

DISCURSO

LEÍDO ANTE LA

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

EN SU RECEPCIÓN PÚBLICA

POR EL EXCMO. SEÑOR

D. RICARDO ARANAZ E IZAGUIRRE

Y

CONTESTACIÓN

DEL ILMO. SEÑOR

D. JOSÉ RODRÍGUEZ MOURELO

EL DÍA 29 DE JUNIO DE 1917



MADRID

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE FORTANET

IMPRESOR DE LA REAL ACADEMIA DE LA HISTORIA

Libertad, 29.—Teléf.º 991

1917

DISCURSO

DEL EXCMO. SEÑOR

D. RICARDO ARANAZ E IZAGUIRRE

SEÑORES ACADÉMICOS:

La limitación de mis fuerzas, no obstante el contrapeso de la firme voluntad que siempre he tenido para cumplir con mi deber, y que espero no ha de faltarme ahora, es de poca monta, entre las circunstancias agravadoras de mi situación en estos momentos, si se la compara con la preocupación que me produce el hecho insólito, de que he de intentar substituir, siquiera sea numéricamente, a quien es insustituible por todos conceptos.

Y a pesar de mis deseos de corresponder, en cuanto de mí dependa, a la deferencia que me hacéis llamándome a vuestra compañía y honrándome con el inmerecido honor de pertenecer a esta docta Corporación, siento el temor de que, al querer rendir algún servicio, resulte que he roto los peldaños de la colosal escala que conduce a vuestra altura, que he desmoronado en parte el edificio gigante por vosotros creado, y que he venido a perturbar la grandeza de vuestros progresivos y admirables avances en pro de la Ciencia.

Me habéis llamado a ocupar un puesto vacante en esta Academia; y yo os digo: que *el sillón que en esta casa ocupó Echegaray ha de continuar vacío*; pues ni vuestro buen deseo ni mi voluntad, que os aseguro será grande, bastarán a otra cosa que a sentir más y más la ausencia del sabio sin igual; de aquél maestro querido, a quien con tanto deleite se escuchó siempre.

He iniciado este discurso con el nombre de mi eximio antecesor en esta Academia; he querido que mis primeras palabras fue-

ran dedicadas a conservar vivo su recuerdo, aun cuando en la imaginación de todos está, muy principalmente en estos momentos; pero ya que no podáis contemplarle y escucharle, he de procurar, en el transcurso de mi peroración, hacer oír alguna de sus frases, hacer sentir algo de lo que él ha expresado en otras ocasiones, para que honremos de este modo su memoria: obligación que considero la más elemental para mí en este solemne acto.

Cumplido este deber, vaya hacia vosotros la expresión de mi mayor gratitud; sea la idea de mi reconocimiento la primera que, después de aquélla, salga de mis labios, y sea para los iniciadores de esta elección, mis queridos amigos Mier y Mourelo, su manifestación principal, a la que he de añadir el sentimiento que tengo, por la *dificultad de corresponder con mis obras a lo que ellos esperan*, ya que éstas, como mías, han de ser de escasa importancia.

Y si a todos, sin excepción, estoy sumamente reconocido, a todos he de indicaros cuánto me satisface ocupar un puesto a vuestro lado, y he de manifestar también que trataré con ahinco de elevarme a vuestro nivel, aunque sea *a posteriori*, lo que dudo conseguir por faltarme no pocas condiciones de las que son indispensables para alcanzarlo.

El más alto honor que he podido tener en mi vida es el nombramiento que de mí habéis hecho, y como creo que en vuestra decisión habrá influido mi condición de artillero y el vestir, por lo tanto, el mismo uniforme que aquellos ilustres Académicos que se llamaron Odriozola, Balanzat, Valera, Ollero, Luxán, Senderos, Saavedra y Lallave, he de prometeros inspirarme en el ejemplo de tan dignísimos antecesores, asegurando, al propio tiempo, a mis queridos compañeros de Cuerpo que, en cuanto alcancen mis fuerzas, su representación en esta Academia, *he de procurar que no desmerezca de la que en pasadas épocas tuvieron*.

Sé que me obligo a mucho; pero también sé que puedo contar con la benevolencia de todos, ya que a todos alcanza parte de la responsabilidad que contraigo. A mis compañeros de Cuerpo, por haber pronunciado mi nombre excesivo número de veces, con exceso también de cariño; y a vosotros, por vuestra grande bondad,

al tenderme un cable para elevarme a vuestra altura, sin pensar que otorgabais una alta recompensa a quien sólo puede presentar un mérito: *el amor al trabajo*.

Mas, si para alternar con vosotros en los delicados y difíciles trabajos que os están encomendados necesito verdadera indulgencia, no menos he de implorarla en este momento del ilustrado público que me escucha; porque no sabré seguramente recrear sus oídos con párrafos armoniosos y bellas imágenes y porque no será factible hacer que resuene de nuevo el acento conmovedor del ilustre matemático, al no poder nunca remontarme a las altas regiones donde se elevaba como águila real el insigne escritor, de fecundidad extremada, *que sabía disimular, con facilidad prodigiosa, las arideces de la Ciencia, la rigidez de sus teorías y la frecuente pesadez de sus aplicaciones*.

Habréis de convenir todos en que, por necesidad absoluta, queda sin cubrir el hueco que en esta Academia se ha producido, que se encuentran muy apagados los rayos del potente foco científico que emanaba el sillón que he de ocupar, porque la labor de Echegaray fué tan admirable y profunda, que el asombro, enmudeciendo los labios, unía las manos para el aplauso, y hacía se sintiese orgullosa España por el preclaro hijo que enaltecía su nombre, que por varios conceptos había traspasado las fronteras para ser conocido y admirado en todas las partes del mundo.

Ya veis con cuánta razón os he pedido indulgencia, y comprenderéis mi emoción, mi dificultad, mis grandes temores, mucho más cuando la insuperable barrera de los años oxidara mi ya pobre inteligencia; cuando las preocupaciones de la vida militar dejaran borrosos los conceptos científicos que en ella hubieran existido; cuando por otras causas también, que no sepa yo exponer, veáis desvanecidas cual tenue neblina las ideas condensadas en la medalla número 15, que por voluntad unánime de esta Academia tengo la satisfacción de heredar, y recordaréis, en comparación tristísima, las disertaciones tan brillantes de fondo como de forma, que sobre los diversos asuntos eran corrientes en mi sabio antecesor.

Severa lógica ha presidido siempre a sus hermosos discursos, tan hábilmente encadenados; y con ellos, y con sus magníficos

escritos, ha sabido prestar a la Ciencia señaladísimos servicios, presentando sus explicaciones en forma tal, que pudieran permitir se cobijaran bajo la ancha copa de tan frondoso árbol cuantos le hayan escuchado con atención, cuantos han visto que tan eminente sabio les allanaba las vías para escalar el progreso intelectual, hermano gemelo del progreso material, que en todos los ramos debe perseguirse.

Él estaba en la cumbre donde tiene su nacimiento la purísima fuente del saber; él alumbraba con fúlgido resplandor los campos de investigación mediante las brillantes concepciones de su mente, haciendo inagotable el caudal de sus científicas creaciones, y con su imponente grandeza, su primorosa y fecunda labor, despertaba en todos admiración tan profunda, que *fuera imposible desarraigar el recuerdo de sus especiales condiciones de saber y de talento.*

Grabado está, con indelebles letras de oro, el nombre de Eche-garay en la Historia de la Ciencia; grabadas están sus reflexiones y sus verdades, divinizadas a veces, y modeladas en el realismo otras; porque la huella de su saber y de su ingenio, impresa por doquier ha quedado, no sólo como exposición matemática que emite vivísimos destellos, sino como obra real, grande, perfecta, positiva, y como tal, utilizable por cuantos hayan de mirarse en el espejo de sus innumerables y concienzudos trabajos.

No es suficiente mi paupérrima pluma para hacer el debido elogio de mi sabio antecesor; no son los oscuros efluvios de mi cerebro los que puedan ahondar bastante para completar las indicaciones generales que acerca de él vengo haciendo, mucho más, cuando tantas y tan acreditadas personalidades han sabido enaltecer debidamente su memoria; pero si me fuera dable recoger las vibraciones a que aquél se halla sometido, si yo pudiera convertirlas en vibraciones sonoras y reproducirlas, habriais de escuchar todo linaje de sonidos, armonizados y reunidos como admirable orquesta que entona himnos de alabanza para el sabio entre los sabios, para el que pudo reunir a la vez los profundos conocimientos del matemático, del filósofo, del ingeniero, del dramaturgo, del economista, del poeta y, lo que es más difícil, del vulgarizador científico.

Esta heterogeneidad es admirable, como lo son también por el mismo concepto sus especiales condiciones como ingeniero, como ministro, como fogoso orador, como hombre versado en las cuestiones más arduas de la política, como hombre enciclopédico, en fin, que, además de científico notabilísimo y *creador de la ciencia pura en nuestro país*, fué durante treinta años el monarca de la escena española, lo que quizá no sea suficientemente apreciado por la joven generación, por los que no han sentido prácticamente el arrebató experimentado por cuantos tuvimos la suerte de escuchar sus especialísimas obras, sus notables discursos.

Y es que la evolución realizada en estos últimos años, tanto en las ideas sociales como en las literarias, distancian algo los caracteres, pareciendo como si hubiera trascurrido un lapso de tiempo mayor, por la diferencia grande entre las ideas que en todos los órdenes flotan en la atmósfera actual, y las que en el período álgido de su vida eran de general dominio, llegando a electrizarse el público con las especiales tramas de sus obras y los caracteres escogidos para ellas.

Pero todavía habla más alto en su favor esta circunstancia; pues aun los que se encuentran en este caso, teniendo a la vista la gigantesca actividad que era corriente en el insuperable sabio, aprecian en lo muchísimo que vale el dicho de que, *para la matemática española, el siglo XIX comenzó con Echegaray en 1865 y terminó con él, en 1916*. Y es también una verdad inconcusa la idea manifestada por un crítico, de que *Echegaray fué matemático por encima de todo*, pudiendo decirse que *la política y la literatura fueron algo así como sus vacaciones espirituales*.

