'3 de diámetro, la cual reventará por choque contra un barco enemigo. De la explosión del torpedo la nave submarina (á pesar de tener lugar cerca de su proa) no puede recibir daño alguno; porque disminuyendo los efectos de las explosiones según el cubo de las distancias, el Ictíneo sólo sufrirá el embate de una fuerte corriente que tenderá á alejarle del barco atacado.

Si la esfera ó torpedo por la parte opuesta al choque está convenientemente dispuesta, conteniendo un casquete macizo de hierro donde se inserte el extremo del mástil, y éste puede obedecer libremente al movimiento de retroceso, es posible y aún probable que la explosión no echaría á perder el mástil, que podría servir indefinidamente y repetir en seguida y sin moverse de la zona submarina otras embestidas contra los demás barcos de una escuadra agresora.

2.<sup>a</sup> Constitúyenla una grua dispuesta sobre cubierta que puede levantar un cañón ó torpedo á 3 ó 4 metros de altura y dispararlos á la lumbre del agua contra un barco enemigo. Esta operación puede repetirse tantas cuantas veces sea necesario.

3.<sup>a</sup> Consiste en un plano inclinado sobre cubierta donde es posible hacer pasar sucesivamente cohetes submarinos y dispararlos uno tras otro contra la escuadra agresora.

Estas dos últimas suponen que el Ictíneo combate á menos de 300 metros de distancia á fin de no errar el blanco.

Estas armas y el Ictíneo están en un mismo plano vertical: indispensablemente también ha de estar en el mismo plano el eje del tubo *miranda* que sale á flor de agua y cuyo extremo contiene cuatro objetivos de forma particular<sup>63</sup> que trasladan por reflexión en la cámara oscura del Ictíneo las imágenes atmosféricas de cuatro puntos opuestos del horizonte. El eje de la cámara oscura ha de coincidir también con el plano vertical del Ictíneo. El tubo de los objetivos ha de poder dar una cuarta completa de vuelta. Así el Jefe podrá ver lo que pasa en la zona aérea quedando su nave velada por las aguas. La descripción de las armas y de la *miranda* está en el legendario y láminas que lo acompañan<sup>64</sup>.

**CAÑONES.**- Uno de los medios de defensa submarinos consiste en levantar desde cubierta de un Ictíneo sumergido á 4 metros de profundidad un cañón á flor de agua, y tirar con él contra un enemigo que está á una distancia inferior á 300 metros.

Para el ataque lo mismo que para la defensa interesa saber, dado un blindaje, cuál debe ser la velocidad y peso de la bala que ha de atravesarlo. En el problema debieran jugar la carga en pólvora, el diámetro, la densidad y la longitud del eje del móvil y las circunstancias del alma del cañón; pero debo confesar que ni en los autores que yo he podido consultar, ni en los experimentos ingleses y franceses, ni en los datos que nos ofrecen los combates entre el Monitor y Merrimac, los del fuerte Sumter, en la América del Norte, y el de Lissa en Italia, he sabido encontrar una ley que satisfaga las condiciones del problema.

Poisson, el ilustre geómetra, que define la percusión como una serie de presiones que se suceden unas á otras durante un tiempo muy corto, pero de una duración finita<sup>65</sup>, no nos ha dado ninguna luz sobre este asunto, á pesar de haber disertado con extensión sobre los efectos de las reacciones de los tiros en las cureñas.

Sabemos que cuanto más *tendida* es la trayectoria de un proyectil, mayor es su velocidad; que el diámetro, y por consiguiente el peso del proyectil, influyen en la *tensión* de esta curva, de manera que podríamos establecer:

1.º Que una trayectoria muy *tendida* supone que la velocidad del proyectil intervendrá más en los efectos destructivos, que su peso;

2.º Y que, al contrario, una trayectoria menos *tendida* supone que el peso del proyectil intervendrá más en los efectos destructivos, que su velocidad.

Y nos confirma en esta doctrina una nota de Martin de Brettes, presentada por Le Verrier á la Academia francesa, acerca de las relaciones entre los diámetros, pesos y velocidades iniciales de los proyectiles<sup>66</sup>

. De la cual resulta que los proyectiles largos, densos, pesados, tienen ventaja para el alcance, y por consiguiente para la penetración sobre los proyectiles esféricos.

En el sitio de Cádiz, durante la guerra de la Independencia, los franceses tiraban bombas medio llenas de plomo, con el objeto de obtener mayor alcance.

Armstrong, cuya competencia en esta materia no es dudosa, suple la velocidad inicial por el mayor peso del proyectil, y consigne poderosos efectos destructivos. Cuando se hacían las pruebas de sus cañones y de otros inventores en Inglaterra, el periódico *The Times*, que daba cuenta de ellos, decía que los Americanos poseían ya en aquella época (julio de 1864), centenares de bocas de fuego que se cargaban con pólvoras débiles y arrojaban proyectiles de á 600 libras. Por aquel tiempo el capitán Rodman, de los Estados Unidos, sometió á departamento de la guerra el proyecto de un cañón de á 1,000 libras, y decía estar convencido de que los efectos destructores de los proyectiles crecen en una proporción mucho mayor que las de los diámetros; pero no dice cuál. Y por otra parte Armstrong se limita á recordar la ecuación por la cual se calcula la fuerza viva de las balas, fuerza que no relaciona con la resistencia de los materiales.

Fairbairn, ingeniero inglés bajo cuya dirección se construían los blancos blindados que representaban los muros de los barcos, y algunos constructores de láminas para el acorazado, sospechan que — 203 → la resistencia de éste crece como el cuadrado del espesor. «Si la teoría de la Comisión de láminas es exacta, y que la resistencia de éstas sea proporcional al cuadrado del espesor, la de 27<sup>cm</sup>94, representará una resistencia séxtuple á la del Warrior (11<sup>cm</sup>)<sup>67</sup> «Una lámina de aquel espesor es travesada por un proyectil esférico tirado por el cañón de á 600 Armstrong, cuyo hecho es la mejor demostración de que la teoría de la Comisión lleva al absurdo. Tal es la confusión que reina en esta materia.

En Balística se admite como muy acomodado á la razón de los hechos que la profundidad de la penetración en un blanco por un proyectil está:

En razón directa de su radio,  
 » » » de su densidad,  
 » » » del cuadrado de su velocidad,

y en la inversa de la tenacidad del cuerpo chocado.

En las fórmulas sobre el paso del proyectil de un medio á otro, Bertout, discute, también las que se refieren al choque de un cuerpo de una masa infinita y llamando

- $r$ , al radio;
- $Y$ , al hundimiento total del proyectil;
- $D$ , la densidad del mismo;
- $V$ , su velocidad;
- $y$ , la resistencia del material chocado por unidad de superficie.

Establece que

$$Y = \frac{D r v^2}{y} \quad 68$$

la cual no da cuenta de los hechos, ni puede darla, porque falta un elemento (ú otro radio del proyectil ó el peso del mismo) sin la introducción del cual no está representada la fuerza viva. En tanto que no se practique un buen sistema de experimentos en que jueguen como principales, y sucesivamente, cada una de las indicadas circunstancias, no será posible establecer una ecuación que satisfaga las necesidades de la balística: esto es, dada la resistencia de un blanco, ¿cuáles deben ser las circunstancias del cañón y proyectil que pueda atravesarlo?

Como del sistema Armstrong y de las indicadas bases se deduce que adquiere una grande importancia el aumento en la masa del proyectil; como por otra parte los efectos contundentes son tal vez más eficaces que los perforantes para echar á pique al enemigo; de aquí que podrá ensayarse, para uso de los Ictíneos, cañones cortos, de grande diámetro, cargados con pólvora fuerte, y en poca cantidad, contenida, como en los morteros, en una cámara de menor diámetro.

Por otra parte y en atención á que el Ictíneo no dispone de medios precisos sino groseros para la puntería; que en razón á que sus proyectiles han de atravesar un medio tan denso como el agua del mar, cuya resistencia se vence más fácilmente estando almacenada la fuerza viva por el mayor peso del proyectil que por una velocidad mayor, es más conveniente obtener efectos destructores por confusión que por penetración.

Faltándome competencia para disertar sobre estos dos puntos me limitaré á citar los pocos hechos que han llegado á mi noticia y que hablan en favor de los proyectiles contundentes.

En el combate de *Lissa* la fragata acorazada *Rey de Italia* se fué á pique por el desligamiento de las láminas y descoyuntura de sus costados de madera.

El *Merrimac* fué abandonado por igual motivo.

En el combate contra el fuerte Sumter (América del Norte), el *Keokuk*, acorazado, se fué á pique quince horas después del combate por iguales golpes contundentes; si los proyectiles que atravesaron sus torres, poniéndolas como cribas, y los 62 proyectiles que recibió en la coraza, atravesaran su casco, se hubiera hundido durante el combate, pero vino solo perforó su proa y la avería pudo ser remediada.

En el combate de Trafalgar donde los mayores navíos del mundo se mezclaron y confundieron durante tres horas; donde las andanadas eran de cerca que todo proyectil hería á su contrario, ningún barco se fué á pique durante el combate, á pesar de estar puestos como cribas. Si en aquella ocasión hubiese dispuesto la marina aliada de cañones y obuses *rovirianos*, de seguro que á sus golpes contundentes hubiera sucumbido la escuadra inglesa.

Garvick, en la vida de Nelson, dice que el *Guillermo Tell*, de la marina francesa, atacado por el *Leon*, *Penelope* y sobre todo por el *Foudroyant* de 74, recibió de solo este último 2,758 balas sin que se fuese á pique, y no quedó tan mal parado que no pudiese ser recompuesto y continuar en el servicio (de Inglaterra que lo había apresado) bajo el nombre de *Malta*.

**TORPEDOS.**- Para dirigir un torpedo contra un barco enemigo el medio más expedito que se presenta es la fuerza motriz que impulsa á los cohetes<sup>69</sup>, haciéndoles describir esas admirables trayectorias de un alcance igual si no superior al de los proyectiles de los modernos cañones. Antes de pasar á la descripción de un torpedo-cohete transcribiré algunos párrafos del citado Montgéry, que ilustrarán esta materia, por contener algunos hechos y opiniones que no deben pasar desapercibidas á los que intenten hacer estudios prácticos sobre este asunto.

«En 1730, decía el doctor Desaguliers, que el petardo de los pequeños cohetes echa á pique una chalupa, reventando bajo su carena.»<sup>70</sup>

En el estanque de la Villette, en 1811, ensayóse lanzar un petardo flotante por medio de un cohete, y á pesar de ser demasiado débil, hizo recorrer al petardo un trayecto de 70 Loesas (136 metros).



«Los cohetes entre dos aguas son susceptibles de recorrer un trayecto mucho más considerable que un obús ó bala del mismo calibre y como arma submarina sería temible. Los *american-torpedoes* de M. Blair, son probablemente cohetes submarinos de grandes dimensiones; el Comité encargado de examinarlos, dijo que un solo navío cargado de ellos podría destruir en alta mar las mayores escuadras navales.»

«Sería posible fabricar cohetes submarinos de un volumen enorme, lo cual hoy en día (año de 1825) fuera inútil, puesto que uno de 60 libras ó á lo más de 300, tendría bastante potencia para echar un navío á pique aunque fuera arrojado desde una distancia mayor de 100 toesas (195 metros). De las armas empleadas y propuestas para los combates navales, creemos que los cohetes submarinos son los más temibles: de ellos se harán torpedos ó máquinas infernales de un efecto infalible, si se logra construirlos bien y dirigirlos á su destino.»

Describe además Montgéry un medio de instalación y disparo de cohetes submarino aplicado á buques flotantes<sup>71</sup>.

El general Konstantinoff, del ejército ruso, ha verificado experimentos con el objeto de saber qué fuerza útil desarrollan los gases que por reacción impulsan al cohete. El instrumento es un péndulo que sostiene el cohete y que es desviado de la vertical por la reacción de los gases y por un tiempo más ó menos largo y de un ángulo más ó menos abierto que dependen de la fuerza del cohete, cuyos efectos por un mecanismo automotor se inscriben en un cilindro que da vueltas sobre su eje. La expresión gráfica del tiempo y del ángulo es una línea helizoidal sobre el cilindro móvil<sup>72</sup>.

Montgéry propuso un procedimiento cuyo principio es el mismo<sup>73</sup>.

La composición rusa de la materia motriz de los cohetes es la siguiente:

Nitrato de potasa.....	75
Azufre.....	10
Carbón.....	25

Los cohetes así compuestos y cuyas dimensiones son:

Calibre.....	10 centímetros
Diámetro del alma.....	4'2 »
Longitud de id.....	84 »

desarrollan una fuerza equivalente á 250 kilográmetros en un espacio de tiempo en segundos 2'7.

El citado autor olvidase de precisar el peso de la materia motriz y su densidad, y aunque esto sea importante, sin embargo como podemos fundar el cálculo sobre la superficie de ignición, el volumen de la materia motriz y el peso del proyectil que lleva el cohete en su cabeza, podremos deducir las dimensiones y demás circunstancias de nuestro cohete torpedo de grandes dimensiones.