Y si en su calidad de dramaturgo deja escritas setenta y cinco obras, que empiezan en 1874 con *El libro talonario* y terminan en 1905 con la titulada *A fuerza de arrastrarse*, y de su carrera política quedan recuerdos interesantísimos en sus brillantes discursos y otros trabajos muy especiales, en el concepto matemático ha sobresalido como ninguno, emitiendo tantos artículos, folletos y voluminosas obras, que parece le haya sido concedido el don de duplicar el tiempo de trabajo y conservar sus facultades, hasta el punto de seguir en estos últimos años con la publicación de su ma-

gigantesca obra de Física Matemática, de la que llevaba publicados once voluminosos tomos.

Como se ve, nuestro insigne maestro ha *realizado una evolución social, literaria y científica* que está contenida en el ingente monumento de su grandeza, la que quizá no sea apreciada por todos; mas, aunque así sucediese, su actividad extraordinaria, gigantesca, ha de merecer la admiración de unas y otras generaciones; y no habrá quien no sepa que *se trata de un coloso, de un infatigable creador*, y es más de notar todavía lo vertiginoso de su carrera en todos los órdenes, lo mismo en el político que en el literario y científico. En el primero, un solo discurso le dió rápida e inmensa notoriedad parlamentaria; en la segunda, supo también arrebatarse al público, electrizándole desde sus primeras producciones; y con respecto al terreno científico... no debemos avergonzarnos de ello, estamos a la altura a que nos colocó, y en algunos de los asuntos, no hemos llegado todavía a la que nos quiso elevar su creador espíritu.

Es tan lógica como interesante la indicación de *algunas ideas expuestas por mi sabio antecesor*, según al principio os he prometido: y voy a referirme a las vertidas en el Ateneo después del desastre que nos arrebató nuestro imperio colonial, que vieron la luz en la revista titulada *Madrid científico*, a raíz de su fallecimiento, y que vienen como de molde en las actuales circunstancias.

Esto, decía en síntesis, no pueden arreglarlo unos cuantos señores con fórmulas ni programas; es un negocio colectivo, y cada cual debe arrimar el hombro.

Que el hombre de ciencia se afane y estudie y que en cada momento se repita a sí mismo: «Quiero saber, para que los sabios extranjeros no digan que soy ignorante»; que el industrial procure perfeccionar su industria y se repita a sí mismo: «Quiero progresar, para que las naciones extranjeras no digan que España no tiene industria»; que el agricultor al hundir la reja del arado en la tierra, hunda el hierro más que nunca en el deshecho terrón, diciéndose a sí mismo: «No piense nadie que se le secaron los jugos a nuestra tierra»; que el comerciante se lance con todas sus actividades en las corrientes mercantiles y busque las más caudalosas, y

procure otras nuevas, para que no digan que somos perezosos; que el último obrero, el de trabajo más modesto, en él deposite todas sus energías, pensando con noble ambición: «A trabajar, a trabajar, que no digan que el obrero español es torpe o débil»; en suma, que todos los ciudadanos trabajen cuando puedan, santificando sus faenas, y como obedeciendo a una voz misteriosa que les dijere: «Hay que trabajar con ahinco por nuestra querida patria».

Otro ejemplo de sus geniales concepciones, de su exuberante desarrollo mental y de su brillante modo de exponer debo presentar, para cumplir con la obligación que me he impuesto de dejaros oír sus valientes y hermosas oraciones. Se refería, en el discurso de clausura del Congreso de Zaragoza, realizado por la Asociación Española para el progreso de las Ciencias, a las antiguas experiencias de Ampère y a la moderna consecuencia de creación de la dinamo, que recoge, moviliza y convierte en energía eléctrica, unificándolas, las fuerzas de la Naturaleza, y las lleva a donde trabaja el hombre para sustituir a su trabajo material.

Así, decía, recoge la fuerza hidráulica de la catarata que se despeña en el centro de la montaña, la palpitación de la marea que se tiende perezosa sobre la playa, y podrá recoger, al fin, la fuerza solar, que, como lluvia de fuego, derrama sobre la tierra millones y millones de caballos de vapor; de suerte que aquel experimento de la ciencia pura, que tan insignificante parecía, ha creado y sigue creando energías inmensas para la industria que antes holgazaneaban, si vale la palabra, en el seno de la Naturaleza.

Y así llegará un día en que el pobre obrero no tendrá que doblarse sobre la tierra, ni vagar anhelante entre las sombras de la mina, ni quemar sus músculos en la faena material, sino que, erigido ante una máquina, y obedeciendo al mandato de su pensamiento, dará vuelta a una llave, y se precipitarán en la fábrica, en el taller, en la mina y sobre el terruño, millones y millones de caballos de vapor; aquellos que se deshacían en espuma en la catarata, aquellos otros que no hacían otra cosa que tostar inútilmente las arenas de los desiertos.

He de hablar ya del *tema de este discurso*, cuya elección, impuesta por la clase de los estudios que me han sido más gratos, y

hecha teniendo en cuenta la doctrina que expuso mi querido amigo Mier en su notable discurso de ingreso en esta Academia, si bien presumo que satisface a la condición de novedad requerida en estos actos, temo que adolezca del defecto de no permitirme armonizar como es debido la altura científica de este Centro con la amenidad que merecen los que me hacen el honor de venir a escucharme.

Atendiendo a la oportuniísima indicación de brevedad que tengo que agradecer a mi amigo Mourelo, y teniendo presente las elocuentes frases de Ramón y Cajal en Zaragoza con ocasión de la clausura del primer Congreso de las Ciencias y las no menos inspiradas de Mourelo en su discurso de contestación a Mier, he de exponer a vuestra consideración un tema que, aunque mis fuerzas no alcancen a darle cumplido desarrollo, entiendo que llena por completo las condiciones de referirse a un fenómeno no estudiado, como recomendaba Mier; de constituir su estudio una iniciativa española, conforme aconsejaba Ramón y Cajal, y de no acusar reflejo de propagandista del extranjero, según expresó Mourelo.

El *cebado de las grandes cargas de explosivos*, sobre todo las que se destinan a las aeronaves, constituye un asunto poco estudiado y que exige variación radical, encaminada al logro de una utilización más completa de la energía almacenada en el cuerpo cuya detonación se desea. Puede considerarse como el agente motor de un explosivo el detonador que en él se emplea, y del perfeccionamiento de éste voy a ocuparme, así como de la exposición de algunos principios y premisas que aparecen diseminados y sin ilación alguna, no constituyendo, por tanto, hasta ahora verdadero cuerpo de doctrina, que pretendo establecer, con las indicaciones que hago, dándolas el título de

Iniciación de las detonaciones.

Circunstancias propias de mi carrera me han obligado, primero en la fábrica de Granada, y más tarde en el Laboratorio Central, a dedicar preferente atención a los estudios relacionados con las aplicaciones militares de los explosivos, y no obstante mi deseo de penetrar y ahondar en sus misterios, éstos se me presentan in-

sondables y oscuros, a causa de los variados fenómenos que encierran, por las distintas apreciaciones que de ellos se hacen y porque *su estudio primordial aparece todavía confuso*, al serlo las teorías sobre que descansa la constitución íntima de los cuerpos, que tanto y tanto han de influir en las que se desarrollan relativamente a estos compuestos químicos.

Así puede apreciarse, aun con mayor fundamento desde que la radioactividad ha tomado carta de naturaleza, desde que variadas observaciones y experiencias han demostrado la disgregación del átomo y desde que ha podido averiguarse la influencia de la ionización, como consecuencia inevitable de las radiaciones observadas en muchos de los cuerpos, incluso el plomo, para los cuales pareciera imposible la existencia de aquéllas. Y tanta importancia y relieve ha de tener el modo de considerar hoy los diversos fenómenos, que podrá decirse con Poincaré, una vez aceptado que la radioactividad sea un fenómeno general, que «conviene desecher la idea de estabilidad de la materia esparcida por el Universo»; y entiendo, por tanto, que cabe aceptar el principio de que *un cuerpo cualquiera es una especie de explosivo que se descompone con gran lentitud*. Según esto, al tratar de los fenómenos que con los explosivos se relacionan, no será posible desprenderse de la idea de que *todo cuerpo está en condiciones de ser explosivo, bastando que para cada uno existiera un detonador especial, cuya constitución depende de la naturaleza de aquél*.

Ya hube de indicarlo en una de las conferencias que he tenido el honor de dar acerca de ellos, marcando como tema verdaderamente curioso el del ultra-explosivo y la ultra-rompedora, que así llamaba yo a un caso límite en que pudieran emitirse de repente los diez millones de caballos de vapor que representa la energía contenida en el radio, mediante un detonador apropiado al objeto, que si en realidad no puede existir en la práctica, se concibe sólo como estado límite, al que, dados nuestros actuales conocimientos, no puede llegarse.

Esta idea especial, dependiente de las teorías hoy admitidas como verdaderas, y que indudablemente lo son en cuanto con nuestro asunto se relaciona, por estar basadas en hechos defini-

dos, reales y debidamente comprobados, viene a corroborar todo lo que la práctica de los explosivos indica, y a constituir base fundamental de cuanto a ellos se refiere, y es por lo que he considerado como asunto el más importante en su estudio el relativo a la iniciación de las detonaciones. Por eso la elección del tema que, según he dicho, título de este modo, y del que algo indiqué en uno de mis folletos anteriores.

Como se ha visto, he tocado ligera e inconscientemente el complicadísimo problema de la constitución de la materia, penetrando en el campo de los iones, electrones, magnetones y movimientos vibratorios, así como en la especialidad con tanto éxito cultivada por M. y Mad. Curie, cuyos trabajos son tan importantes y conocidos; no siendo menos curiosos y útiles los de Becquerel, Rutherford y Gustavo Lebon, que tan especiales consecuencias deduce en su incansable y activa propaganda hecha en favor de las teorías especiales que sustenta, en cuyos asuntos no parece procedente insistir.

* * *

Difíciles son de prever las *reacciones características que tienen lugar en los fenómenos explosivos*, y más difícil todavía desde el momento en que se consideren en su relación con los ordinarios; porque entran en juego números muy grandes que representan presiones y temperaturas, al mismo tiempo que existen muchas causas para que haya variaciones durante la reacción, y antes que se restablezca el equilibrio.

Mas aun cuando las expresadas reacciones presentan el carácter de aproximación, y en general están basadas en experiencias numerosas, sin las cuales tuvieran muchas probabilidades de ser erróneas, se admite siempre, cuando de explosivos se trata, que se hallan supeditadas a esta idea fundamental, marcada por Berthelot en su ensayo de mecánica química: *Las reacciones de dicha naturaleza tienden siempre a realizarse en la forma que proporciona más calor*. Con este principio es siempre posible su previsión en el caso de los explosivos de combustión completa; y aun-

que sea más difícil en los de incompleta, siempre hay reglas, como la dada por Sarrou y Vieille en los estudios sobre el equilibrio químico de los sistemas gaseosos homogéneos (*Memorial de pólvoras y salitres*, tomo II, pág. 337), según la cual el carbono se oxida antes que el hidrógeno, siendo esta tendencia tanto más acentuada, cuanto mayor es la presión.

Pondré de manifiesto otra indicación general, a tenor de lo realizado por Duhem en su tratado de termodinámica y química, y es que exigiendo el perfecto equilibrio químico que *el aumento de presión lleve consigo una reducción en el volumen de gas*, la proporción que corresponde en este caso para CO y H²O debe disminuir al mismo tiempo que aumenta la de CO² y CH⁴, con incremento del calor desprendido y, por lo tanto, de la temperatura desarrollada.

Como se ve, existe alguna vaguedad, que parece difícil que desaparezca ínterin no se hayan hecho estudios perfectos y sistemáticos de los equilibrios químicos a temperaturas elevadas, los que pudieran tener por fundamento los fecundos principios establecidos por Van t'Hoff en su Dinámica química, así como los estudios de Gibbs, Le Chatelier y Nernst, adaptados a los sistemas que constituyen los productos de descomposición de los explosivos.

Auméntase todavía la dificultad para fijar las reacciones en el caso en que es menor la presión, por ser menos perfecta la destrucción molecular y producirse en consecuencia combustión incompleta, aun en los explosivos llamados de combustión completa, o sea en los que tienen oxígeno suficiente para llevar todos los productos de la reacción al máximo de oxidación; pero, de todos modos, no será posible formarse perfecta idea del fenómeno químico completo, que tiene lugar en las reacciones explosivas, ínterin no se conozcan, además del equilibrio inicial y final, las condiciones del paso de uno a otro, o en otros términos, lo que puede llamarse la *dinámica de la reacción*, cuyo estudio es difícil encontrar en los textos, aun los más modernos, y mucho menos de un modo acabado; no precisamente por deficiencias, pues no pretendo hacer crítica de ningún género, sino por la gran diversidad de las opinio-

nes emitidas y de las formas empleadas en la exposición de la doctrina.

En general, sólo se presentan las fórmulas correspondientes a las características que se calculan en la que puede llamarse *estática química* de los explosivos, cuyas fórmulas son bien conocidas, y de cuya naturaleza e investigación no he de ocuparme, por tanto; pues sería impropio, en un discurso de esta naturaleza, presentar lo que se halla expuesto con suma claridad en libros y folletos, y considero que solamente debe ocuparme lo que en mi concepto resulte obscuro o no haya sido presentado en ninguno de ellos, bien se refiera a los principios de carácter general, de que en este momento trato, o bien haga relación a los estudios especiales, que constituyen el más principal fin de este discurso.

Por lo que se refiere a las *ideas generales de la dinámica de los explosivos*, e insistiendo en los escasos adelantos llevados a cabo en esta parte de la mecánica química, es de observar que al estudiarse las leyes que la presiden y repasar los textos que la contienen (Duhem, *Termodinámica y Química*; Nernst, *Traité de Chimie générale*; Berthelot, *Essai de mécanique chimique*) solamente pueden hallarse ligeras indicaciones, de las que se deduzcan las bases en que se asientan, como idea fundamental, que *la forma de la reacción depende esencialmente de las leyes que rigen a la velocidad de transformación del sistema químico*; cuyas leyes son, a su vez, función de las masas relativas de los cuerpos que se hallen en presencia.

De estas bases fundamentales, que cabe aceptar, puede mencionarse la primera como derivada de la ley de equilibrio de Van t'Hoff, según la cual, *a temperaturas variables se observan paralelas variaciones en la velocidad de la reacción, en el supuesto de igualdad para las demás condiciones en la composición momentánea que se considere*; debiendo establecerse como segunda la que corresponde al caso de temperatura y presión constante, en el que *disminuye la velocidad de reacción a medida que aumenta la masa de los cuerpos que aquella engendra*, según puede deducirse de la ley de Guldberg y Waage, o de acción de las masas.

Si se traducen al lenguaje analítico estas leyes fundamentales ¹, pueden deducirse los caracteres de la reacción explosiva mediante el conocimiento de la aceleración correspondiente; pero

¹ La primera ley puede representarse por la expresión

$$dv = M dT,$$

en la que v representa la velocidad de la reacción y T la temperatura, siendo M un coeficiente variable y positivo.

Para la expresión analítica de la segunda, debe observarse que siendo la velocidad decreciente hasta cero, al anular la masa y tender el sistema hacia el equilibrio final, resulta negativa la aceleración correspondiente, pudiendo en su consecuencia establecerse

$$dv = -N dm,$$

en cuya expresión es m el valor de la masa y N un coeficiente también variable y positivo.

Para el caso en que m aumente, tendiendo al estado de equilibrio, con temperatura variable, la ecuación correspondiente tomará la forma que puede considerarse fundamental

$$dv = M dT - N dm, \quad (1)$$

en la que basta marcar los valores de dT y dm .

Para el 1.º, considérese una reacción exotérmica y sea q la cantidad de calor desprendido por gramo, y C la capacidad calorífica total del sistema; resultará que para un espacio de tiempo dt (t es el tiempo correspondiente a la velocidad v), podrá establecerse

$$q dm = C dT + q',$$

ya que siendo C , en general, una función creciente con T , $C dT$ es la fracción de calor desprendida por la reacción que sirve para elevar la temperatura del sistema, representándose por q' el calor cedido al exterior.

Si a esta expresión se agrega la que relaciona v con dt , que puede expresarse por

$$v = \frac{dm}{dt},$$

se tendrán dos ecuaciones con dos incógnitas para determinar los valores que se buscan de dT y dm , y sustituirlos en la (1), obteniéndose

$$dv = \frac{M}{C} q v dt - N v dt - \frac{M}{C} q',$$

de la que se deduce la aceleración

$$j = \frac{dv}{dt} = \left(\frac{M}{C} q - N \right) v - \frac{M}{C} \frac{q'}{dt}. \quad (2)$$

Al suponerse que la reacción es muy rápida, el calor perdido q' podrá des-

no debe confundirse la especial *velocidad de la reacción* que tenga lugar, con la *velocidad de propagación* de las reacciones, que fundamentalmente tiene que influir en el fenómeno dinámico, constituyendo una de las características de éste, ya que sea preciso, para su estudio completo, empezar por la reacción inicial que antes se ha considerado al tratar de la velocidad de ella, y ver cómo se va transmitiendo en el seno del explosivo, para que se repita el fenómeno en sus distintas capas.

Este modo de transmisión depende muy principalmente de la manera de realizarse la primera reacción, es decir, del trabajo inicial de excitación y de la naturaleza del explosivo, en tal forma, que *tiene lugar de distinto modo cuando se trata de pólvoras que cuando se refiere a explosivos rompedores*; pues en el primer caso, basta el calor para realizar la iniciación, y en el último, que es el que ahora me ocupa, precisa el empleo de una cápsula detonante, o cebo primordial, que ¹ puede iniciar la detonación por la circunstancia de estar el fulminante en condiciones de *recibir la acción del calor y convertirlo directamente en trabajo*.

He aquí la gran diferencia entre las pólvoras y los explosivos modernos, en cuyos conceptos había reinado un empirismo ciego desde que se inventó la grosera mezcla de azufre, salitre y carbón, con los equivocados prejuicios que, por efecto de una cada

preciarse, resultando para valor de la anterior

$$j = \left(\frac{M}{C} q - N \right) r. \quad (3)$$

Este valor de la aceleración, dependiente de coeficientes M y N, que son experimentales, puede servir de punto de partida, y considerándolo así, he dado la forma que estimo más a propósito a las indicaciones hechas por Mr. Vennin en sus estudios sobre pólvoras y explosivos.

Se observa que el carácter explosivo de la reacción será tanto más acentuado, cuanto mayor sea la diferencia $\frac{M}{C} q - N$, en el supuesto de que ha de ser positiva; no bastando que tenga carácter exotérmico, sino que debe también ser creciente la velocidad de la reacción, que es la marcada en estas fórmulas, citadas solamente como sirviendo de punto de partida, aunque sea más complejo y poco conocido todavía el fenómeno de la reacción explosiva.

¹ Véase el folleto *Nuevos explosivos*

y anticuada interpretación de los fenómenos que en su interior se desarrollan, tomara carta de naturaleza.

Y he de hacer la observación de que el distinto modo de ser, tan diferente entre lo antiguo y lo moderno, ha producido un estado especial de ánimo que, por fortuna va hoy desapareciendo, desfavorable en general a los nuevos productos; no existiendo fundamento para ello, como lo tengo demostrado en varios folletos, ni habiéndolo tampoco cuando se lanzó sobre nosotros acusación injustificada y tremenda, preliminar de fatal desastre.

Son en realidad los explosivos rompedores modernos más inofensivos que la antigua pólvora negra, y el estudio que de ellos se hace va teniendo un carácter más perfecto, con la filigrana de las reacciones químicas cada día más conocidas, que representan la palpitación latente del fortísimo empuje de que es capaz el compuesto constituyente de ellos. No me cansaré en repetir la circunstancia que anoto, que suelo poner en evidencia en cuantos folletos tengo ocasión de publicar.