El volumen de la materia motriz del cohete cuyas dimensiones he dado es de 6,862 centímetros cúbicos; transporta á 4 kilómetros de distancia un proyectil de 10 libras rusas (4'093). Si admitimos 0<sup>k</sup> representando el peso de la varilla directora tendremos que el trabajo total de transporte es de 4<sup>k</sup>600.

Si nosotros tratáramos de enviar 1,000 kilogramos á igual distancia, emplearíamos un cohete cuyo volumen de materia motriz sería de acerca metros cúbicos 1'5; pero en atención á que no se necesita tanta velocidad podría reducirse la carga.

Según resulta de los experimentos en los cohetes franceses, si se multiplica el peso del proyectil por 7 se reduce el espacio recorrido por el cohete á 1/5, y es claro que si en lugar de aumentar la carga disminuimos la cantidad de materia motriz á 1/5 dará iguales resultados: por consiguiente para nuestro torpedo-cohete en lugar de 1<sup>m3</sup>5 pondremos solamente 0<sup>m3</sup>30 de materia motriz que recorrer un espacio inferior á 800 metros, con tal que esta materia arda en segundos 2'7/5 y tenga una superficie de ignición equivalente á la carga que debe llevar.

Los cohetes de Konstantinoff que nos sirven de tipo, tenían una superficie de ignición de metros 0'1107, y un cohete capaz de llevar 1,000 kilogramos, debiera tener 217 veces aquella superficie, lo cual se obtendría á favor de un haz de cohetes de un metro de alma, calibre de 6 centímetros, y de 4 centímetros de diámetro en dicha alma.

De manera, que colocando 200 cohetes de este calibre, dentro de un cilindro que formaría parte integrante de la esfera-torpedo, tendríamos un excelente motor para llevarlo contra un barco acorazado, que estuviera á una distancia menor de 300 metros. La trayectoria estaría compuesta de curvas descritas por los rebotes que en su marcha verificaría el cohete, ya que por una parte sería menos denso que el agua, y por otra porque, animado de un movimiento rápido debiera seguir el camino que la menor resistencia del aire, en combinación con la fuerza de gravedad le obligaría á seguir, él cual fuera parecido á la trayectoria que describen las piedras chatas, que hacemos ringlar por la superficie del agua.

Si relacionando la superficie de ignición, volumen de la materia motriz y peso que debe transportarse, nos hemos persuadido de la posibilidad de arrojar un torpedo contra el agresor, ahora vamos á ver directamente, si mediante la fuerza de reacción, y suponiendo que el torpedo no se separa del medio líquido, adquiere una velocidad media suficiente para producir por el choque la explosión.

Sea un torpedo de peso total 1,000 kilogramos, que contenga un volumen de pólvora igual á un metro cúbico.

Sea un tubo de un metro de diámetro, por 1<sup>m3</sup>30 de longitud, invariablemente unido al torpedo; cuyo tubo contendrá 300 decímetros cúbicos de materia motriz, distribuída en 200 cilindros ó cohetes de á 6 centímetros de diámetro.

Sea la fuerza de la materia motriz en kilogramómetros

$$\begin{array}{r} 0^{m3}300,000 \\ \text{-----} \\ 0^{m3}006,862 \end{array} \times 250 = 10,850 \text{ kilogramómetros}$$

que se desarrollarán (si la superficie de ignición es proporcional á la cantidad de materia motriz de los experimentos de Konstantinoff) en un tiempo igual á segundos

$$\frac{27}{5} = 0'54 \text{ segundos;}$$

pero como el cohete ha de obrar dentro del agua, será conveniente que la fuerza no se desarrolle en tan breve espacio de tiempo, y que, por lo tanto, se reduzca la superficie de ignición.

Sea, pues, el tiempo en que obre la fuerza, tres segundos, y dividiendo por ellos la fuerza 10,850 kilográmetros, y luego por 75, para evaluarla en caballos de vapor, tendremos el cociente 48 caballos de Watt.

Ahora bien, si aceptamos la fórmula universalmente usada para saber la velocidad que imprimirá esta fuerza á un móvil que debe atravesar el agua, y decimos, que la resistencia que encontrará, será  $R = KSV^2$ , ó mejor  $KSV^3$ , de las cuales

$V$ , velocidad en metros;

$S$ , sección maestra del móvil en metros cuadrados,

$K$ , un coeficiente variable, según las formas del móvil y su desplazamiento; y en este caso 40 kilogramos<sup>74</sup>,

$R$ , la suma total de resistencia;

de cuya fórmula, sabido  $F$  ó la fuerza en caballos de vapor, se deduce la velocidad en millas por hora

$$V = K \sqrt[3]{\frac{F}{S}}$$

Sustituyendo en esta fórmula los valores á las letras, tendremos

$$\text{metros } 34'2 = 10 \times \sqrt[3]{\frac{48}{1 \cdot 2}}$$

Velocidad suficiente para que el cohete salga fuera del líquido, y vaya ringlando por su superficie por un largo espacio, si no se encuentra en su trayectoria el barco, contra el cual se dirija.

Estos cálculos sólo pueden servir de base á los ensayos que se emprendan para estudiar esta materia. Tratándose de un móvil en que tanta influencia ejercen la forma, los elementos que hayan entrado en la confección de la materia motriz y el estado particular de humedad y otras circunstancias, sólo la experiencia puede determinar cuáles sean las condiciones más favorables para que un cohete-torpedo pueda cumplir su objeto.

Los efectos destructores de los torpedos, deben considerarse como producto de una presión, cuya acción tiene por centro el del torpedo en que se apoya. Si esta acción se desarrollara en un medio etéreo y el torpedo fuese perfectamente homogéneo, se *expandería* en todos sentidos y constituiría una esfera; pero obrando en la superficie del mar, á causa de la resistencia del agua, se desarrollará en forma de cono, cuya sección perpendicular al eje coincidirá con el mismo plano horizontal marítimo. No obstante, para los efectos destructivos no nos separaremos mucho de la verdad, si consideramos que la fuerza íntegra del torpedo desenvolverá en esfera, y, como su centro estará inmediato al obstáculo que haya provocado la explosión, admitiremos que una gran parte de la fuerza del torpedo obrará sobre la obra viva del buque contra el cual se haya dirigido.

Para saber, dado un torpedo, cuál será su efecto destructivo, debemos partir de la pólvora.

Los tratados sobre Balística citan á varios autores que han estudiado la fuerza expansiva de este agente: tomando por unidad la presión atmosférica, el inventor del péndulo balístico ya citado:

Robins, en sus <i>Nuevos principios de Artillería</i> , señala	1,000 atmósferas
Lombart, en sus <i>Notas á la obra de Robins</i>	9,215 »
Botté y Riffaut, en el <i>Tratado de la fabricación de la pólvora</i>	10,000 »
Euler, en sus <i>Notas sobre los nuevos principios de Artillería</i>	5,000 »
Daniel Bernoulli, en su <i>Hidrodinámica</i>	10,000 »
Antoni, en su <i>Examen de la pólvora</i>	18,000 »
Rumfort, en su <i>Biblioteca Británica</i>	50,000 »
Vallejo <sup>75</sup> , en su <i>Mecánica práctica</i> (Madrid, 1815)	4,000 »

En esta disparidad de resultados de la experimentación y del cálculo, intervinieron Bunsen y Schischkof con su *Tratado de la combustión de la pólvora* que vino á dar razón á Euler y á Vallejo, puesto que la fijan en 4,500 atmósferas; estos estudios están fundados en la combustión aislada de grano por grano de pólvora, y este procedimiento ha inspirado general confianza á los físicos y químicos de nuestros días.

Partiendo de 4,500 atmósferas, vamos á ver qué cantidad de fuerza se aprovecha en las circunstancias ordinarias del empleo de la pólvora en los cañones.

La fuerza que nos servirá de tipo de comparación será la de gravedad.

Un cuerpo que libremente obedece á ella adquiere una velocidad igual á la  $\sqrt{2g a}$ , sin que tenga ninguna influencia su densidad.

Siendo la presión de 1 atmósfera igual al peso de una columna de agua de 10 metros de altura, y la de la pólvora igual á 4,500 atmósferas, luego la mayor velocidad que puede adquirir una bala de cañón tiene por expresión  $\sqrt{2g \times 45,000 \text{ m.}} = 940 \text{ metros.}$

Ahora bien, siendo la mayor velocidad práctica obtenida hasta hoy en los cañones ordinarios inferior á 550 metros y correspondiendo esta velocidad á

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{550^2}{19.6} = 15.433,$$

se ve que esta altura sólo viene á ser como 1/3 de la absoluta de 45,000 metros que supone la presión de la pólvora.

Por otra parte, en atención á que el torpedo es un instrumento más grosero que el cañón<sup>76</sup> para utilizar la tensión de los gases de la pólvora, estimaremos su fuerza útil solamente en 1/4 de la absoluta, esto es, en 1,125 atmósferas.

Para estimar el efecto de esta fuerza tendrá que multiplicarse la superficie que abraza por la presión. Para saber la resistencia, supondremos el caso menos favorable, el de que la presión abriese un agujero de las mismas dimensiones y figura que afectaría tener en un momento dado, la presión sobre la superficie atacada, que en este caso es la de un círculo. Supondremos,

pues, que los gases obran como un punzón circular, y el perímetro de esta figura multiplicado por la resistencia del material, á la carga de ruptura, será la resistencia mayor que podrá ofrecer la obra viva de un buque. Y al hacer esta suposición partimos de los efectos mismos de las fuerzas instantáneas, producidos sobre los cuerpos, por ejemplo, sobre la pantalla de pie que se coloca ante los cañones para indagar el ángulo que la trayectoria del proyectil hace con el eje de la pieza, la cual pantalla, no es derribada por la bala que la atraviesa; y esto dicen los físicos, que no tiene otra explicación sino que la fuerza de inercia necesita un tiempo determinado para ser vencida, tiempo que no ofrecen las explosiones de la pólvora. De aquí que equipare yo sus efectos á los de un punzón mecánico; el cual ha de vencer la resistencia que en razón del perímetro de su propia figura le ofrece el material que ha de penetrar.

Si llamamos

*P*, la presión que ejerce la pólvora en atmósferas;

*S*, la superficie que ha de soportar la presión, en centímetros;

$1^{033}$  la que ejerce una atmósfera sobre  $1^{cm^2}$ ;

*C*, el perímetro de la superficie oprimida en centímetros;

*R*, la carga en kilogramos necesaria para romper una barra de un centímetro de sección del material resistente, tendríamos que

$$\frac{PS 1^{033}}{CR}$$

será la expresión del espesor del material que destruirá el torpedo.

De cuya fórmula se deduce que á medida que aumente el espesor del blindaje es necesario que el torpedo aumente de diámetro; y como los círculos crecen según los cuadrados de los radios y las circunferencias solamente como los diámetros, se deduce también que el torpedo por poco que aumente su diámetro siempre será superior á la resistencia que puede ir ofreciendo el mayor espesor de la coraza.

Además si fuera grave inconveniente el volumen del torpedo, pudiera disminuirse, sustituyendo una parte del nitrato de potasa por un equivalente de clorato de la misma base; puesto que la pólvora compuesta por esta sal es de una fuerza cuatro á seis veces superior á la ordinaria.

Si un Ictíneo arroja una esfera de pólvora común de diámetro metros 1'30 que estalle por choque contra un agresor acorazado, la fuerza desarrollada se aplicará contra sus paredes describiendo un círculo cuyo diámetro será de metros 1'30 y cuya superficie medirá 11,309 centímetros cuadrados. La línea de resistencia, en este caso, es el perímetro del círculo, esto es, la circunferencia, que tiene un valor de 377 centímetros; y siendo el material hierro forjado, cuya resistencia en grandes láminas no puede estimarse en mas de 2,500 kilogramos por centímetro de sección, tendremos, sustituyendo los valores á las letras de la anterior fórmula, que al blindaje que destruirá será de un

$$\text{espesor} = \frac{1125 \times 11309 \times 1^{033}}{377 \times 2,500} = 15^{cm} 7.$$

Sobre la debilidad del blindaje con respecto al torpedo debo hacer dos observaciones:

Se refiere la primera al modo de obrar de la pólvora, cuya acción sobre un cuerpo, además de perforante, es también contundente, y tiende á anular la cohesión y por lo tanto á descoyuntarle y dividirlo en su conjunto y en particular en sus ensambladuras: en tanto así es que basta la deflagración de algunas libras de pólvora, contenidas en un saco que clavan los soldados en las puertas de los fuertes, para hundirlas y hacerlas saltar en astillas. Y en la producción de estos efectos tan variados y difíciles de explicar me parece ver reproducida la fuerza de las vibraciones á que he aludido al tratar de los motores.

La segunda observación se relaciona a la manera como están contruidos los blindajes, cuyo costado débil no es el revestimiento exterior, sino el muro de madera del buque, al cual van las láminas de hierro ajustadas y sostenidas por pernos. Siendo de metros 1'5 de largo por 1 de ancho, y obrando los gases en el caso más favorable á la defensa, sobre una sola lámina, ésta penetrará en el muro de madera que la sostiene, por la línea de pernos de su contorno y arrastrará tras si las inmediatas. Esas construcciones son débiles para resistir la acción de los torpedos, habría interés en que el revestimiento de hierro se hiciera por capas sobrepuestas cubriendo las exteriores las ensambladuras de los interiores, á la manera como se ha practicado en las torres del *Miantonomoah*; mas en este caso, como lo ha probado la experiencia, el revestimiento sería fácilmente penetrado por los proyectiles de los cañones.

**COMBATE.**- Descritos el *Ataque y la Defensa*, cumpliría entrar en las evoluciones de los barcos ferrados y de los Ictíneos, de las cuales puedo decir muy poco a priori; tanto porque las circunstancias especiales de la localidad, tamaño de los buques y cañones pedirán para cada caso disposiciones particulares, como porque mi incompetencia en estos asuntos me impide entrar en consideraciones que prácticamente carecerían de valor.

Supondré sólo que se presenta en mar libre frente el puerto, la escuadra agresora, y que uno, dos ó más Ictíneos se proponen combatirla y que salen del puerto, que debe ser atacado, lo más sigilosamente posible. Y para simplificar la acción, supondré el combate entre un barco ferrado y un Ictíneo.

Si la nave recela la existencia de peligros submarinos, de torpedos sembrados á cierta distancia del puerto, moderará su andar, esperando que los vigías canten las cosas que descubran en la mar. En este caso, que es el más favorable para el ataque submarino, el Ictíneo se dirigirá á todo vapor contra el buque ferrado. Si el tope de éste apercebe la porción flotante del tubo *miranda* y canta nave submarina ¿qué hará el comandante del acorazado?

O se apartará de él ó le atacará.

En el primer caso, si lo hace yendo hacia tierra para descargar sus andanadas contra la plaza, el Ictíneo lo seguirá y lo alcanzará á una distancia conveniente para disparar contra el barco ferrado.

En el segundo caso, el barco flotante describirá una larga curva para adquirir toda la velocidad posible y con ella lanzarse sobre el Ictíneo de cuyo tubo reflector ó *miranda* que acusa su existencia, no apartará la vista. La nave submarina irá virando á fin de presentar su proa al enemigo contra quien disparará su cohete torpedo cuando le separen de él solamente 50 ó 100 metros. Luego de haber disparado, bajará de una cantidad igual al calado del buque flotante, virará para ponerse al mismo rumbo del enemigo si bien evitando el colocarse en el mismo plano vertical; dispondrá otro torpedo, volverá á aparecer á la lumbre el reflector para repetir otro disparo, y seguirá su tarea con otro buque, caso que el primero hubiese desaparecido.

Las balas tiradas contra el Ictíneo no pueden ofenderle, sino cegándole en el caso bastante difícil de dar en el tubo reflector; pero de ninguna manera alcanzarán la cámara submarina, defendida por la densidad del fluido y por una cubierta de madera de 30 á 50 centímetros de espesor. Suponiendo que el barco flotante descargue sus baterías elevadas á 5 metros sobre el nivel del mar, en una inclinación de 20 grados contra un Ictíneo que está sumergido á 4 metros y á una distancia de 20, el proyectil tendrá que atravesar una línea de agua de 11 metros, que le ofrecerá una resistencia proporcional á su densidad, superior 800 veces á la del aire, lo cual dice lo bastante para poder asegurar que no llegará ningún proyectil á perforar la cubierta de roble del Ictíneo.

Sin embargo, como pudiera aducirse un hecho que parece estar en contradicción con lo asegurado, paso á ocuparme en él para darle el verdadero valor. Howard Douglas dice, que con un cañón Whitwort, la bala exagonal de 11 kilogramos tirada á una inclinación de 7°, después de haber atravesado 10 metros de agua, tuvo bastante fuerza para penetrar 30 centímetros en el roble. Empero, como de la indicada inclinación se deduce que el agua atravesada era superficial, que á causa de su facilidad en ceder tanto por la parte anterior como por los costados del proyectil, toda la resistencia estaba reducida á una comunicación de movimiento del proyectil á una pequeña cantidad de agua, resulta que no puede inferirse de este experimento que, con ángulo de 20°, el mismo proyectil hubiera penetrado en la cubierta del Ictíneo.

Además el mismo almirante Douglas nos afirma que tirando, con una inclinación igual de 7° bajo del horizonte, balas esféricas de 14 kilogramos no lograron penetrar el pantoque del buque que servía de blanco, ni dejaron casi señales de sus huellas; lo cual prueba que el agua acaba luego con la fuerza viva de los proyectiles, si éstos no pueden lanzarla por delante y por los costados.

Si el motor del Ictíneo llegare á obtener, lo cual es posible, una velocidad de 11 millas por hora, entonces podría dar caza á los acorazados, y uno solo fuera bastante para la defensa de una plaza atacada por la mayor escuadra moderna.

El del proyecto<sup>77</sup> tiene dos calderas caldeadas por el fuego submarino, que juntas generarán vapor para una máquina de 3 á 400 caballos, y en atención á que han de obrar sobre una sección maestra de 48 metros cuadrados, imprimirán al Ictíneo una velocidad de 8 á 9 millas por hora, velocidad muy superior á la necesaria para los casos ordinarios de la defensa, si bien no bastante para dar caza á los modernos buques.

Esto es cuanto tenía que exponer por el presente con referencia á los Ictíneos de guerra; exposición apoyada en mis pruebas prácticas de navegación submarina con bastante latitud descritas en este ENSAYO; en los tiros del primer cañón que el hombre ha disparado estando junto á él y debajo de agua; y en los ensayos repetidos, centenares de veces, del motor submarino.

## **Tercera parte**

Descripción ordenada del ictíneo y de sus principales mecanismos



He indicado en las dos partes anteriores los aparatos más esenciales que constituyen el Ictíneo. Comprendo, sin embargo, que esto no basta para poder formar un concepto perfecto del buque, dada la complejidad de funciones que desempeña, y por esta razón destino un tercer capítulo á la descripción minuciosa de todas sus partes con ayuda de planos geométricos copiados con fidelidad de los planos de construcción.

Son estos planos en número de tres.

El 1.º (lámina 1).- Comprende las dos secciones longitudinales, vertical y horizontal, del segundo Ictíneo que es el verdadero plano general de la obra.

El 2.º - Contiene las secciones transversales: la sección central ó maestra, en la figura 3: la sección por los lastres de apuro de popa en la figura 4: la sección por las aletas en la figura 5. En las figuras 6 y 7 está representada la disposición del cañón de ensayo, siendo la última figura una representación en diagrama del torpedo-cohete.

El 3.º plano, se desuna á detalles de varios órganos importantes que no pueden verse en las secciones generales.

En lugar de una descripción escueta, doy una relación de la función y manejo de cada mecanismo, añadiendo en algunos los motivos que me han conducido á su adopción. Esto me obligará á repetir algo de lo dicho en los dos capítulos anteriores.

**CASCO Y CAMARA RESISTENTE.**- El barco por lo que se refiere al casco debe atender á dos condiciones. Una á la de las formas arquitectónicas más favorables á la doble navegación que ha de desempeñar, y otra á la de navegar sumergido por un medio líquido de presión variable.

Para satisfacer en lo posible estas dos condiciones es que adopté los dos cuerpos, uno impermeable y resistente, otro exterior susceptible de adaptarse á las formas exigidas por la navegación.

La cámara resistente es de madera, formada por cuadernas de madera de olivo, de 10 centímetros de espesor, amadrinadas y revestidas de cintas de roble de 6 centímetros y un forro de cobre de 2 milímetros de grueso.

Unen ambos cascos sólidas varengas de bronce. La quilla es de roble, defendida por una zapata de bronce.

Desde el centro hacia proa, las secciones del casco exterior son circulares, y en la sección de popa se van estrechando en forma elíptica hasta el codaste, remedando la cola del pez.

En el espacio que queda entre los dos cascos, puede correr libremente el agua, excepción hecha de la sección central y, que está destinada á vejigas de flote como veremos luego.

La cámara resistente afecta la forma de un elipsoide de revolución, si bien en la sección central ó maestra, es cilíndrica en una longitud de dos metros. Mide el eje mayor del elipsoide 14 metros y dos el menor siendo su capacidad total de 29 metros cúbicos.

Tiene esta cámara una sola escotilla  $e$  de acceso, en bronce, con cierre de tranca interior; de forma esférica con entrada circular de 40 centímetros de diámetro. Lleva cuatro miradores, defendidos por fuertes cristales tronco-cónicos de un espesor de 10 centímetros y de una transparencia extraordinaria.

En el mismo plano de la sección maestra, y coincidiendo su eje con el horizontal de la cámara, se proyectan fuera del casco exterior otras dos semiesferas de bronce  $C^2$  -una á babor y otra á estribor- con cinco miradores cada una, con cristales iguales á los de la escotilla.

El mirador proel, es un casquete  $C$ , también en bronce, parecido á los de la sección central y de cinco miradores.

La cámara elipsoidea termina en popa por un casquete en bronce que da paso por medio de estopenco al eje de la hélice propulsora.

El codaste y contracodaste son de hierro batido sólidamente empernados en la pared de la cámara resistente.

El timón es de chapa de hierro sostenido por el codaste exterior. Se mueve desde la escotilla central por un torno  $L$  de arrollo compuesto de vis sin fin y ruedas. La cadena de movimiento pasa por debajo de los cuarteles de cubierta convenientemente defendida.

La hélice propulsora es de dobles alas parecida al tipo Mangin, pero de superficie plana. Las alas van atornilladas al cubo para poder ser cambiadas en caso de rotura sin que sea necesario desmontar el eje general. También esta disposición ha facilitado el recambio de palas de distintas formas y superficie en los ensayos de velocidad que se practicaron con el motor muscular.

Como el timonel desempeña el cargo de Capitán, afluyen á la escotilla central, que es donde reside, los grifos de gobierno de la vejiga natatoria, el disparo de las bombas de la misma, el cierre de la chimenea, etc., etc.

**LOS MECANISMOS NATATORIOS.-** El barco cuando flotante emerge del agua lo suficiente para dejar al descubierto toda la obra muerta del casco exterior, dotándolo de este modo y en lo posible de las mejores condiciones náuticas para navegar por la superficie. Como la inmersión se hace por admisión de lastre, se deja el buque á la densidad próximamente del agua cuando se va á proceder á la inmersión.

Esta flotabilidad se debe á las llamadas apropiadamente vejigas de flote que consisten en cuatro compartimientos y impermeables, hechos de lámina de cobre y alojados en los entrebarcos, dos á babor, dos á estribor y uno á cada lado de la escotilla central. (Véase figuras 1, 2, 6, de las secciones.)

Estos compartimientos y están convenientemente relacionados por caños; la entrada de agua inferior es  $I$  (figura 3, sección transversal) con los correspondientes grifos que se maniobran desde dentro de la cámara, y la entrada de aire  $I^1$  para cuando deba desalojarse el agua.

Esta expulsión se obtiene por una inyección de aire que se hace desde el interior de la cámara por la bomba de aire  $N$ , susceptible de ser movida á mano por cuatro hombres asidos á los manubrios  $O$  y también por el eje general de la máquina de vapor  $Z$

Debe tenerse bien presente que esta operación de vaciar estas vejigas se hace una sola vez, que, es cuando se dan por terminadas las sumersiones volviendo el buque á su fondeadero.

Estando pues el buque á flote, debe admitirse agua en estos compartimientos impermeables. Abrense los grifos *I* de admisión de agua (figura 3) al mismo tiempo que el de escape de aire *I'* (figuras 1 y 3) cuidando de que no se ladee al barco por entrar más agua en una batida que otra, y haciendo esta operación más ó menos rápida con solo variar el paso de los grifos de entrada.

Cuando estos depósitos que alcanzan una capacidad total de 8 metros cúbicos quedan llenos de agua, el buque queda anegado hasta dejar fuera de la superficie del agua los dos últimos cristales de la escotilla, y á una densidad poco menor de la del mar.

En este estado puede ya entrar en función la *vejiga natatoria*, que es el aparato encargado de la traslación del barco en sentido vertical.

Constituyen este organismo (figura 1, lámina 1) tres elementos: una caja *Q* de admisión de agua del mar: dos depósitos de aire comprimido *K* y un bombillo de compresión en tres cuerpos *P*. Estos tres elementos están correlacionados; el depósito de admisión de lastre *Q* con la boca de aspiración de los bombillos *P*, y éstos por su caño de inyección con el depósito de aire comprimido ó vejiga *K*. El funcionalismo de este aparato es el siguiente: Las vejigas *R* están en su mitad llenas de agua y la otra mitad aire ó un gas permanente cualquiera, comprimido á una presión doble del índice de profundidad del Ictíneo, esto es, si la máxima profundidad á que debía descender el buque corresponde á 5 atmósferas, la presión de este aire ó gas debe ser de 10.

Ábrese por el timonel ó por el observador de proa el grifo de entrada de agua de lastre que caerá en la caja *Q*. Al determinarse el descenso -que puede ser suave ó rápido según la mayor ó menor abertura del grifo mencionado se cierra el grifo. Va descendiendo el barco, y de llegar á la profundidad deseada, ábrese la salida de agua de las vejigas, para aligerarlo algo á fin de evitar un descenso excesivamente rápido, que es siempre peligroso, y al mismo tiempo para su densidad á fin de lograr una perfecta estabilidad.