* * *

Es el cebo o detonador inicial *el artificio que toma fuego, para convertirlo en trabajo mecánico*, y de su naturaleza depende principalmente el efecto que se obtenga, puesto que, cuanto mayor sea este trabajo inicial, tanto mayor ha de ser aquél, deduciéndose su cuantía, de las consideraciones acerca del modo de transmisión, y de las fórmulas que se establezcan.

Esto sentado, y siguiendo paso a paso el desarrollo del fenómeno, cuyo origen es la primera reacción debida al choque brusco que el cebo origina, se observa que este choque produce una compresión de tal naturaleza, que eleva la velocidad de la referida primera reacción, haciéndola capaz de formar bruscamente los gases que corresponden a muy alta temperatura, los que, a su vez, ocasionan nuevo choque en la masa de explosivo que les rodea, *propagándose la reacción por efecto de muy rápidas y sucesivas compresiones.*

Son estas no interrumpidas compresiones, que avanzan y se

reproducen, las que constituyen la llamada por Berthelot *onda explosiva*, que se propaga en toda la masa con enorme velocidad, a modo de ola destructora que arrolla y rompe por completo el edificio molecular de las diversas capas que va encontrando a su paso, *cuya velocidad es distinta, según se ha dicho, de la velocidad parcial y peculiar de la descomposición*, efectuada en cada una de las capas en que puede considerarse dividida la materia explosiva.

La magnífica obra de Berthelot titulada *Sur la force des matières explosives*, ha dado las primeras ideas relativas a este interesante asunto, base primordial del estudio de los explosivos; y en ella están fundadas cuantas consideraciones se hacen con más o menos acierto en los diversos textos.

Dice Berthelot (pág. 133): «Nuestras investigaciones confirman la existencia de un nuevo género de *movimiento ondulatorio*, de un orden mixto, es decir, producido en virtud de una cierta concordancia de las impulsiones físicas y de las químicas, en el seno mismo de la materia que se transforma. Este orden de fenómenos está caracterizado por la *producción de una onda explosiva*, es decir, de una determinada superficie regular en que se desarrolla la transformación, y que realiza un mismo estado de combinación, de temperatura, de presión, etc. Esta superficie, una vez producida, se propaga de capa en capa, en la masa toda entera, por efecto de la transmisión de choques sucesivos de las moléculas gaseosas, que adquieren un *estado vibratorio* más intenso en virtud del calor despedido en su combinación, y transformadas en el lugar que ocupan, o más exactamente, después de un ligero desplazamiento relativo. Fenómenos análogos (se había referido a los gases, en el párrafo que transcribo) pueden producirse en los sólidos y en los líquidos explosivos.»

En otro párrafo continúa la idea (pág. 136) diciendo:

«Así, parece que, en el acto de la explosión, un cierto número de moléculas gaseosas, entre las que forman la primera capa o superficie inflamada, son lanzadas hacia adelante, con toda la velocidad correspondiente a la temperatura máxima desarrollada por la combinación química; su choque determina la propagación de

ésta a la capa inmediata, y *el movimiento se reproduce de capa en capa*, con una velocidad, si no idéntica, comparable por lo menos a la de las moléculas mismas. »

«La transmisión de fuerza viva, en estas condiciones de acción extremadamente rápida, puede ser que tenga lugar más fácilmente entre moléculas gaseosas de la misma naturaleza, en virtud de una especie de sincronismo, que coordina los movimientos similares entre las moléculas del gas y la pared que le rodea.»

«Ha de hacerse constar que el fenómeno es diferente en el caso de que el sistema en ignición tenga tiempo para perder una parte de su calor, comunicada a gases extraños o a los cuerpos próximos, no susceptibles de efectuar la misma transformación química.»

He preferido copiar a la letra estas indicaciones, aunque resulte una traducción demasiado rígida, para no desvirtuar en nada las ideas emitidas por Berthelot, *base fundamental del estudio de los explosivos*, y mucho más de las aplicaciones que son pertinentes al fin que en estos momentos persigo.

Para mayor claridad, debo marcar la separación perfecta entre los fenómenos que se realizan en cada una de las diversas capas consideradas y la transmisión de una a otra; denominando *velocidad de reacción* a la que corresponde a la realizada en una capa, y *velocidad de propagación* la relativa al conjunto de estas últimas.

Con respecto a la primera, he marcado ya las bases generales para estudio; debiendo indicar, por lo que se refiere a la segunda, que ha sido objeto de investigaciones tanto teóricas como prácticas, perfectamente definidas en la mayoría de los trabajos sobre explosivos; siendo base fundamental de estos últimos, los de Berthelot, explicados detalladamente en el citado libro *Sur le force des matières explosives* (págs. 137 y siguientes); pudiendo consultarse para el detalle de los cálculos y correcciones de las experiencias hechas por Berthelot, el tratado de pólvoras, traducido y aumentado por Desortiaux (págs. 538 y 542).

Es de notar que, como es corriente en todo cuanto se refiere a explosivos, *si bien las experiencias son lo fundamental*, cuando

existen también estudios teóricos, resultan el más poderoso y verdadero auxiliar. Estos estudios teóricos tienen por base la asimilación de la onda explosiva a la onda sonora, bien se trate de la propagación en la masa explosiva o fuera de ella, aplicándose en su consecuencia fórmulas deducidas de dicha teoría, como fundamento principal de los estudios prácticos que deban hacerse ¹.

¹ Los tratados de Banús y de Ureña consultados a este efecto, marcan con gran perfección el modo de deducirlas, estableciéndose, en el primero, mediante un estudio comparativo, la diferencia entre la velocidad de propagación de la onda explosiva (velocidad de detonación) y la de traslación de las moléculas, deducida del estudio teórico. Es la primera, la que presento en la página 19 del folleto acerca de la nueva rompedora

$$V = 10 \sqrt{R \Delta \left(1 - \frac{p}{\alpha \Delta}\right)},$$

deducida de la fórmula física relativa a la velocidad de propagación del sonido

$$V = \sqrt{R \frac{E}{D}},$$

en la que R representa la relación de calores específicos, E la elasticidad a temperatura constante de los gases que desarrolla el explosivo y D la densidad.

La segunda fórmula es la de Clausius, que dice ser la velocidad de traslación de las moléculas en el momento de la combinación, proporcional, según la relación de fuerzas vivas, a la raíz cuadrada de la relación entre la temperatura absoluta T y la densidad con relación al aire, o sea

$$V' = 29.354 \sqrt{\frac{T}{D}}.$$

Compara Banús estas fórmulas expresando la relación encontrada por Maxwell entre las velocidades, que se reduce a

$$V = 0,68 V',$$

o sea la consecuencia importante de

$$V < V',$$

cual es evidente, puesto que, para que la explosión se propague, es necesario que las moléculas se descompongan, haciendo falta mayor tiempo que para la simple traslación de aquéllas, siendo, por tanto, lógica la indicación de Berthelot, de ser la velocidad de traslación V' un máximo de la velocidad V de propagación de la onda o de detonación.

Ha de hacerse la observación referente al valor de V que exige forzosa-mente la condición de ser

$$1 - \alpha \Delta > 0,$$

Indicado ya lo relativo a la transmisión en cada capa y a la que tiene lugar de una capa a otra, suponiendo que se trate de las capas sucesivas que contornean al cebo, debo añadir que estas transmisiones *se van amplificando como verdaderas ondas esféricas* hasta terminar en la superficie exterior del explosivo; pues el cebo, actuando sobre todas las moléculas que con él se hallen en contacto, las descompone produciendo aumento de temperatura en la pequeña región de explosivo que ocupa, y el calor desarrollado actúa también sobre las moléculas próximas, propagándose así la reacción a todo el explosivo.

El fenómeno no es tan sencillo como se acaba de indicar. En lugar de la propagación simple, que así pudiera llamarse, existe lo que toma el nombre de *discontinuidad*, con arreglo a la cual ha de tenerse en cuenta que, al comunicarse la detonación, por efecto de la expansión rápida que en los gases tiene lugar, se rechaza al fluido en todos sentidos, verificando acción sobre él, pero siendo consecutiva de ella la reacción, que se reduce a un principio de enfriamiento y contracción inmediata que origina un vacío, en el que, una vez producido, se precipita el medio ambiente.

Produce así la explosión, *una onda dilatada y otra condensada*, cuyo fenómeno, que en realidad es un fenómeno de vaivén, tiene lugar, lo mismo al comunicarse la honda dentro del explosivo, que al transmitirse fuera. Este vaivén es el que origina las que he denominado anteriormente discontinuidades, cuya propagación ha sido estudiada por Hugoniot y Rieman (véase *Journal de*

de la que se deduce ser necesario que

$$\Delta < \frac{1}{\alpha} .$$

no pudiendo haber explosión en caso contrario, y resultando infinito el valor de V , cuanto tenga lugar la igualdad

$$\Delta = \frac{1}{\alpha} .$$

En este caso especial, *no hay ya onda explosiva*, y la violenta alteración que resulta no obedece a ley alguna.

Se hace esta indicación, para que se tenga en cuenta que la fórmula primera, que es la más empleada para los cálculos, no es aplicable más que hasta cierto límite. exigiendo especial experiencia para determinarla (Banús, 71).

l'École Polytechnique, 1887), dando su teoría, de la que se deduce como principal consecuencia que, *las fórmulas de velocidad que se exponen, dan resultados sensiblemente iguales a los obtenidos por Vieille en experiencias relativas al mismo asunto.*

Así, si las fórmulas de Hugoniot y experiencias de Vieille se hallan de completo acuerdo, no cabe dudar de la exactitud en la explicación de los fenómenos, que, no obstante considerarse desarrollados en un medio gaseoso para el caso estudiado, tienen forma análoga cuando su acción se ejerce en un medio sólido, como lo han demostrado Taffanel y Dautriche en sus estudios analíticos, mediante los cuales han puesto de manifiesto las correspondientes ecuaciones, cuya resolución les conduce al establecimiento de importantes fórmulas.