En cuanto se inicie la expulsión de agua de las vejigas ya pueden las bombas de compresión empezar á funcionar, tomando agua de lastre de la raja *Q* é inyectándola en las vejigas á fin de reintegrarles de la presión que hayan perdido, sin que este traslado de agua altere en lo más mínimo la densidad del barco.

Como las cantidades de agua que se arrojan de las vejigas son en este caso muy pequeñas, con pequeño trabajo por parte de las bombas se conserva la presión inicial de los depósitos, pudiendo por lo tanto prolongar y repetir la maniobra de ascender tantas cuantas veces se quiere é indefinidamente, dejando siempre la vejiga con su presión inicial.

Esta admisión y expulsión de agua se hace indistintamente desde proa y desde la escotilla central, á cuyo efecto afluyen á ambos puntos las correspondientes cañerías  $Q^1$   $Q^2$   $Q^3$ : los manómetros *K* indicadores de la presión de las vejigas; los de la presión del mar  $X$   $X$  para grandes profundidades y los de aire,  $X$   $X$  para pequeñas oscilaciones.

El equilibrio longitudinal estando el buque en marcha asegura por un cilindro de plomo *V* encarrilado paralelamente al plano horizontal de la cámara, pudiendo correr del centro hacia á proa y viceversa según convenga corregir desequilibrios longitudinales ó provocarlos á voluntad, por una simple vuelta de manubrio, al alcance del maquinista. Un largo nivel de aire en la prolongación de la guía, ó carril indica las alteraciones longitudinales.

Otro órgano natatorio son las dos aletas  $A' A'$  (figura 5, lámina 2.<sup>a</sup>) dispuestas de modo que por su acción puede el buque dar vuelta al rededor de su eje vertical estando parado.

Estas aletas son dos hélices  $A' A'$  de igual forma que la hélice motriz, montadas una á babor y otra a estribor en ejes  $d$  á 45 grados en un mismo plano transversal. Estas hélices, cuando paradas se alojan entre cascos para evitar la resistencia que opondrían á la marcha del buque. Funcionan independientemente una de otra, y al empezar á girar se proyectan fuera del casco exterior por tener su eje aterrajado recibiendo el movimiento del piñón-tuerca  $d'$ .

A más del movimiento de cía-boga, pueden en ciertos casos provocar el empopamiento del barco.

Pueden agruparse con los aparatos natatorios los lastres de seguridad, que divido en esféricos y de apuro, y cuyo papel explico en el capítulo II de la SEGUNDA PARTE.

Componen los primeros, esferas de fundición  $G$  (lámina 2.<sup>a</sup>, figura 3) sueltas en una caja  $G^1$  en la sección central. Al soltar la aldaba solidaria de la manecilla  $G^3$  se abre, la compuerta  $G^2$  escapando las esferas al mar, aligerando el barco de un peso doble del agua encerrada en las vejigas natatorias. Si no se determinase el ascenso después de haber arrojado toda el agua de las vejigas y estos lastres esféricos, se recurre entonces á los lastres de apuro, que están compuestos de cuatro cajas de hierro  $H$ , distribuídas dos á dos en la sección proel y en la popel como indica la figura 2 lámina 1.<sup>a</sup>, y sostenidas por cadenas  $H^1$  y un cáncamo de forma especial  $H^2$  (figura 4, lámina 2) que se dispara con sólo soltar la aldabilla  $H^3$  (figura 1, lámina 1.<sup>a</sup>)

*LA ATMÓSFERA ICTÍNEA.*- Aunque navegando por la superficie respira la tripulación el aire natural, que entra por la escotilla de acceso á la cámara, se dispone sin embargo de chimeneas de ventilación y refresco, que en combinación con el ventilador de la caldera, producen una renovación continua del aire.

En  $E$  (figura 1, lamina 1.<sup>a</sup>) está la entrada de aire de proa que se abre y cierra por válvula plana desde dentro.

En  $E^1$  está la de popa, con pequeña variación en los órganos de cierre.

Como el ventilador  $T$  absorbe el aire de los dos extremos de la camara, para inyectarlo en el hogar de la caldera, va continuamente acudiendo aire fresco por los mentados orificios, aunque la escotilla central esté herméticamente cerrada. Cuando estas entradas de aire se cierran, sustituye en seguida al aire natural, el artificial generado en la misma cámara.

Sólo dos aparatos constituyen el material mecánico que desempeña esta importante función de la nave submarina. El generador de oxígeno y el purificador.

En la sección popel van ambos aparatos, funcionando el generador de oxígeno sólo cuando no está en marcha el motor submarino.

El detalle de este generador está en la lámina, 3, figura 1.<sup>a</sup>. Dentro de la pequeña retorta  $d$  se pone el paquete  $b$  que contiene el clorato de potasa y el combustible á favor de cuyo calor se desprende el oxígeno. Después de haber recibido una presión de dos atmósferas en la cámara  $G$ , sale el oxígeno por la espita  $e$  que por un tubo es conducido al aparato purificador.

Componen este aparato; una caja  $R$  (figuras 1 y 2, lámina 1.<sup>a</sup>) una tubería  $R^2$  que parte de la, caja y va hasta el mirador de proa; un ventilador  $T$ , y un bombillo  $R^3$ . Como la purificación

del aire sólo es necesaria en la sumersión, se utiliza el ventilador  $T$  cuando se navega por la superficie para inyectar aire al hogar de la caldera en que se quema carbón aplicándole el tubo móvil  $T^1$ .

Al funcionar el purificador, se encarga el ventilador de provocar una corriente de aire, tomándola de la caja  $R$  y ésta á su vez de proa por el caño  $R^2$ . Al llegar este aire á la caja recibe un chorro líquido alcalino inyectado por la bomba  $R^3$  que lo aspira del fondo de la misma caja  $R$ , mezclándose íntimamente con el aire, que absorbido por el ventilador lo restituye purificado á la cámara.

Cuando funciona el motor submarino, como el oxígeno se produce en la misma caldera de vapor, se dirige en el depósito  $G$  donde se lava pasando luego al purificador.

**EL MOTOR.-** *Motor superficial.-* Lo componen, el generador y la máquina de vapor ordinaria.

El generador es del sistema llamado tubular. Consta de dos cuerpos  $S, S^1$  (figura 1, lámina 1.<sup>a</sup>) El inferior  $S$ , es el cuerpo vaporizador: el superior  $S^1$  el depósito de vapor.

El cuerpo  $S$  es cilíndrico, compuesto de aros en bronce, susceptibles de pasar cada uno de ellos por la escotilla de entrada. Este cuerpo contiene el horno formado por una sección cilíndrica que contiene la parrilla, y á continuación un haz de tubos de 4 centímetros de diámetro interior, fácilmente desmontable, para poderlo limpiarlo del hollín y de las incrustaciones.

Los humos al salir de estos tubos, entran en otros dispuestos en hilera circular que los conducen á la cámara anterior que rodea la caja de fuego, escapando de allí á la chimenea  $S^2$  después de atravesado el depósito de vapor.

El cierre de esta chimenea es de llave cónica  $S^3$  y se opera desde el interior de la escotilla, por ruedas dentadas y la prolongación de su eje  $S^4$ .

El hogar se carga de coque por una tolva  $S$ , y por el cenicero entra la corriente de aire forzado.

El nivel del agua normal alcanza la parte baja del depósito de vapor, y para atestiguar su altura dispone el fogonero de tres indicadores; uno de llaves, uno de flotante, y uno de tubo de cristal.

El depósito de vapor  $S^1$  es un cilindro de sección elíptica (figura 4, lámina 2) construído de chapa de hierro y probado á una presión de 20 atmósferas. Está provisto de llaves de descarga á la atmósfera, de dos tomas para dar vapor á las máquinas motrices, y de dos manómetros metálicos.

Alimenta de agua á la caldera una bomba  $U^1$  inmediata á las bombas centrales figuras 1-2, lámina 1.<sup>a</sup> y un inyector Giffart. Aspiran el agua de una caja que recibe el agua del condensador.

La máquina motriz de la cual sólo hay figurado en los planos su emplazamiento y cigüeñal  $Z$  (figuras 1 y 2, lámina 1.<sup>a</sup>) es de dos cilindros montados á ángulo recto uno de otro, oscilantes por el centro, sirviendo ambos muñones de entrada y salida del vapor. La corredera es plana, susceptible de cambiar la admisión de vapor desde  $\frac{1}{2}$  á  $1\frac{1}{5}$ .

Dos contrapesos equilibran el cigüeñal, que enlaza con el eje  $K$  de movimiento por embrague de uñas.

La marcha normal de la máquina es de 80 vueltas por minuto moviendo todos los aparatos y la propulsión del buque á la presión efectiva de 4 atmósferas.

El condensador es tubular compuesto de dos cuerpos  $a$   $a^1$  montados en el exterior de la cámara entre cascos y en sitio donde pueden ser cubiertos siempre por el agua del mar que es la encargada de provocar la condensación. Los tubos de condensación son de latón, con 20 milímetros de diámetro interior, y 2 de pared, formando dos haces correlacionados.

Así la ida de vapor al condensador como su regreso después de condensado, pasa por caño de cobre atravesando la cámara por la bocina  $Z^1$ , y provistos de los convenientes grifos de descarga y válvulas de obstrucción.

El vapor condensado cae á una caja cerrada cuyo vacío sostiene la bomba de aire  $R^3$  y de cuya caja toman los aparatos alimenticios el agua de alimentación. A esta caja van á parar las purgas de las máquinas motrices.

Los aparatos de proa son también movidos por la máquina motriz convenientemente enlazadas con ella por embrague, ruedas dentadas, etc.; todas estas comunicaciones no se detallan por no ofrecer particularidad alguna.

Dos horas son necesarias para levantar vapor en la caldera y alimentar el pequeño motor de popa que mueve el ventilador  $T$ . En cuanto la inyección de aire alcanza la normalidad, la tensión del vapor sube en seguida y se mantiene sin grandes oscilaciones.

Pasemos á describir ahora las innovaciones introducidas en ambos aparatos motores para utilizarlos como aparatos submarinos.

El generador es el mismo. Sólo se le han añadido quince cámaras tubulares de 6 centímetros de diámetro interior y 1<sup>m</sup>50 de longitud, uno al lado de otro formando círculo concéntrico á la caja de fuego, y correlacionadas por sus bocas en el frontis de la caldera, por dos tubitos, que son los conductores de los productos de la combustión, á un depósito de absorción  $X^4$ .

En la parte exterior de la sección de popa, está una caja cilíndrica  $T^4$  que sirve para almacenar el oxígeno desprendido del fuego submarino, ú otros productos gaseosos en el caso de comburir mezclas que los den con alguna abundancia. Esta caja lleva una válvula automática de desahogo que se abre hacia fuera para dar salida á estos gases.

Si se almacena oxígeno sirve este gas para la respiración y para la alimentación de los faroles exteriores. Como el combustible submarino está en tubos, se pueden llevar en bastante cantidad y bien guardados, en una caja cilíndrica.

Ningún otro adherente es necesario á la caldera para sus funciones submarinas. En cuanto se da la orden de sumergirse, se cierra herméticamente el hogar del carbón, y la boca del cenicero por donde entra el aire del ventilador. Se obstruye la chimenea por la vuelta del grifo ya mentado; se cierran las dos entradas de aire, y queda la cámara completamente incomunicada con la atmósfera exterior, y en disposición de entrar en función el motor submarino. Se procura siembre, que en este instante la tensión del vapor esté un poco alta, para que su bajada no sea rápida. Inmediatamente se cargan las quince cámaras con 15 cilindros de

mezcla, pegándoles fuego uno á uno, y la vaporización continúa á expensas del nuevo combustible.

Se desembraga entonces la máquina motriz de proa  $Z$  pasando el vapor á alimentar la otra máquina de popa  $W$  que es la motriz mientras el barco anda sumergido.

Esta máquina es de un solo cilindro, puesta en el sentido longitudinal de la cámara con un pesado volante  $m$  en su eje para regularizar su movimiento.

La transmisión del movimiento de esta máquina al eje general  $K$ , se hace por rosca y rueda con su correspondiente embrague.

Las tapas de las cámaras de combustible, llevan cada una un grifo con un cristal por el cual se sigue la combustión de la mezcla. La sustitución del tubo quemado, se hace rápidamente, pues no hay más operación que la de abrir, quitar el tubo, poner otro, pegarle fuego al cebo, y cerrar la lapa con una brida de rosca de facilísimo manejo. Los tubos quemados se dejan en el depósito exterior  $F$ .

Así una como otra máquina motriz no pueden tener la distribución del vapor con el llamado cambio de marcha para cambiar el sentido de la revolución de la hélice propulsora, porque no permiten ese cambio de dirección los varios aparatos que mueve. Para el servicio de la hélice propulsora se ha dispuesto la transmisión por ruedas, cambiando la dirección de su movimiento, según reciba el movimiento por la de babor ó la de estribor, obteniendo por lo tanto el cia-boga con sólo un sencillo embrague.

En este mismo juego de ruedas, hay una contramarcha que permite obtener dos velocidades distintas en el eje del propulsor.

**VISIÓN EXTERIOR Y ALUMBRADO.-** Los miradores que hemos citado al describir el barco, y que ascienden á 19, están convenientemente distribuídos para dominar toda la sección proel y popel, que puedan interesar á la tripulación del Ictíneo.

La sección superior, está iluminada exteriormente por un farol  $J$ , (figura 1, lámina 1.<sup>a</sup>), de luz oxhídrica, giratorio. Éste ilumina con bastante claridad la proa del Ictíneo, creyendo, con fundamento, que habría bastado á iluminar los útiles dedicados á la extracción del coral.

En proa, hacia abajo por estribor, y en popa, hacia arriba por babor, hay otros dos faroles oxhídricos también, pero fijos.

El superior de proa, está compuesto de una caja cónico-esférica, cerrado por un cristal de igual dimensión y clase que los de los miradores. Componen la lámpara, un mechero de doble conducto, figura 9, lámina 3.<sup>a</sup>), el soporte del sólido  $c$ , y un reflector. Estos órganos son solidarios de un tubo de quita y pon, que permite arreglar convenientemente la posición respectiva del mechero, dentro de la cámara. Un sencillo movimiento de un sin fin hace á voluntad girar el farol alrededor de su eje.

El oxígeno se toma del depósito  $T$ , ó del generador de este gas, y el hidrógeno, desde el depósito  $J$  de popa, donde está comprimido, corre por un tubo exterior hasta el farol.

La iluminación interior de la cámara, se ha hecho siempre por velas de esperma.

**DETALLES DE ALGUNOS ORGÁNICOS ESPECIALES.**- Como no es posible detallar en los planos generales, los órganos de algunos aparatos importantes, daré aquí una descripción de los que más pueda interesar conocer.

En la figura 1, lámina 3.<sup>a</sup>, está representado el generador de oxígeno.

Dentro de un vaso resistente de hierro *G*, va otro vaso *d*, que es la retorta, donde se hace la descomposición del clorato de potasa. En *a*, está la mezcla de hierro y clorato, con su cabeza de ignición *i*, contenida en un pote de hoja de lata, dentro de otro pote *b*, conteniendo el clorato, mezclado con peróxido de manganeso.

El gas al salir, va por *t* á la caja *G*, obligándole á pasar por el agua que contiene en el fondo, en la que deja el cloruro de potasio, que lleva en suspensión.

La hinchazón *M*, del tubo *t* corresponde á la diferencia de presión entre la cámara *d* y el espacio libre del generador. Al disminuir la temperatura en *d*, los gases que contiene se contraen ascendiendo el agua hasta penetrar en *d*, si no lo evitase el mayor volumen de *M* que encuentra antes.

Por *e* se suelta el oxígeno, después de permanecer cinco minutos en la caja á una presión de dos atmósferas hacia el purificador.

La figura 6, de la misma lámina, muestra la disposición detallada del purificador.

*t t* es el tubo de aspiración de aire, que lo conduce á la caja cerrada *C* llena hasta su mitad de agua alcalina. Entre el grifo *e* y la tubuladura *f*, radica la bomba de inyección, que tomando el líquido de la caja, lo inyecta por *f*, entre la corriente de aire que llega por *t*, subdividiéndose este chorro en menudas gotas, que se mezclan con el íntimamente. El ventilador *V*, aspirando solo por la parte de la caja, toma el aire, arrojándolo otra vez á la cámara por su boca *S*.

Por la espita *O* llega el oxígeno puro, y la *G* sirve para cargar de líquido la caja.

La figura 7, es la botella de rectificación. Se llena la botella *g*, hasta su mitad de agua ó mercurio, introduciendo un tubo *a* de cristal graduado, cuya capacidad total y diámetro inferior, están relacionados con la graduación en céntimos de la capacidad.

Del tapón *t* pende un cestito *c* hecho de hilo de platino, en el que se coloca, cuando se dosa el ácido carbónico, una bolita de potasa cáustica mojada, y un terrón de fósforo cuando se va á dosar el oxígeno.

Si la tapa *t* cierra herméticamente, como se verifica en *c* una absorción, el líquido de la botella sube por el tubo graduado de una cantidad igual á la del gas absorbido.

El detalle de una de las quince cámaras del fuego submarino, está representado en la figura 2 de la lámina 3.<sup>a</sup> En el dibujo figura la cámara ú hornilla cargada de la mezcla en disposición de arder.

*C* representa el espesor del frontis del generador con el cual está unida la hornilla. La espita *O* es la de salida de oxígeno. La *D* la de salida de los gases que van al absorbedor. El tubo *t* de chapa muy delgada que conduce el oxígeno producto de la reacción, lleva un ajustaje cónico *n s* para aislar este gas, siendo el tornillo *r* la tapa por donde se echa la cabeza de ignición.



La rondela  $A$  es de arcilla refractaria y sirve de pantalla para defender del calor interior la testera de la hornilla que está en seco.

La espita  $E$  lleva engarzado un cristal por el cual se observa la marcha de la combustión en el interior de la hornilla.

En  $M$  está la mezcla comburente de zinc ó de hierro dulce.

La disposición del cilindro combustible está representada por la figura 3, en su parte más importante, que es la cabeza de ignición y el diafragma. Este es una cajita cilíndrica con tapa  $t$  taladrada en toda su superficie, y llena de arena fina. Este diafragma remata el tubo cuando está lleno de la correspondiente mezcla, siguiéndole la cabeza de ignición comprendida toda ella en otro vaso cónico  $c$  también de paredes perforadas.

Todo el espacio  $S$  está lleno de arena fina;  $a$   $b$  son las mezclas que sirven de cebo, y la mecha  $i$  fuertemente cloratada para pegar fuego á los cebos.

La caja de absorción de los gases la representa la figura 5.

La caja  $C$  de hierro está herméticamente cerrada, recibiendo por el caño  $d$  los gases producto de la combustión del combustible submarino.  $M$  es el manómetro indicador de la presión. Lleva en su parte baja un eje  $a$  armado de paletas y cerrado por caja de estopa, que movido por la transmisión agita el líquido alcalino. La espita  $C$  es la de carga de este líquido y el  $v$  el de descarga. Por  $g$  escapa el oxígeno que es conducido al purificador como ya se ha explicado, recibiendo allí un nuevo lavado.

En la figura 9 se detalla el mechero de luz oxhídrica en sección, y relacionado con el sólido que recibe la corriente de los dos gases.

La corredera del Ictíneo viene representada por la figura 10. La canal  $C$ , de chapa de hierro abierta, tiene un metro de longitud, 60 centímetros de diámetro, agrandándose cónicamente sus dos extremos para favorecer la entrada y salida del agua. Esta canal está fuertemente montada y amparada en la cubierta del barco.

Coincidiendo con su eje, va el del molinete de tres palas, de 30 centímetros de diámetro, girando en un plano paralelo á la sección transversal del Ictíneo.

El movimiento de las palas se traslada al interior de la cámara donde se registra en un disco, por un tornillo  $T$  sin fin y rueda helizoidal  $R$ , cuyo eje atraviesa la pared de la cámara por caja de estopa.

La figura 4 de la misma lámina representa el generador de gas á presión para la vejiga natatoria, que en los últimos tiempos de los ensayos, ideé para sustituirlo al aire comprimido.

Este aparato va á bordo de una lancha, pues sólo funciona cuando por algún accidente se pierde la presión en las vejigas.

Se compone de un cilindro generador  $B$  y un lavador  $L$  inmergidos en una caja  $n$  llena de agua que hace la acción de refrigerar los dos cilindros durante la operación.

$P$  es un pote de mezcla combustible lleno de ésta en sus dos terceras partes. La tapa  $C$  sólo sirve á contener el óxido de sodio que se volatiliza dejando libre salida á los gases.

Cuando el manómetro  $M$  indica en los gases haber alcanzado la presión necesaria á las vejigas, se abren las espitas  $E$   $E^1$  con rapidez. El lavador  $L$  lleva agua hasta su mitad, en la cual, los gases conducidos por el tubo  $t$  dejan la sosa cáustica y el ácido nítrico que pueden llevar consigo, y por el  $T$  pasan á las vejigas de presión.

Por  $p$  se limpia el caño después de hecha la operación.

Tres son los útiles destinados á la recolección del coral que no figuran sino ligeramente indicados en la sección longitudinal del buque, figura 1.<sup>a</sup> (lámina 1).

En  $P^3$  hay la pala para recoger el coral *mulé* de la cual sólo se ven los órganos de su movimiento. La pala de largo mango, está acuñada á 90 grados con el eje inferior. Describe más de media circunferencia, dragando el fondo del mar y elevándose para dejar sobre cubierta el contenido que cae por su peso en una caja.

En  $P^4$  está la cuchilla para cortar el coral vivo. La cuchilla es horizontal de 3 metros de longitud, sostenida y guiada por un caballete que se eleva sobre el casquete miranda de proa. Una red en forma de bolsa recibe los cuerpos que corta.

Uno y otro aparato funcionan, como se comprenderá, á mano, y aunque fueron montados en el Ictíneo, se desmontaron los órganos exteriores, desde los primeros meses para que no estorbasen en los estudios y ensayos á que se dedicó el buque.

Era el tercer aparato el órgano especial de presa, que representa la figura 8 de la lámina 3.<sup>a</sup>

Un caño cónico  $C$  fijo en la pared de la cámara podía comunicar con el mar por un grifo  $L$ . Por su interior baja una caña  $C$  armada de pinzas  $P$  en su extremo inferior, que se abren y cierran desde la cámara por la varilla  $n$  interior aterrajada con el volante de mano  $V$ . La tapa  $T$ , guía la caña  $e$  por la caja de estopa  $E$ , y dos cristales  $m$  permiten dirigir las pinzas hacia el objeto que se trata de coger.

Citando las pinzas con el objeto cogido, se hallan en la cámara cónica, se cierra por el tornillo  $t$  y la llave  $L$  su comunicación con el mar, y levantando la tapa  $T$  se extrae de las pinzas el objeto prendido de ellas.

La figura 11 es la copia de cuatro pruebas fotográficas tomadas de los cilindros arqueados á que me refiero en el capítulo *Resistencia de los Ictíneos á la presión. - Resistencia de los cilindros arqueados*.

**CAÑÓN Y TORPEDO.**- El segundo Ictíneo, entre los varios ensayos que llevó á cabo, cuenta el que ejecutó con el cañón, que con carácter provisional se instaló en él.

La importancia técnica de este ensayo, que hasta la hora presente no cuenta con antecedente alguno, justificará mi empeño en dar á conocer la disposición que ideé para cargar y disparar un cañón cubierto por las aguas.

El cañón que, repito, se instaló provisionalmente á bordo, ocupaba el lugar de la caja  $F$  que sirve de depósito del combustible submarino.

En la sección transversal de la figura 6, lámina 2.<sup>a</sup>, está figurado todo el mecanismo con el cañón boca arriba en disposición de disparar.

La figura 7 que le sigue es un corte transversal del mismo, pero con el cañón boca abajo, en disposición de cargar.

Constituían este mecanismo, dos cuerpos: el cañón con la cureña en el exterior de la cámara, y un gato con un manguito de cierre en el interior.

Con decir que el cañón se cargaba puesto de boca á la cámara, se deducirá en seguida la maniobra y el mecanismo.

Una gran caja de estopa fuerte en la pared de la cámara daba paso al manguito 2 que ascendía y descendía por el cric ó gato 5 6 del cual dependía. Para cargar, subía el manguito á juntarse con la boca del cañón en la disposición que marca la figura 7, hasta hacer la unión de ambas bocas, impermeable. En este estado, levantábase la válvula 3 del manguito, vaciándose el agua contenida en el alma del cañón y del manguito, que un tubo de goma conducía á la caja de lastre. Limpiada el alma, se cargaba desde la cámara; volvía a cerrarse la válvula 3 bajábase el manguito 2 por medio del gato 6 hasta descansar sobre el estopenco; y por una rueda y vis-sinfin que se movía desde dentro, giraba el cañón 1 hasta cerca la posición vertical. En la recámara, llevaba un martillo 11 encarrilado en dos guías 9 que pegaba contra el fulminante del proyectil al caer de ellas.

Esta operación se repetía á voluntad sin necesidad de aparecer nunca á la superficie del agua.