Dichos estudios, publicados en *Les Comptes Rendues* (año 1912, tomo CLV, pág. 1.221), proporcionan indicaciones extremadamente útiles, y las ecuaciones que en ellas se establecen, que no parece pertinente transcribir, *sientan las bases para la resolución de un problema tan complejo como es el de la detonación de los explosivos* ¹.

¹ Debo poner en evidencia una de las fórmulas que se deducen de dichas ecuaciones, por referirse precisamente al elemento interesante que se considera, o sea la velocidad de detonación, y es

$$V = 6,41 \frac{\sqrt{f}}{1 - \alpha \Delta}, \quad (a)$$

en la que el valor de f debe corresponder a la reacción explosiva en el momento a que la velocidad se refiere.

Y la pongo de manifiesto, por la aparente discordancia que habrá de encontrarse el que la traduzca a números y la compare con los que pueda deducir de la fórmula que figura en nota anterior, idéntica a la que me ha servido para los cálculos en el folleto acerca de la nueva rompedora aérea, que si bien es en realidad una fórmula teórica, se viene empleando en todos los casos para esta clase de estudios.

Quiero prever, sin embargo, la comparación y presentarla en esta nota, para prevenir los comentarios, con la explicación de las anomalías que en este asunto de los explosivos parecen existir; siendo para ello preciso darlas forma análoga, lo que puede verificarse, pues la anterior

$$V = 10 \sqrt{R \frac{p}{\Delta(1 - \alpha \Delta)}},$$

Conste que al deducir los resultados, tanto en estas como en las demás fórmulas que se deban utilizar, han de tenerse en cuenta las condiciones de homogeneidad en los valores a comparar, así como los datos experimentales de cada caso; sin lo cual resultan aparentes errores, que en la nota pongo de relieve y trato de sub-

debe combinarse con el valor que tiene la presión en función de f , o sea

$$p = \frac{f\Delta}{1 - x\Delta},$$

de cuya combinación resulta

$$V = 10 \frac{\sqrt{Rf}}{1 - x\Delta};$$

y tomando para R el valor aceptado en las fórmulas generales, que es el correspondiente a los gases simples o no condensados,

$$R = 1,41,$$

se tendrá la expresión, que debe compararse con la (a).

$$V = 11,89 \frac{\sqrt{f}}{1 - x\Delta}. \quad (b)$$

Diferencia de tanta entidad es debida a la onda que en cada caso se considera, pues la correspondiente a la fórmula (a) es relativa a la que suelen llamar *onda de choque*, cuya nomenclatura aclaro más adelante, para denominar *onda lateral* a la que corresponde a la velocidad (a), y *longitudinal* a la de la fórmula (b).

Tal idea está de acuerdo con la interpretación que da Venmin al tratar de las ondas de choque, que dependen, según dice, de la presión que corresponde a la fórmula (a), cuya presión resulta con un valor que aproximadamente es doble del que sirve de base a la (b), denominándola *presión explosiva* para distinguirla de la que llama *presión estática*.

Pongo en evidencia esta afirmación, para que no se dude de la interpretación que he dado a una y otra fórmula, aunque haya de hacerse siempre la salvedad, de que los valores definitivos resultantes de una y otra *dependrán de la ecuación química* que se adopte, y como quiera que las reacciones explosivas no pueden ser previstas en todos los casos, se obtendrán resultados variables, lo que no tiene importancia para el objeto de mis estudios, en los que no pretendo evidenciar números absolutos, y sí relativos, porque solamente se trata de *amplificar los efectos*, sea cualquiera el valor inicial.

De todos modos, es sabido, y en la anterior nota lo pongo de manifiesto, que la fórmula adoptada en ella, dependiente de la que representa la velocidad de propagación del sonido, es sólo aproximada, existiendo para ella grandes causas de error, como sucede con la fórmula (a), hasta el punto que, para los cálculos precisos, es conveniente siempre el método experimental, sirviendo sólo las fórmulas como primer punto de partida.

sanar, al dar la explicación que ha de constituir base definitiva de mi proyecto referente a un nuevo modo de iniciación de los explosivos.

* * *

Son la *onda explosiva* y la *velocidad de detonación* los datos interesantes que deben tenerse en cuenta entre los elementos inateriales, y son asimismo el *cebo o detonador* por un lado, y el *pe-tardo*, por otro, los que constituyen la parte material del conjunto que caracteriza cualquier artificio explosivo; y llamo la atención acerca de la nomenclatura, pues, en realidad, en la *palabra detonador puede comprenderse el cebo sólo, o éste modificado* en alguna forma, como por lo general suele hacerse.

Parto de que sean conocidos los cebos que se emplean de un modo corriente en el orden militar, consistentes en una cápsula fulminante emplazada sobre capa de trilita o tetralita, que tiene el carácter de multiplicador ¹, y de ser conocida también la *mecha instantánea* que fabrica Granada, constituida por un alma de cualquiera de los dos explosivos mencionados, recubierta con estaño o plomo, a lo que llaman los franceses *cordón detonante*.

Con el modo actual de operar, el cebo actúa directamente so-

¹ Los cebos que emplea la industria particular son más sencillos. Su modo de ser data de 1864, en que Nobel dedujo el procedimiento para obtener con seguridad la detonación de la nitroglicerina por medio de una cápsula de fulminato de mercurio, y, en realidad, ellos han iniciado la que puede llamarse era moderna en el asunto explosivo.

Pero el primero que publicó experiencias curiosas y manifestó concretamente la gran diversidad que existe entre las condiciones de deflagración de una misma substancia, fué Abel, al presentar sus estudios en *Les Comptes Rendues* (tomo LXIX, págs. 105 a 121), habiendo generalizado después estos fenómenos Roux y Sarrou al establecer la distinción entre los explosivos de 1.º y 2.º orden; distinción real, pero que es insuficiente, por efecto del carácter absoluto que se da a esta clasificación; mucho más, al observar que existe hoy notable diferencia con lo que antes sucedía, y es que resultaba completamente desconocido el carácter explosivo de muchos compuestos que hoy son empleados como tales.

Así sucedió con el ácido pícrico, que se usó en tintorería, hasta que una explosión hizo conocer sus especiales cualidades, no siendo posible su empleo sin la existencia del cebado de fulminato. El descubrimiento del cebo está ligado, por tanto, con la idea de los explosivos actuales.

bre el petardo o sobre un multiplicador, que suele ser otro petardo de menos densidad y magnitud; y según el método que deseo implantar, *la actuación debe ser por el intermedio de una mecha instantánea de forma determinada, para amplificar notablemente los efectos.*

Vamos por partes. La primera iniciación es la de la cápsula fulminante y ha de ser lo más enérgica posible. Empleado hasta hace poco el fulminato de mercurio, es hoy reemplazado con ventaja por el *nitrido de plomo*, que se usa ya con cierta profusión. De este fulminante me ocupé el año 1911 en un folleto que titulaba *Nuevos explosivos*, en ocasión de prestar servicios en el Laboratorio Central de Artillería, y en él enumeré las ventajas que hoy reconocen todos, entre las que figura el aumento de energía. Es un paso dado en el problema que persigo. El nitrido reemplaza con ventaja al fulminato, *produciendo mayor efecto con la mitad de carga*, y consiguiendo mayor seguridad en el manejo. Dos decigramos bastan para iniciar cualquier explosión, que después se multiplica considerablemente. Dejemos ya al nitrido ¹, en el que he de insistir más adelante.

El cebo, compuesto de la forma que antes se ha indicado, o sea de cápsula de nitrido y cilindro de trilita o tetralita, *ha de actuar sobre la mecha rápida*, y ésta sobre la masa del explosivo, disponiéndose convenientemente uno y otra. Entran ya en juego la onda explosiva y la velocidad de detonación, al emplazar el refe-

¹ Debo repetir la justificación del nombre que en dicha Memoria adopté para este nuevo compuesto, de acuerdo con la técnica moderna, que va modificándose a medida que aparecen nuevos cuerpos capaces de originar confusión. Así se observa al repasar el *Guttman's Terminologie*, que llama Jodür (Yoduro) a *la combinación más pobre en todo que con un metal puede hacerse* y Jodid (Yodido) a *la que contiene mayor cantidad de aquél*, citando como ejemplo el Quecksilberjodür HgY (Yoduro de mercurio), y el Quecksilberjodid HgY² (Yodido de mercurio).

Análogas indicaciones hace relativamente al bromo, que son extensivas al compuesto que me ocupa, las que obligan a aceptar el nombre de nitrido como traducción del característico Bleainitrid o Bleiazid, empleado por los alemanes, no siendo nueva en España esta nomenclatura que se halla citada en los modernos y notables autores Piñerúa (1906) y Bonilla (1911), que establecen diferencias, aunque con distinto carácter, entre las determinaciones *uro* e *ido*.

rido cebo, cuya forma exterior es la de un pequeño cilindro que suele tener 7 milímetros de diámetro y 40 de longitud, y a continuación la mecha instantánea o cordón detonante, con un diámetro de 8 milímetros, y la longitud y forma que sean necesarias. (En mi proyecto he de usar tan sólo la mecha cilíndrica; pero Dautriche ha empleado para trabajos de mina la forma aplastada.)

Es ocasión de precisar y aclarar conceptos, y a este fin, supóngase el caso más sencillo: *el cebo y un trozo rectilíneo de mecha están dispuestos como se ha indicado, pero aislados*, sin actuar sobre petardo alguno.

El movimiento vibratorio que tiene su origen en el expresado cebo, *se transmite longitudinalmente* en el largo y estrecho cilindro de explosivo encerrado en el tubo metálico, y la onda que por este concepto se desarrolla, a la que doy el nombre de *onda longitudinal*, como lo hizo Dautriche, es completamente diferente de las que, teniendo nacimiento en la superficie misma de la mecha o cordón, *se extiende en planos perpendiculares al eje de éste*. A una onda de este género debe dársele el nombre de *onda lateral*, y su naturaleza será en este caso, diferente de la que antes se ha mencionado.