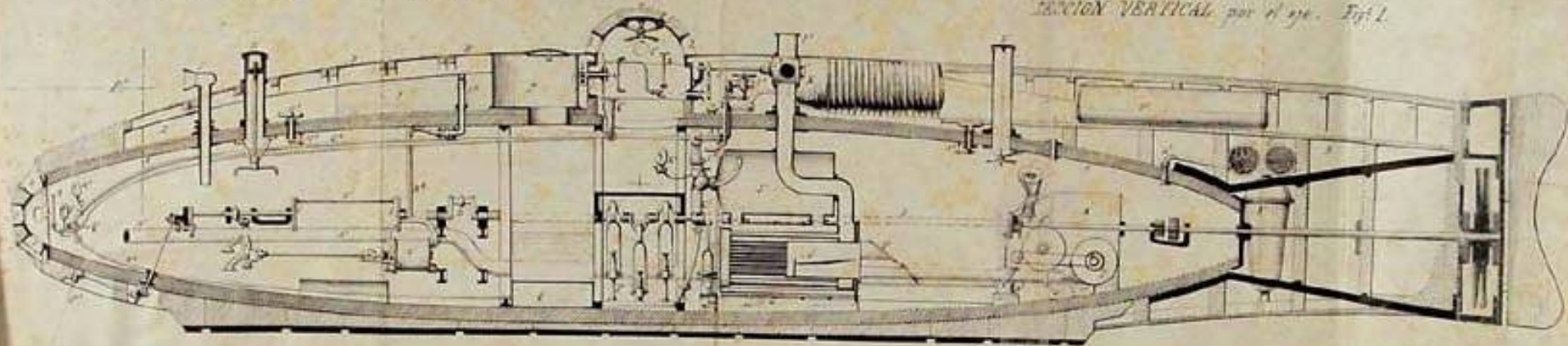
En la lámina 2.<sup>a</sup> está indicada la forma del torpedo-cohete que tenía dispuesto para ensayar, y que desistí en vista de no haber llamado la atención del Gobierno los ensayos de cañón verificados con tanto éxito dentro del puerto de Barcelona.

La parte esférica es el verdadero torpedo. La impulsión motriz debía recibirla de un haz de cohetes alojados en el cilindro posterior á la esfera. El conjunto estaba convenientemente lastrado para mantenerse en la cara de agua, y dos timones ó aletas verticales fijas, debían conservar la dirección durante el recorrido.

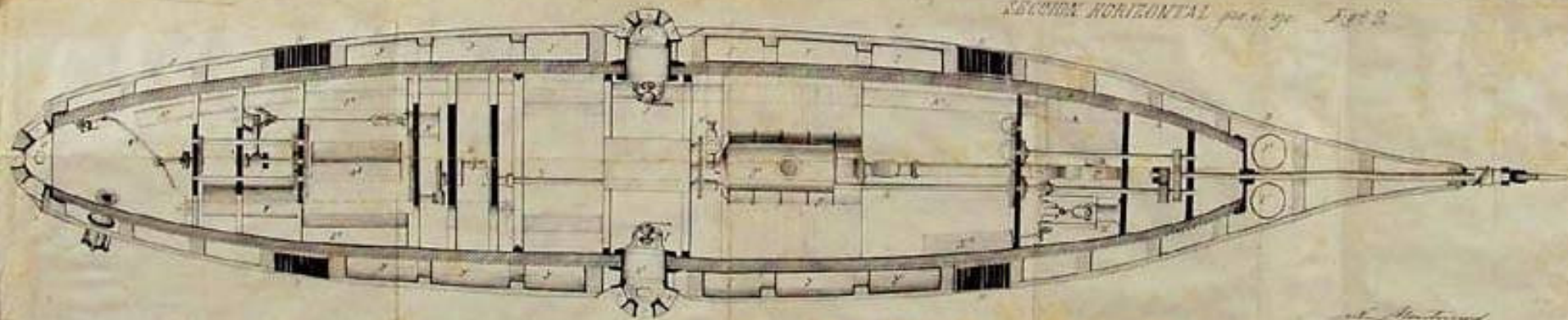
TABLE

# ICTINEO-MONTURIOL

SECTION VERTICAL par el eje. Fig. 1.



SECTION HORIZONTAL par el eje. Fig. 2.

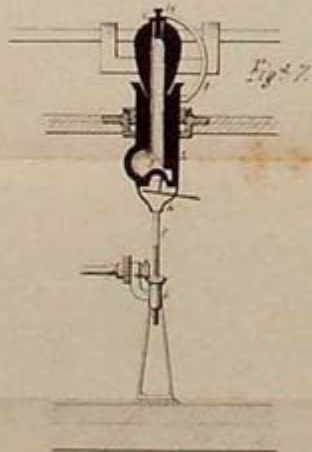
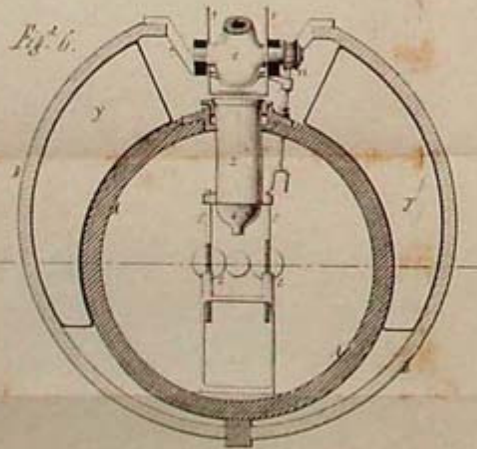
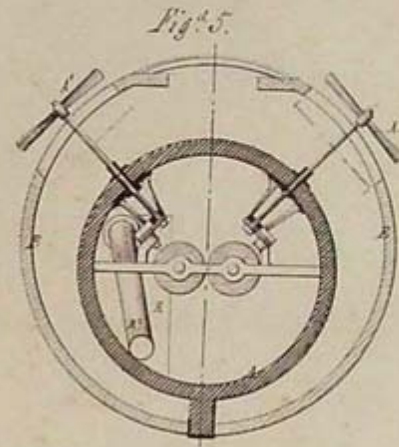
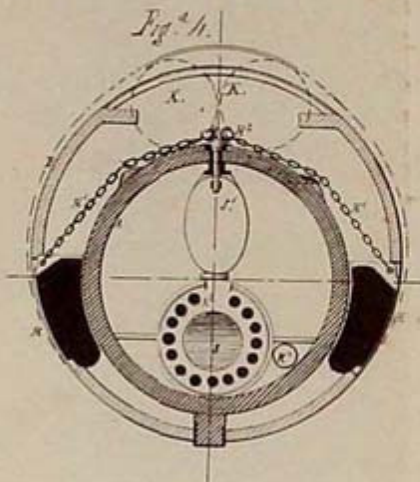
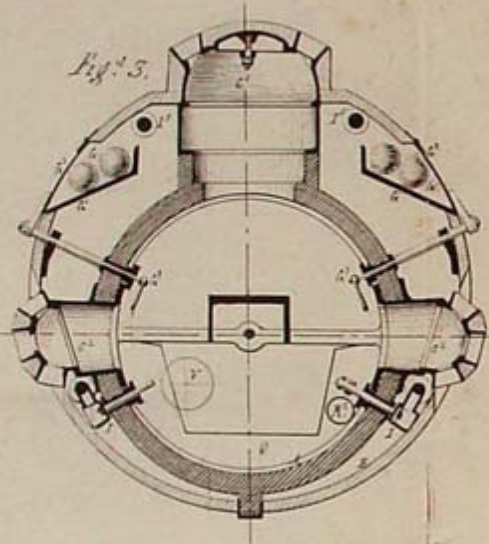


Escala

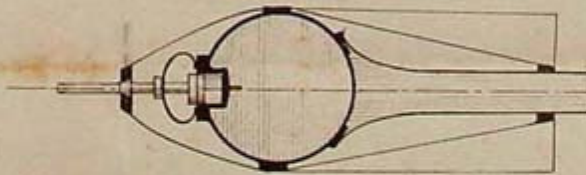


*at Monturiol*

SECCIONES TRANSVERSALES.

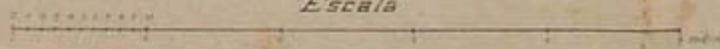


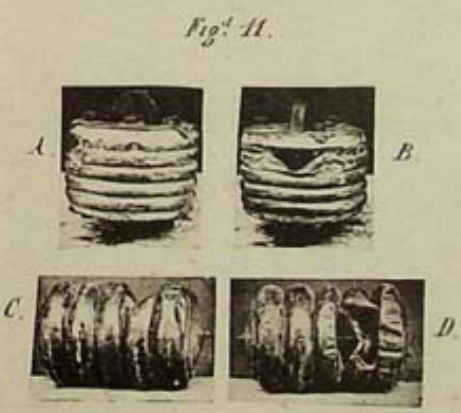
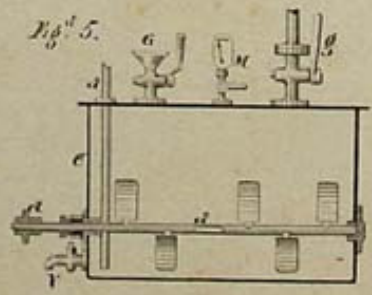
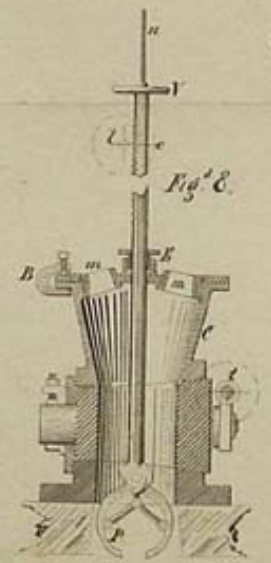
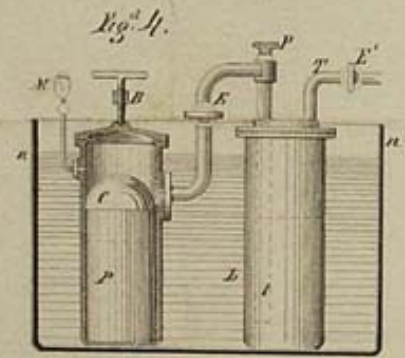
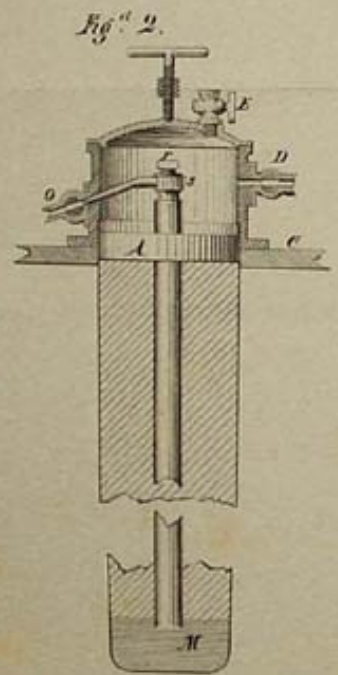
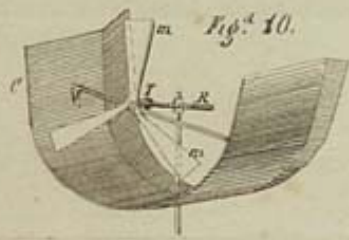
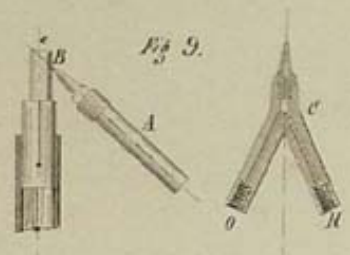
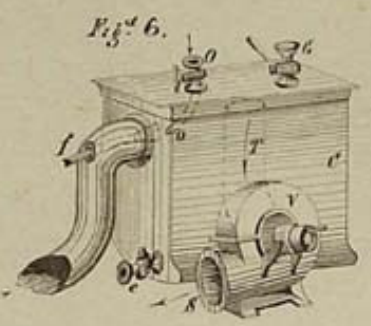
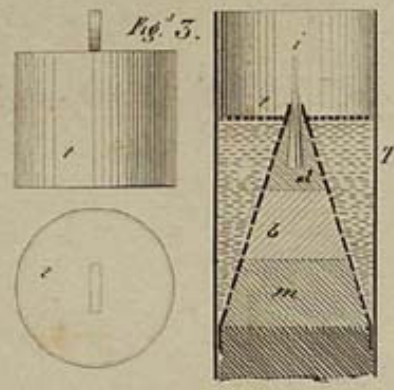
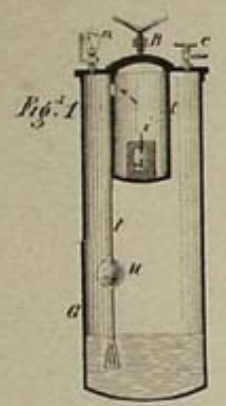
Torpede-cohete.



A. Montecorvo

Escala





# Notas

1

Memoria sobre la navegación submarina. (Mayo, 1800.)

2

Á la Prensa periódica. (Mayo, 1861.)

3

Los empleados de la gerencia de la *Compañía Trasatlántica de Barcelona*.

4

Del relato del ensayo oficial que hizo el periódico *La Verdad*, de Alicante, en el número de 11 de mayo de 1861, extractamos los siguientes párrafos:

«Las olas se elevaban a tan grande altura que algunas llegaron á cubrir la punta del muelle, en donde había una inmensa muchedumbre; los botes y falúas con gran trabajo podían mantenerse de proa á la mar; las aguas siempre transparentes de la bahía de Alicante estaban del todo turbias; la mar era de fondo y el viento de levante. El ICTÍNEO, sin embargo, siguió majestuosamente el camino que se le había señalado, sin torcer el rumbo, ya apareciendo a la superficie por un instante, ya sumergiéndose y navegando ora entre dos aguas, ora por el fondo.

»La comitiva que presenció la prueba, tuvo que retirarse después de luchar una hora contra la agitación de las aguas; sin embargo el ICTÍNEO siguió navegando y virando por la vuelta de levante, entró otra vez en las aguas tranquilas del muelle; y saliendo pausadamente á flote, se vió abrirse la espalda del pez, y aparecer sucesivamente los cinco valientes tripulantes del ICTÍNEO, en cuyo aspecto no se veía indicio alguno de que hubiesen permanecido tres horas ajenos á la atmósfera natural».

5

Debo hacer una excepción. *La Revista General de Marina*, en el cuaderno de enero de 1889, en una historia de las tentativas submarinas presenta la del ICTÍNEO como una de las más notables, deduciéndolo de los alcances que revelan sus principales ensayos.

La reconocida autoridad científica de la *Revista*, da mucho valor a esta opinión.

6

El Plongeur de Bourgeois llevaba como motor 150 metros cúbicos de aire comprimido á 12 atmósferas, respondiendo á un radio de acción de 8 millas. El submarino de Nordenfeld, con 8 toneladas de agua recalentada, recorrió una distancia de 14 millas.

7

Mrs. Ledieu y Cadiat. - *Le nouveau materiel naval*, 1890.

8

El ICTÍNEO de ensayo hizo uso de este procedimiento en todos sus ensayos públicos.

9

Montgéry, además de *Traité de fusées de guerre (précédé d'une notice sur la vie de Fulton)*, ha publicado artículos históricos sobre las máquinas en que el fuego es empleado de una manera cualquiera, que F. Arago encomia y extrae alguna noticia en su opúsculo sobre las máquinas de vapor. Montgéry es un erudito en quien se puede tener confianza, y por merecer Fulton la de Montgéry en navegación submarina no he dudado en reconocer á Fulton como iniciador en un arte, superior á los hombres de su tiempo. A propósito de Fulton podríamos decir lo que dice Arago en ocasión del cilindro de la máquina de vapor, inventado por Papin: *L'homme de génie est toujours méconnu quand il devance trop son siècle dans quelque genre que ce soit.*

10

*Armes de jet*, par Scoffern, traduit de l'anglais.- París, 1863.

11

En el ataque, del fuerte, Sumter, en 7 de abril de 1863, los monitores federales *Veehawken*, *Passaic* y *Nantucket* á consecuencia de haber recibido balazos en las uniones de las torres con la cubierta, quedaron inutilizados los movimientos de aquéllas y por consiguiente sus cañones.

12

*Traité des fusées de guerre*, par Montgéry, capitaine de Frégate.- París, 1825.

13

*Histoire naturelle du corail*, par Lacaze-Duthiers.- París, J. B. Bailliére et Fils. 1864.



## 14

Entresacado de los párrafos 713, 724, 682, 683, 687 y 707. - *Geographie physique de la mer*, par Maury; traduit par Terquem. - Paris, librairie militaire, 1861.

## 15

Algunos electricistas opinaban que sometido un cable á una presión de cinco mil libras por pulgada cuadrada, el agua penetraría en el interior del cable destruyéndolo. La experiencia ha probado que la conductividad del cable ha ido en aumento después de haberlo sujetado á una presión equivalente á 21/4 millas de profundidad en el mar. Los experimentos se han hecho en la grande prensa hidráulica de Reid, capaz de ejercer una presión de diez mil libras por pulgada cuadrada, en Londres Warf-road. (*Les mondes*, tom. II, 1.<sup>re</sup> livraison, pag. 5.-París.)

## 16

*Histoire des travaux de Georges Cuvier*, par P. Flourens.- Paris, Garner frères, 1858.

## 17

*Ensayo de estática química*, por M. M. Dumas y Boussingault, traducido por don Ramón Torres Muñoz. - Madrid, 1846.

## 18

Véase, en la segunda parte, *Complementos á la Respiración*.

## 19

Memoria sobre la navegación submarina.- Barcelona, 1860.

## 20

En los casos que, estas circunstancias, se ha abierto la escotilla, daba ya una explosión sorda, se formaba en la cámara una verdadera niebla á través de la cual la luz solar aparecía roja, y los rayos inmediatos al borde de la escotilla de hierro eran irisados de carmesí y azul: la detonación arrojaba á dos metros de distancia una menudísima lluvia que impresionaba los rostros de las personas que la recibían.

## 21

Véase el capítulo de la segunda parte titulado: *Complementos á la Respiración*.

22

Véase *Theorie chimique de la combustion de la poudre*, par R. Bunsen et L. Schischkoff, traduit par M. A. Terquem-Paris, Corréad libraire, 1859.

Un kil. de pólvora produce un trabajo teórico de un caballo de vapor durante quince minutos.

23

*Traité de Physique*.- París, Dezobry et E. Magdelaine, 1864.- Tomo I, pág. 600.

24

La teoría del zoólogo Carlos Darwin, autor del admirable libro *Origen de las especies*, que acompañó al capitán Fitzroy, de la marina real inglesa, en su viaje de circunnavegación desde 1832 á 1836, explica todos los hechos de las islas formadas por los corales, entrando en esta explicación los levantamientos y hundimientos geológicos. «Una circunstancia, dice Humbolt (*Cosmos*, t. IV, pág. 441), digna de ser notada, y que está acorde con la observación, es que los animalillos del coral evitan la vecindad de los volcanes activos, y aun la de aquellos que han dejado de serlo de poco tiempo, como puede verse en el archipiélago de Tongo, en donde abundan las rocas madreporicas, y, sin embargo, Tafoa y el como de Cao no contienen absolutamente de esta clase de rocas. (Veáse *Darwin Structure of Coral Recfe*.)»

25

*Historia natural*, tomo VII.- Madrid, 1857.

26

*La plante et sa vie*, par Schleiden.- Bruselas, 1859.

27

Desde los desgraciados hermanos Costereal (1500), Hudson, Juan Munk (1610) hasta John Franklin (11 junio 1847), que buscaron el paso del Noroeste del Atlántico al Pacífico, encontrado por Mac-Cloure (1851-1853) hasta hallar la mar libre y que Kane encontró en 1854: estos mares y estas tierras fueron la tumba de millares de bravos marinos.

28

*Recherches sur le mouvement des ondes*, par Bremontier.- París, 1860.

*Du mouvement des ondes*, par Emy.- París, 1831.

Sobre esta cuestión podrán consultarse útilmente Newton, Lagrange, Airy y otros que cita Flachat en la obra *Navegación transoceánica*, París 1866, de la cual extracto las siguientes notas:

Lagrange:--- de manera que si la observación dada á conocer la distancia (en profundidad) á la cual el movimiento es insensible, la velocidad de la propagación de las olas en la superficie, sería proporcional á la raíz cuadrada de esta distancia; y recíprocamente, si esta velocidad es medida directamente, se podrá deducir la pequeña profundidad á que llega el movimiento.

Poisson: -Las cosas no pasan de esta manera, por respecto á la transmisión del movimiento, en el sentido vertical. En efecto: el movimiento en este sentido, no es bruscamente interrumpido: las velocidades y las oscilaciones de las moléculas disminuyen á medida que uno se hunde debajo de la superficie; y la distancia á la cual se puede mirar como insensible, admitiendo por un momento que sea muy pequeña, no es una *cantidad determinada* que pueda entrar, como se supone, en la expresión de la velocidad en la superficie.

Los espacios que recorren las moléculas del interior del fluido, situadas debajo de la conmoción primitivamente producida, decrecen según la razón inversa de la profundidad ó su cuadrado, según si el fluido es contenido ó no en un canal; de suerte, que á muy grandes distancias del sitio de la conmoción, el movimiento debe ser más sensible en la superficie que en la masa fluida. Sin embargo, la ley del decrecimiento en el sentido de la profundidad no es en tanta manera rápida que el movimiento no pueda todavía hacerse sentir á grandes profundidades.

Canchy:--- mientras que una ola se aleja del centro de movimiento, á distancias crecientes como los cuadrados de los tiempos, sus alturas decrecen en la misma razón. De esta ley se sigue, que cada ola, a medida que avanza, gana en ancho lo que pierde en altura; de suerte, que el volumen del fluido que encierra queda constante: siguese también, que dentro de un tiempo muy corto, se extiende y se aplasta, hasta llegar á ser insensible.

Esta base que se me ocurrió al tratar del estudio de las olas en 1860, se ha ocurrido igualmente al citado ingeniero Flachat, en 1866 al tratar igual asunto, referido al estudio de las resistencias que ofrece el mar á la navegación flotante.

He aquí cómo Golberry describe el huracán ó tomados que ha observado en Sierra-Leona, según Carlos Romme, autor de los *Cuadros de los vientos, de las mareas y de las mareas y de las corrientes; del Arte de marina, del Arte de la arboladura y velamen, de la Ciencia del hombre de mar*, etc.

«En el cielo, que poco antes era transparente y la atmósfera en completa calma, aparece una nube de firma circular, y de un diámetro aparente de 5 ó 6 pies. Luego el aire se agita, las hojas, las hierbas son levantadas del suelo y giran circularmente como el viento. La nube que poco antes se veía en las más elevadas regiones de la atmósfera, se hace mayor y más densa, y cubre una gran parte del horizonte. Entonces el remolino aumenta, su velocidad crece y su violencia es espantosa: rompe

los árboles ó los arranca de cuajo; derriba las casas, y los barcos anclados en los alrededores son arrojados los unos encima de los otros, y después de una duración de quince minutos, el tornados concluye por un aguacero.»

**33**

*Nuevo tratado de la Ley de las tormentas y vientos variables*, por Reid, traducido por el brigadier de la Armada Vizcarrondo. - Cádiz, 1853.

**34**

*La aguja de las tormentas*, traducido por D. Miguel Lobo, brigadier de la Armada. - Barcelona, 1856.

**35**

*Essai sur les ouragans*, par Lartigue, capitaine de Vaisseau. - Paris, 1858.

**36**

Pongo por ejemplo dos de estos huracanes:

El que sopló desde el 12 de octubre de 1780 al 18 del mismo mes, llamado el gran huracán. Las longitudes se hallan referidas al meridiano de Londres. Las latitudes son boreales.

Empieza longitud  $58^{\circ} 20'$ , latitud  $12^{\circ} 30'$ ; ya á parar á la misma longitud pasando por Puerto-Rico y Haití, y alcanzando el seno parabólico la longitud de  $70^{\circ}$ . La extensión de la curva es de 4.200,000 metros y la velocidad de 8 por segundo.

El de 6 de octubre de 1846 al 14 del mismo.

Empieza á ser observado á longitud  $78^{\circ}$ , latitud  $14^{\circ}$ ; y va á parar a longitud  $62^{\circ}$  y latitud  $53^{\circ}$ , esto es, en Labrador, empezando en Cartagena.

La curva alcanza  $83^{\circ}$  longitud, pasando por Florida, Charleston, Nueva York, etc., cuyas ciudades tienen el focus al O. La extensión de la curva que recorre, en los seis primeros días es mayor de 2.100,000 metros, y su velocidad es de 4 por segundo; y la extensión que tiene la curva en los dos últimos días 13 y 14 es de 2.700,000, y por lo tanto, tuvo una velocidad de 15 metros por segundo; siendo mayor en el último día 14, que es una curva de 1.600,000 metros y que es por segundo de unos 20. Es decir, que empieza con una velocidad de 4 y acaba por una de 20 por segundo.

**37**

Paris, 1856.

*Manuel de la navigation dans le détroit de Gibraltar*.- París, 1857.

Respecto á las resistencias que encuentran los buques en su marcha, he aquí lo que dice John Bourne, ingeniero de la marina de guerra inglesa, en su *Tratado de los propulsores*

«D. Jorge Juan, uno de los autores más sabios que hayan tratado de Arquitectura naval y cuyas obras son poco conocidas en este país (Inglaterra), ha recapitulado los errores de los escritores precedentes (entre ellos el célebre Newton), para establecer en seguida una nueva teoría de la resistencia de los fluidos, que esta en perfecta armonía con los principios conocidos de la ciencia. Este sabio autor deduce también de su teoría que los barcos pueden no solamente andar tan velozmente como los vientos, si que también más rápidamente: resultado que se obtiene algunas veces como saben los marinos.»

He aquí cómo se expresa D. Jorge Juan:

«Por esta nueva theórica las resistencias son como las densidades de los fluidos, como las áreas chocadas, como las raíces cuadradas de sus profundidades en los mismos, y como las simples velocidades, y senos de incidencia con que se chocan. Pero no es esto aun el todo, porque éste es sólo el caso en que la superficie esté enteramente sumergida en el fluido, y que la parte anterior del cuerpo sea semejante á la posterior: cuando hubiere parte de aquella fuera, resulta una nueva cantidad en la resistencia, que no tiene dependencia alguna con el área chocada, y que sólo resulta de la velocidad; pero no es como las simples velocidades, ni como sus cuadrados, sino como sus cuadrados-cuadrados. En ocasiones resulta también otra tercera cantidad, que es como los cuadrados de las velocidades y como las superficies chocadas, que corresponde precisamente al caso que hasta ahora se ha dado: y aun en otras, otra cuarta, que ninguna dependencia tiene de las velocidades, sino sólo de las áreas chocadas, en general las resistencias, según esta theórica, dependen de cuatro cantidades distintas de las, de las cuales, según las ocasiones se desvanecen algunas, y por dicha, para el asunto de la marina que nos proponemos, quedan de ordinario en sólo una, que es la primera de las referidas; aunque en las ocasiones de muchísima velocidad no podemos excusar el hacer atención á la segunda: por lo que toca á la tercera, única de que se ha hecho caso hasta el presente, es por lo ordinario inútil».- Examen marítimo theórico práctico ó tratado de *Mechánica aplicado á la construcción, conocimiento y manejo de los navíos y demás embarcaciones*, por D. Jorge Juan.- Madrid, 1770.