Pero es costumbre darla el nombre de onda de choque, porque en general, es en dicho sentido (el lateral), en el que se producen los efectos explosivos, y de aquí la confusión y las incongruencias; pues, en realidad, este último nombre, o sea el de onda de choque, sólo debe aplicarse *a la que realiza los efectos que han de obtenerse*, sea cualquiera el cuerpo receptor, y se trate o no, de un detonador o de un petardo que haya de ejercer efecto destructor.

Como pretendo fijar las ideas, y, según he dicho antes, aclarar los conceptos que suelen aplicarse erróneamente, no he de hacer en este momento el análisis de ellos, porque es preferible exponer de antemano cuanto ha de figurar en la apreciación, sin lo cual, fuera imposible hacer ésta en las debidas condiciones; y a este efecto indicaré la diferencia de las ondas que, como las longitudinales de nuestro ejemplo, atraviesan una masa de explosivo, produciendo en él una amplificación que contrarresta la tendencia a

debilitarse, lo que hace tengan el nombre de *ondas entretenidas*, para distinguir las de las que no actúan sobre compuesto explosivo alguno.

Estas últimas tienen el carácter puramente físico, mientras que las otras participan del concepto físico y del químico, dada la sucesiva descomposición de las capas que reciben el choque; siendo de notar que el efecto o acción de las que tienen el carácter físico se va debilitando al no estar entretenida la onda; mientras que, en la acción sobre algún cuerpo, sea en contacto, o sea a distancia, *habrá de tenerse en cuenta la resultante de las ondas lateral y longitudinal* correspondientes al punto que se considere, la cual será en realidad *la verdadera onda de choque*, bien sea relativa a la superficie lateral, o a la que constituya la base del petardo, atacada por la onda longitudinal.

Tal sucede al considerar un petardo cebado, en el cual el detonador, compuesto en la forma anteriormente indicada (cebo y mecha en prolongación) sin llegar hasta la base de aquél (que va a suponerse de forma de un cilindro alargado) actúa sobre el explosivo, *convirtiéndose en onda entretenida la lateral que antes se ha considerado*, y resultando finalmente que, *en el petardo principal, se desarrollan a la vez las ondas longitudinal y lateral, ambas entretenidas*, y las ondas de choque que corresponden a una y otra, o sea en este caso las que *saliendo al exterior tienen su punto de partida en la base por una parte, y en la superficie lateral, por otra*.

He insistido tanto en esto por la confusión que he indicado existe al referirse a una y otras, llamándose tan pronto onda de choque a la normal al eje, como a la resultante (Vennin 74), cuando en realidad su verdadera interpretación se refiere *a la que sale al exterior, que en el caso de un petardo es la no entretenida*, que es la que produce el efecto deseado, bien actuando directamente sobre el objeto a destruir, o bien haciéndolo por influencia y a distancia, en cuyo caso sabido es que se va debilitando, como es lógico, a medida que se aleja del petardo.

Es este un estudio especial que no suele mencionarse en los textos, al que debe prestarse sumo interés, *porque el efecto producido no depende tan sólo de la velocidad interna, digámoslo así, sino de la que alcance la onda en el momento en que actúa*, por lo que habrá de tenerse presente cuanto se refiere a la propagación de las ondas de choque, verdaderas ondas utilizables en los distintos sentidos, de las que se ha ocupado detenidamente M. Crussard (*Comptes Rendues*, tomo CLVI, págs. 447 y 611) en sus trabajos analíticos acerca de la referida propagación ¹.

Hace referencia en ellos, a la onda de choque al propagarse en el aire, o sea partiendo de un petardo que en éste deba detonar; pero cuando la onda tenga lugar en el seno de un explosivo o sea *cuando se trate del efecto sobre él, de un detonador o multiplicador*, se complica el asunto por ser en este caso una onda entretenida, acerca de la cual ya he indicado que, análogamente a lo expresado con relación a M. Crussard, han estudiado la teoría analítica de la propagación de la onda en el interior de los explo-

¹ En dichos trabajos se demuestra que la atenuación que sufren las ondas obedece a la fórmula

$$V^2 t = K,$$

al mismo tiempo que tienen una ampliación proporcional a $\sqrt[3]{t}$.

Comprobación perfecta de esta teoría puede verse en los resultados de experiencias, que tan interesantes resultan, hechas por Vieille con sus aparatos *manométricos* *construidos especialmente para este objeto*; siendo conveniente anotar los resultados de una de las series de ellas, dedicada a determinar las *variaciones experimentadas por la onda de choque* que produce un cebo conteniendo 0,63 gramos de fulminato, observándose que la precisión de aquéllos era de un orden tal, que permitían apreciar intervalos de tiempo de una cienmilésima de segundo.

La onda de choque la conduce M. Vieille a través de tubos rectilíneos en un aparato y curvos en otros. Los números obtenidos son:

A distancia de 0,326 m. del cebo...	V = 1073 m. < 1''
» 0,532 » ... »	1049 »
» 1,131 » ... »	1006 »
» 2,359 » ... »	900 »
» 3,864 » ... »	737 »

En tubos curvos se acentúa notablemente la disminución, siendo dato curioso que a los 32 metros de distancia se haya debilitado la onda hasta tener una velocidad de 390 metros por segundo, mayor todavía que la de 340 que corresponde a la del sonido en el aire.

sivos sólidos, Taffanel y Dautriche (*Comptes Rendues*, tomo CLV, página 1.221), si bien *aparecen diferencias notables con los datos experimentales*, por cuyo motivo suelen éstos servir de base para las aplicaciones, observándose a la vez que los valores que se obtienen para la fuerza explosiva en función de la cual se establecen las fórmulas de la velocidad, no corresponden siempre con la realidad, principalmente en las altas presiones, debido sin duda a *inexactitud en las fórmulas químicas*.

Hago estas indicaciones para demostrar la necesidad de la experimentación en todos los casos, sin dejar de recurrir a las fórmulas teóricas, aun cuando sólo sea como primer punto de partida, debiendo anotar también la conclusión deducida por dichos autores, de que la descomposición explosiva es posible que no sea completa en las grandes densidades, a lo menos en la onda explosiva misma, *pudiendo terminarse la reacción detrás de la misma onda*. (*Comptes Rendues*, tomo CLV, pág. 1.595.)

Como se ve, debe repetirse una vez más que es en extremo complejo el problema de la detonación de los explosivos, siendo muchas y muy variadas las circunstancias que en él deben considerarse, por lo que fuera indispensable tenerlas todas en cuenta como ejerciendo influencia mancomunada en el fenómeno que nos ocupa, y así es la realidad; pero para deducirla, *preciso se hace un examen separado y metódico*, sin el cual resultaría imposible la exposición concreta de cuanto debe indicarse acerca del asunto.

Debo ocuparme, según lo dicho, del *estudio experimental de las dos clases de ondas* (longitudinal y lateral), fijando la pauta de unas y otras, mediante la medición de las correspondientes velocidades de detonación, para evitar las confusiones a que me he referido, y que a tan falsas interpretaciones y deducciones se presta.

La mencionada velocidad, a la que se refieren las fórmulas presentadas, *puede medirse experimentalmente* por el procedimiento indicado por Berthelot (*Sur la force des matières explosives*, tomo I, cap. VII), descrito también por Ureña (*Estudio teórico práctico de los explosivos*, pág. 113), o por el nuevo aparato

del doctor Mettegang (Mtz. Vivas, Rojas y Ladreda, pág. 377); existiendo también un método práctico muy interesante presentado por Dautriche, de que da cuenta el *Memorial de pólvoras y salitres* (tomo XIV, pág. 216) y de que me he ocupado en mi último folleto relativo a una nueva rompedora aérea ¹, fundado en el empleo de una mecha cronométrica que sirve de tipo de comparación.

¹ Reproduzco las indicaciones de dicho folleto, que son las siguientes: *El procedimiento de Dautriche para medir la velocidad de detonación* data del año 1906, y su idea fundamental se reduce a tomar como tipo la velocidad de una mecha rápida que de antemano ha sido medida por un cronógrafo de precisión.

Con este dato como punto de partida, se opera llenando con el explosivo que va a ensayarse un tubo y ejerciendo sobre él una compresión que le proporcione la densidad a que quiere conocerse la velocidad. (Las dimensiones más convenientes para la práctica de la operación son de 18 a 20 centímetros de longitud y 20 milímetros de diámetro interior; el tubo puede ser de cinc.)

El tubo se ceba por un extremo, y una vez fijo se ponen en contacto con él, en dos puntos a distancia D, que puede ser 10 centímetros, dos detonadores ligados respectivamente a dos trozos de la mecha cronométrica a que se ha aludido, cuya velocidad se llamará V. Las bases o culotes de estos detonadores o cebos, deben estar lo más adheridas que sea posible al tubo de ensayo, y fijas, como éste, para seguridad de la experiencia. Las longitudes convenientes para estos trozos de mecha son de un metro para el más próximo al cebo iniciador, y de 0,80 metros para el otro. Los extremos de las mechas se sujetan a una plancha de plomo en direcciones inversas, pero estableciendo el contacto de los últimos 20 centímetros de cada trozo.

En estas condiciones se hace una señal en el punto medio de los trozos en contacto, y se da fuego, con lo que se obtiene una impresión sobre el plomo, que corresponderá al punto en que se crucen las ondas de cada una de las mechas; deduciéndose la velocidad, de la distancia entre esta señal y la referencia marcada, cuya distancia se llamará d.

Para calcularla, basta observar la igualdad de los tiempos transcurridos en la detonación del explosivo en ensayo por una parte, y en la diferencia de los trozos cronométricos por otra. El correspondiente al primero se halla representado por la fórmula

$$t = \frac{D}{x}$$

(llamando x a la velocidad buscada).

El tiempo análogo que se refiere a la mecha cronométrica, se deduce de la velocidad tipo de ella y del espacio recorrido, que en este caso será

$$90 \div d - (70 - d) = 20 \div 2d,$$

Con este procedimiento, y a favor de la referida *mecha-tipo*, puede medirse la velocidad correspondiente a la transmisión de las ondas entre las diversas capas, o sea su *velocidad longitudinal de detonación*, y del mismo modo será fácil a su vez medir la *velocidad lateral*, es decir, la de la onda desarrollada en un plano perpendicular a la superficie lateral de la mecha o cartucho que debe someterse a la medida, bastando colocar los dos cebos en que termina la mecha cronométrica en tal forma, que uno de ellos esté en contacto con la superficie lateral y otro colocado en el mismo plano de la sección recta, pero a determinada distancia de la generatriz opuesta a la que está en contacto con el primer cebo (Dautriche la emplaza a la distancia de 10 milímetros).

Al hacerse estas medidas, *siempre se encuentra una diferencia entre la onda longitudinal y la lateral*, y dicha diferencia se pone más de relieve, por verificarse ésta a través de la envuelta metálica, lo que no sucede con la longitudinal en el caso de la mecha. Debo exponer los resultados obtenidos por dicho experi-

teniendo, por lo tanto, un valor representado por

$$t = \frac{20 + 2d}{v}$$

La igualdad de una y otra expresión proporciona el valor

$$x = v \frac{D}{20 + 2d}$$

para la velocidad que se busca, que será correspondiente a la densidad a que se ha operado.

Es necesario hacer presente que la determinación de la densidad ha de constituir la principal causa de error del procedimiento, deduciéndose de experiencias hechas que para tubos de 20 a 30 milímetros de diámetro con error de 0,5 milímetros en éste, corresponde a él un error de 5 a 3 por 100 en la densidad, siendo preciso, por lo tanto, que se mida con la mayor exactitud el referido diámetro.

El estudio perfecto de los explosivos exige la *determinación de la velocidad correspondiente a distintas densidades*, pudiendo dar origen a especiales curvas características de cada uno, en que las abscisas sean las densidades y las ordenadas estén constituidas por las velocidades de detonación. Esta es la marcha seguida por la Comisión francesa de substancias explosivas en varios trabajos, cuyo desarrollo ha sido expuesto en el *Memorial de pólvoras y salitres*.

mentador, ya que conviene siempre tener en cuenta las experiencias hechas cuando se trata de cualquier asunto en que se hayan de llevar a cabo otras análogas o deducir consecuencias especiales, y en este caso es tanto más interesante, cuanto que *se observan anomalías que se deben evitar*, y aun indicaré que *aparecen resultados que, en el caso actual, pudieran falsear las interpretaciones reales*, en perjuicio de las ideas, que entiendo deben deducirse.

En los ensayos a que me refiero, se trataba de *probar una mecha instantánea* o cordón detonante de tetranitrometilánilina (tetralita entre nosotros), acerca de la cual *el examen inicial había marcado ciertos defectos*, entre ellos el de estar inutilizadas las extremidades de diversos trozos y tener un diámetro poco constante, cuyo promedio era de 5,7 milímetros. La cubierta de plomo también presentaba algunas irregularidades.

La medida de la velocidad longitudinal de detonación, hecha con un trozo de 20 centímetros y con mecha cronométrica de 6.880 de velocidad, acusó un valor de 6.745 metros por 1'', o sea 135 metros menor que aquélla, y la efectuada para encontrar la *velocidad lateral*, medida también con igual mecha-tipo, 749 metros. Este resultado, comparado con la mecha reglamentaria en experiencia análoga, que acusa el número 1.043, indica *gran inferioridad de la tetranitrometilánilina ensayada, además de los defectos en la construcción de la mecha*, visibles en el primer reconocimiento, no estando en condiciones de apreciar la naturaleza de los primeros, en virtud de no haberse expuesto el análisis del explosivo en la Memoria que contiene los necesarios datos; pero es de notar la pequeña velocidad de detonación obtenida con relación a la mecha-tipo de ácido pícrico (melinita), cuando la de la tetralita es, según tengo indicado en anterior folleto, de 14.774 teórica y de 11.500 la práctica calculada, en vez de los 6.745 hallados en este caso.

Otra observación debo hacer en corroboración de la idea que he vertido relativa a las susodichas experiencias, y se refiere a la *prioridad dada en ellas al cebo exclusivo de fulminato*, con respecto al de la mecha o cordón, al deducir con aquél una velocidad

lateral de 1.229 metros, cuando señala la de 3.620 para la longitudinal; pero es de notar que para nuestro caso es esta última la principalmente aprovechable, y se observa que está precisamente en una gran inferioridad con respecto a las proporcionadas por ambas mechas, no obstante la circunstancia de *ser cinco gramos la cantidad de fulminato empleada*, a la que nunca debe llegarse con las cápsulas reglamentarias entre nosotros, cuyo máximo es dos gramos o su equivalencia, cuando se emplee otro tipo de ellas; porque sabido es que tan sólo cuando se emplean los cebos del comercio, se recurre a los que están constituidos por fulminato solo.

Son datos anotados en el *Memorial de pólvoras y salitres* (tomo xv, pág. 207) los que he relacionado, para deducir que *en los casos que aquí se consideran no pueden tomarse como tipo los números expresados*, y que de tomarlos, como parece deducirse de lo expuesto en la explicación de dicha experiencia, se cometerían grandes errores, ya que están dedicados exclusivamente a la prueba de una mecha reconocidamente defectuosa, lo que hace *no pueda darse carácter general al resultado de esta prueba*, como lo han de tener las reglas que ahora se sientan; antes al contrario, ha de considerarse inaplicable por tal causa y por el empleo de cinco gramos de fulminato ¹.

Son, sin embargo, de gran utilidad las indicaciones hechas y la exposición de los ensayos para deducir la *relación que existe entre la velocidad lateral y la longitudinal*, que, según los números apuntados, *varía entre un 11 y un 15 por 100*, en el caso de las dos mechas ensayadas, no prestando en cambio servicio alguno el conocimiento de la relación entre una y otra en el del fulminato, como no sea en el sentido de existir gran inferioridad en la longitudinal, que en su comparación con las del mismo nombre correspondientes a la mecha, obliga a preferir esta última en nuestro caso especial. Así, y aun lo que en las experiencias de Dautriche

¹ He considerado de necesidad la anotación en el texto de estas consecuencias, porque la forma en que está hecha la exposición de los ensayos parece acusar generalidad, que nunca puede tener, y es preciso poner de relieve esta circunstancia y la que se anota en el siguiente párrafo, relativa a la relación de las velocidades lateral y longitudinal.

pudiera parecer contradictorio, viene en apoyo de la tesis sustentada en mi folleto anterior como fundamental de la rompedora aérea, en la cual he de insistir más adelante.

He de hacer constar que en realidad las *experiencias que he citado como tipo* para realizar las que sean necesarias, se refieren a la onda entretenida con respecto a la longitudinal y a la no entretenida para la lateral, que son las estudiadas por Dautriche, dando a esta última el carácter de onda de choque; pero en el *estudio práctico completo*, ha de hacerse relación también a las ondas entretenidas en sentido lateral, debiendo en él adoptarse una marcha análoga, si bien deban realizarse los ensayos como dispuso Dautriche, quien los encaminaba a deducir enseñanzas acerca de la forma de onda, aunque no persiguiera el mismo objeto que aquí se indica. (*Memorial de pólvoras y salitres*, tomo xv, pág. 204.)

La *disposición adoptada* es con explosivo pulverulento, extendiendo sobre una plancha una capa de éste con altura de 5,5 milímetros y aplicando en la parte inferior, a través de orificios practicados en ella, los cebos correspondientes a la mecha cronométrica.

La experiencia debe ser extensiva a la onda entretenida en explosivo de distintas densidades, a cuyo fin cabe hacer petardos-cebo, modelo Granada, que las tengan diferentes, disponiéndose convenientemente para que los cebos de la mecha cronométrica ocupen distintas posiciones en cada uno de los ensayos que se realicen, que conviene sean hechos iniciándose la detonación con fulminato, con nítrido o con mecha de distintas clases, cuyas experiencias habrían de proporcionar un estudio bastante completo entre los efectos y los procedimientos de conseguirlos.

He hecho estas indicaciones, porque considero sea la mejor forma de completar la *unificación que pretendo realizar* mediante las ideas expuestas, pareciendo procedente presentar la norma de los ensayos que no se hayan llevado a cabo, para deducir prácticamente las consecuencias relativas al modo de actuar los explosivos según los dispositivos que he imaginado; y aunque los resultados se diferenciaron de los previstos, y no pudieran aplicarse aquéllos en la forma indicada, siempre me cabría la satisfacción

de haber contribuído a deducir consecuencias importantes y de gran utilidad.

Considero de sumo interés cuanto acabo de expresar, habiendo tenido siempre la norma de no desanimarme, aun cuando los resultados de alguna experiencia hayan sido infructuosos, porque la insistencia en ellos, mediante las modificaciones que la práctica aconseje, es la base para obtener buenos resultados. Así he podido llevar a cabo algunos trabajos en que la experiencia debía tener influencia notable, y sin este modo de ser, sin repetir un gran número de veces los ensayos, no pueden realizarse adelantos en ninguna industria, porque *el mayor error es suspender un trabajo por efecto de un fracaso, cuando los fundamentos están bien estudiados.*

He de poner ahora en evidencia una circunstancia que es lógico se tenga presente, y se refiere a la *naturaleza de la envoltura que se emplee para los ensayos*, que influye de un modo extraordinario en la velocidad de la onda explosiva. Esta influencia está confirmada por numerosas experiencias, siendo las más interesantes las que cita Auzenat (pág. 16), realizadas por él con el nitrato de metilo, las cuales dan interesantes resultados ¹, que indican la circunstancia de *obtenerse más velocidad con la envoltura más resistente*, existiendo diferencias de bastante importancia.

También conviene indicar la necesidad de que *la substancia empleada como cubierta tenga condiciones para la transmisión del movimiento vibratorio que caracteriza a la onda*, cuya influencia está asimismo evidenciada por experiencias interesantes, debiendo citarse las realizadas en la Escuela de Pirotecnia de Tolón (Auzenat 19), colocando cápsulas de fulminato en el centro de

Naturaleza de la envoltura.	Diámetro interior.	Espesor.	Velocidad por 1"
Caucho entretelado.....	5 m. m.	3,5 m. m.	1.616 m.
Vidrio.....	5 »	1 »	1.890 »
Idem.....	3 »	2 »	2.191 »
Idem.....	3 »	4,5 »	2.482 »
Acero.....	3 »	6 »	2.100 »

petardos de fulmicotón, e interponiendo entre unas y otros: 1.º, un tubo de oropel (clínquant); 2.º, un tubo de papel de estaño, y 3.º, uno de pluma de oca. El 1.º transmite bien las vibraciones (metal duro); el 2.º lo hace con pérdida (metal blando), y el 3.º no las transmite, por no vibrar la substancia que constituye el tubo.