Continuaré dos experimentos bien observados:

1.º Una pieza de pino, dicho de Flandes, sin resina, que mojada por las lluvias tuvo una densidad de 0'603, sumergida durante diez días á doce metros de profundidad en el mar, adquirió la de 0'845.

2.º Otra de pino del país, algo verde, siendo su densidad 0'8145, después de estar 24 horas á una profundidad de 112 metros adquirió la de 0'9022.

**41**

Las suelas de los émbolos y las estopas de las cajas absorben una cantidad de trabajo que Langsdorf expresa por la siguiente fórmula:

$$n D H;$$

D, diámetro del émbolo en metros;

H, presión del agua sobre el émbolo, expresada en metros de altura;

*n*, coeficiente igual á 7 por el cilindro de bronce pulido; á 15 por el de hierro colado alizado al torno: á 25 por el de madera pulida, y á 50 desgastada por el uso.

**42**

Résistance des matériane, par Arthur Morin, tome premier, pages 195, 207. Troisième edition. Paris.- Librairie de L. Hachette et C<sup>ie</sup>, 1862.

**43**

*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*- 30 novembre de 1868.

**44**

*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 16 novembre 1868.

Lochkier dice que la capa de hidrógeno está perfectamente terminada.

**45**

*Annales de Chimie*; mars 1868.

**46**

*Annales de Chimie*, 4<sup>o</sup> serie: tom. XIII, page 474.

**47**

Id. 475.

48

*Etudes sur les fonctions des feuilles*, par Boussingault - *Annales de Chimie et de Physique*; mars 1868.

49

Véase: *Influencia de los diversos rayos colorados sobre la descomposición del ácido carbónico por las plantas*, por M. Luis Caillet; y las *Investigaciones sobre la materia colorante verde de las plantas*, por Filhol. - *Annales de Chimie et Physique*, 4<sup>o</sup> série, tom. XIV.

50

*Comptes rendus de l'Académie des Sciences* agosto de 1869.- Según los experimentos de Faminzin citados por *Wan Tieghem*, Prillieux, y otros últimamente verificados, parece fuera de toda duda que la luz artificial, importa poco su origen, es á propósito para continuar en las plantas la acción reductriz de la luz solar.

51

*Ensayo de Estática química*, obra citada en la Primera Parte.

52

*Traité de Chimie*, par Frémy et Pelouze.- Paris, 1865.

53

Este fenómeno de producción de calor por las reacciones químicas que tienen lugar en el animal es debido á reacciones más complexas de las admitidas por Lavoisier. Las sustancias animales que arden per medio de la respiración están formadas de carbono, de hidrógeno, de ázoe y de oxígeno; la cantidad de calor admitido en esta combustión es á todas luces diferente de la que producirían los mismos elementos ardiendo en estado de libertad; además una parte de las animales es excretada - (urea, ácido úrico). *Frémy y Pelouze*.

54

*Tratado completo de química*, de Thénard, traducción española.- Paris, Lecointe, 1836.

55

*Comptes rendus de l'Académie de Sciences*, 4 fevrier, 1867.

56

*Cosmos*, 31 de marzo de 1864, pág. 386.

57

Esta figura pertenece á la *Memoria sobre un Ictíneo-militar*.

58

Para la maniobra de carga y disparo del cañón del Ictíneo, veáse la tercera parte.

59

«Ya á fines del siglo último, un ilustre general español, Comisario general de artillería, el Sr. Rovira, había inventado cañones de sistema enteramente igual á los que después presentó el coronel francés Paixhans. Mas el poco peso de las piezas y algunos pequeños inconvenientes, afectos á los bordes de la recámara; y más que todo, fuertes rivalidades, y nuestro natural abandono, hicieron que los cañones quedasen desechados para el armamento de los buques, con lo cual se dió lugar á que un extranjero viniese, 25 ó 30 años después á demostrar la conveniencia y utilidad del sistema.» - *Miguel Lobo*, jefe actual (1869) de la escuadra del Pacífico; artículo inserto en la *Crónica Naval de España*, tomo V, página 670 y siguientes. - Madrid, 1857.

Parece que el cañón Paixhans de á 8 pulgadas, ensayado en Brest, en 1824, á causa de los muchos defectos de construcción, estuvo á punto de ser abandonado. Sin embargo, se reconoció la ventaja de los tiros horizontales de bomba y obús dirigidos contra navios. En honor de la verdad, debemos decir que los americanos fabricaron un gran número de proyectiles Ictíneos ovalados desde 1815, destinados á ser lanzados por los cañones ordinarios, lo cual se parece bastante al sistema Paixhans.

En el sitio de Cádiz, los mismos franceses arrojaban ya obuses sin boquilla, con cañones de un ánima que tenía de largo 8'25 diámetros. (Vallejo, *Mecánica práctica*.- Madrid, 1815, pág. 120).

60

*Breve reseña de las pruebas verificadas en la fábrica de Trubia, desde el año de 1850 hasta mayo de 1857*, por José Rivera.

61

Lectura del capitán de fragata Robert Scott, de la marina real inglesa, en el *Royal united service Institution*, mayo de 1861.



Antes de hablar de los errores de puntería del formidable cañón Big-will, tipo de los grandes cañones Armstrong, voy a dar sus dimensiones y oficios:

Su calibre es de 33<sup>cm</sup>78; su longitud total 4<sup>m</sup>66 y su peso 22 toneladas métricas; es calificado de á 600 libras; ánima rayada, el proyectil entra en ella siguiendo una estría y sale frotando en otra más estrecha.

Tira el obús ordinario de 0<sup>m</sup>77 de largo que contiene 21<sup>k</sup>319 de pólvora;

obús de segmentos pesando cada uno 0<sup>k</sup>227 que son dispersados cuando revienta por una carga de 6<sup>k</sup>804: va con espoleta ordinaria ó con la de percusión;

proyectil lleno de hierro colado;

obús de acero con carga de 10<sup>k</sup>886; éste es el que atraviesa las corazas;

obús de acero lleno de hierro colado en fusión, que puede ser empleado contra las corazas:

Si tira á 23° sobre el horizonte, alcanza del primer bote 6,766 metros y emplea 26"2 en el trayecto.

A 3° de inclinación las velocidades, á determinadas distancias de la boca del cañón, han sido las siguientes:

Distancias en metros: 36 485 914 1372

Velocidades en metros: 378 357 341 391

Acostumbrados los artilleros á esta pieza, tiran á razón de 3 minutos 3/4 limpiando á cada tiro el cañón, colocando de nuevo la cureña en su sitio, y dando la puntería en altura.

Promedio de errores á 5°: en distancia 23<sup>m</sup>8, en desviación lateral 0<sup>m</sup>7.

Promedio de errores á 10°: en distancia 49<sup>m</sup>4, en desviación lateral, 2<sup>m</sup>6.

Con un proyectil de acero de peso 273<sup>k</sup>5 ha atravesado á la distancia de 3658 metros una lámina de 16<sup>cm</sup>51 de hierro aplicado á un muro de madera de 45 centímetros.

A la distancia de 183 metros con un proyectil esférico de 156 kilogramos atravesó una lámina de 28 centímetros.

El prisma que sirve de lente y de reflector á la vez, dispuesto por Ch. Chevalier.

Esta descripción y legendario á que se refiere el autor forma parte de otra *Memoria* suya sobre un *Ictíneo militar* que no se ha publicado aún.

65

*Formules relatives aux effets du tir sur les differentes parties de l'affût*, par S. D. Poisson, membre de l'Institut. 2<sup>o</sup> edition, imprimée par ordre de M. le Ministre de la Guerre. Page 66. - Paris, 1838.

66

El examen, dice, y la discusión de las tablas de tiro de un gran número de proyectiles semejantes por su extremidad anterior; pero muy diferentes por los diámetros, los pesos y las velocidades, me han permitido descubrir la influencia particular de cada uno de estos elementos, sobre las *cajitas* ó las alturas máximas de las trayectorias de igual alcance sobre las líneas de mira horizontal... La relación general en los flechas F, F<sub>o</sub> de las trayectorias de igual alcance de dos proyectiles de diámetros 2R, 2R<sub>o</sub>, de pesos P, P<sub>o</sub> y de velocidades iniciales V, V<sub>o</sub> se anuncia de la siguiente manera:

«Las flechas de las trayectorias de igual alcance de dos proyectiles anteriormente semejantes son proporcionales á los diámetros y en razón inversa de los productos de las raíces cuadradas de los pesos por las velocidades iniciales. Esta está analíticamente representada por la fórmula muy simple

$$\frac{F}{F} = \frac{R V^2 \sqrt{P}}{R_o V_o^2 \sqrt{P_o}} \gg$$

67

*Etudes sur l'Artillerie rayée de Marine*, par Aloncle, ancien élève de l'école polytechnique, capitaine d'Artillerie de la Marine; pages 202 et 225. - Paris (sans date).

68

*Cours de Balistique á l'Ecole d'application de l'Artillerie et du Génie*, par Bertout, officier d'Artillerie.- Obra autografiada que se encuentra en la Biblioteca de la Maestranza de Barcelona.

69

Los cohetes se conocen desde la más remota antigüedad en China é India. Entre las obras antiguas que describen el cohete, se encuentra el libro titulado: *Plática manual de Artillería*, compuesto por Luis Collado, ingeniero de Carlos Quinto, impreso en Milán en 1592. Cuando escribía este tratado en 1586, los cohetes servían para iluminar los alrededores de las plazas situadas y contra la caballería en combates campales. Collado pretendía armarlos de petardos y lanzarlos, como se hace ahora, á favor de un largo tubo, á fin de aumentar su alcance.

**70**

*Cours de physique experimentale*, traduit l'anglais par Pazenat, tomo. 1<sup>er</sup>, page 440. - Paris, 1751.

**71**

Véase la obra citada páginas 288, 293 y 330.

**72**

*Lectures sur les fusées de guerre faites en 1860 par le général Major Konstantinoff, directeur de la fabrication et de l'emploi des fusées de guerre en Russie.* - Paris, 1861.

**73**

En la obra citada, pág. 86 dice: «Uno de los medios más usados para medir la velocidad de las balas es el péndulo; pero no da la velocidad sino por un punto cualquiera de la trayectoria, mientras que fijando un cohete en un péndulo, se podría conocer, en todos los periodos, la acción de los gases ó la intensidad de la fuerza que anima al cohete.» El péndulo balístico fué imaginado y construído por Robins en Inglaterra á principios del pasado siglo, fué perfeccionado por Hutton en los arsenales de Wolwich en el último cuarto del mismo siglo. -Este péndulo para las velocidades iniciales ha sido sustuído con ventaja por los dos discos graduados del mecánico Mathey perfeccionados por el coronel Grobert. - Por último el aparato eléctrico del belga Navez es el instrumento más perfeccionado que se posee para medir la velocidad de los proyectiles.

**74**

Según Bourgois, los valores del coeficiente de resistencia total, crecen con la velocidad, y disminuyen con el grandor de las dimensiones absolutas. Véanse los ejemplos que cita en la página 245 de su Memoria. - *Mémoire sur la résistance de l'eau au mouvement des corps et particulièrement des bâliments de mer*, par M. Bourgois, capitaine de frégate. - Paris (sans date). Arthur Bertrand, editeur.

**75**

Comparando, dice Vallejo, el volumen de la pólvora, con el de los gases que se forman de ella en el momento de la explosión, resulta á lo menos la relación de 1 á 4,000; es decir, que una pulgada cúbica de pólvora en el momento de la explosión, ocupa un espacio lo menos de 4,000 pulgadas cúbicas.

Sin embargo parece que la pólvora *deflagrando* en forma esférica, debiera emplear un tiempo menor en arder; comparado con el empleado en forma cilíndrica, según se desprende de los experimentos D'Arcy. Este físico puso en dos canales de madera dos regueros de pólvora; uno, cuya sección era de 32 líneas, tenía de largo 576 pies, que el fuego recorrió en 75 segundos; otro, cuya sección era de 16 líneas, solo tenía de largo 384 pies y empleó 70 segundos. Por lo tanto, la primera recorrió la línea de 576 pies (187 metros) á razón de metros 2'494 por segundo, y la segunda á razón de metros 1'781. Esto parece probar que, en forma esférica, un volumen dado de pólvora, arderá en menos tiempo que en forma cilíndrica.

Refiérese a la *Memoria sobre un Ictíneo militar*, que no ha visto aún la luz pública.