No debo dejar de citar, al tratar de las vibraciones, el hecho curioso de que los trozos de granadas rompedoras quedan grabados con impresiones representantes de la constitución de la cubierta que lleva el explosivo, que en Granada hacen de punto de media, lo que indica *existir enérgicas vibraciones de la materia carbonizada*, obrando sobre el metal a alta temperatura.

* * *

Considero suficientes las ideas que para agrupar heterogéneos estudios he expuesto, dándoles unidad que sirviera como preliminar de éste, y deshaciendo errores de interpretación; con lo que puedo pasar a particularizarme con la *iniciación de las detonaciones, aplicable principalmente a las rompedoras que han de dispararse desde las naves aéreas*, artificio explosivo el más moderno, acerca del que debo indicar de antemano la *necesidad de que se adopte una forma diferente de las actualmente en uso*, porque lanzadas desde gran altura, han de obrar más por el efecto de su base (onda longitudinal) que por el de la superficie lateral (onda lateral). Por esta causa es conveniente que tengan *gran base y pequeña altura*, con lo que se establece ya una diferencia esencial entre ellas y las que hoy se emplean, y se aprovecha en su totalidad el efecto que es consecuencia de la velocidad longitudinal de detonación, o sea las ondas que emanan de la ancha base del artefacto.

He de sentar como fundamental, que considero punto de partida el que la primera o más elemental iniciación se verifique por medio de *cebos cargados con nítrido de plomo*, cuyas ventajas he puesto de relieve en distintos folletos, habiéndolo hecho también en anteriores párrafos; con la comprobación de interesantes experiencias hechas en Granada por el capitán de aquella fábrica, don Manuel Parada, el que, para medir la velocidad de detonación con

el aparato que posee dicho establecimiento, utilizó una mecha de 8 milímetros de diámetro, obtenida en la hilera, estirando un tubo de estaño lleno previamente con nítrido de plomo seco; y habiendo acusado en el tambor registrador, cuyo desarrollo es de 50 centímetros, con 80 vueltas por segundo, una longitud correspondiente a las dos roturas de línea, de 4,44 milímetros, dedujo ser de *9.009 metros* la referida velocidad. Debo hacer constar que, al comparar esta última con otras, tan sólo indica ser *muy superior a la obtenida para el fulminato de mercurio* y la de la trilita, si bien no anota números, no atreviéndome a apuntarlos, por ser propensa a errores la presentación de datos que tengan distinto punto de partida; pero no es esta sola la única condición de superioridad, sino que existen otras muchas favorables al nítrido, estando también comprobadas, por la *reciente adopción oficial* entre nosotros, y el uso que en Alemania se hace de dicho fulminante.

Marcada la idea del aumento de energía en esta primera iniciación, que hasta ahora en nada se diferencia de la que tiene lugar en los petardos corrientes, debo indicar que supongo a la masa total del explosivo con la *densidad límite* de que en el folleto relativo a las bases de una rompedora aérea he tratado ¹, porque

¹ Es muy frecuente hacer caso omiso de esta circunstancia de la densidad límite, que nunca debe ser desatendida, por los errores grandes que pudieran producirse, y conviene hacer la indicación, de que ni los estudios teóricos ni los ensayos en vaso cerrado permiten deducir con exactitud la influencia de la densidad, sobre todo en el terreno práctico, siendo necesario recurrir al método experimental, para medir la velocidad.

En perfecta relación ésta con el rendimiento, y sabido que el efecto útil de un explosivo es máximo, cuando está en las condiciones que le permiten obtener la máxima velocidad, según está perfectamente comprobado por la experiencia, es interesante el estudio especial de la correlación entre velocidades y densidades, para no incurrir en el colosal error de aumentar ésta, no sólo innecesariamente, sino produciendo efectos perjudiciales.

Hay que tener en cuenta también las verdaderas ideas relativas a la velocidad de referencia, para aclarar los errores de concepto que suelen existir en algunos escritos, relativos a la asimilación a las ondas sonoras, dependiente de la primera interpretación teórica que hubo de darse a la propagación de la onda explosiva, cuyo estudio está perfectamente deslindado y explicado por Hugoniot, siendo a su vez comprobada prácticamente la teoría, que no es factible explicar en este escrito.

Debo marcar también la conveniencia de hacer ensayos que se asemejen

aumentándola hasta dicho extremo, se obtiene el máximo efecto, ya que sería incompleta la detonación, con los valores anteriores y posteriores al de la referida densidad límite.

Para obtener el *verdadero y gran detonador*, que obre sobre la masa total del explosivo, es preciso multiplicar de un modo extraordinario los efectos del primitivo cebo, o sea del de nítrido que acaba de ocuparme, y de este especial multiplicador voy a tratar ahora, sentando en primer lugar sus *bases fundamentales*, y aclarando al mismo tiempo los conceptos diversos que, relativos a este nuevo modo de hacer las multiplicaciones, tengo adelantados en anterior folleto. El detonador constituido con el conjunto del primer cebo y este multiplicador podrá ser aplicable, no sólo a las rompedoras aéreas, sino también a las grandes masas de explosivo.

Las bases de referencia, que para mayor claridad voy a exponer separadamente, pueden dividirse en dos, correspondientes a las clases de multiplicaciones que caracterizan el sistema, y que pueden denominarse *multiplicación elemental y multiplicación compuesta*, debiendo indicar todavía otra mayor multiplicación que puede tener carácter especial o extraordinario.

Base primera, o multiplicación elemental.—Tiene su fundamento en las experiencias de Dautriche, insertas en el *Memorial de pólvoras y salitres* (tomo xv, pág. 204), de las que se deduce lo siguiente: *Si un petardo explosivo se ceba mediante el empleo de mecha rápida en dirección de su eje, toma una velocidad de detonación, que es rigurosamente igual a la de la mecha.*

Refiriéndome, para su aplicación, a los explosivos que preten-

lo más posible a las condiciones en que han de usarse los explosivos, aun cuando este modo de verificarlos parezca excesivamente costoso, al no tenerse en cuenta que el gasto inicial habría de compensar con exceso al que se verifica paulatinamente en los ensayos hechos *a priori*.

Los trabajos de la Comisión francesa de substancias explosivas corroboran este aserto, y puede citarse el de Mr. Dautriche en 1910, realizado en las canteras de Euville (Meuse). Las tablas insertas en las correspondientes memorias (Rapport núm. 250, de junio de 1912) demuestran la correlación entre los ensayos sobre el terreno y los que están prescritos como métodos de prueba, entre los cuales resultan los más prácticos los realizados con el plomo (Trauzl y aplastamiento), pero quizá pueda llegarse a mayor perfección con el empleo del sismógrafo.

do usar, o sea la trilita para el petardo y la tetralita para la mecha, cuyas velocidades de detonación son, respectivamente, de 7.000 y de 11.500 metros por segundo, según datos prácticos contenidos en el folleto a que he hecho referencia, se deduce claramente que un cartucho de trilita que detone a favor de un cebo ordinario, tendrá una velocidad de 7.000 metros, y si se tiende a continuación del cebo una mecha o cordón de tetralita, alcanzará aquél la velocidad de ésta, o sea 11.500 metros por segundo.

Se realiza así un fenómeno, que en realidad parece natural y que puede compararse a un *remolque de la onda*, haciendo el papel de remolcador la onda de mayor velocidad, que arrastra a la menos veloz, para acompañarla durante su trayecto. Es como si todo el petardo estuviese confeccionado con el explosivo más sensible.

He de hacer constar que la tetralita a que me refiero es la que Granada llama núm. 1, que por la mayor fluidez que tiene, comparada con la núm. 2, o sea la pentanitrodimetilanilina, puede llenar por completo el tubo de estaño o de plomo que se emplee, sin peligro de que resulte defectuosa como la que antes me ha ocupado, ensayada en 1909 por el comité francés de substancias explosivas.

Una vez mencionada la primera base fundamental, debo justificar, o demostrar, la realidad de la ampliación o multiplicación que puede conseguirse, y esta justificación se deduce precisamente del contenido del *Memorial de pólvoras y salitres* (tomo xv), en el cual, con motivo de especiales informes acerca de nuevos tipos de explosivos, cita Dautriche el resultado de las experiencias hechas por él, relativas al aumento en la velocidad de detonación longitudinal, que consigna en la pág. 204, en la que se observa que siendo de 5.000 metros la velocidad de detonación del explosivo del cartucho empleando el cebo ordinario, y de 6.880 la que tiene la mecha rápida usada como mecha tipo, la obtenida como de detonación longitudinal del cartucho mediante el cebado con la mecha resulta de 6.830 metros.

Hay un descenso de 50 metros con relación a la velocidad que debe obtenerse por efecto de la regla dada, pero esta diferencia es debida al modo algo imperfecto de hacer las mediciones, no produciendo en manera alguna el efecto de desvirtuarla.

Debe hacerse notar que *el procedimiento que en estas experiencias se ha empleado para cebar, es emplazar la mecha en el exterior, atada al cartucho, con lo cual resulta muy imperfecto el cebado, siendo esta la causa de que el rendimiento obtenido sea muy inferior al que proporciona el cebado central, que considero sea el mejor*; en el cual, no solamente está la mecha en contacto perfecto con el explosivo, sino que dista de las paredes del cartucho una cantidad que es la mitad de la que corresponde al caso del cebado longitudinal exterior.

Es conveniente la observación de que con el cebado por medio de la mecha en posición central-longitudinal, *resulta muy diferente el modo de acción que he de utilizar, del que tiene lugar en otras experiencias citadas por el mismo experimentador*, en los informes que da al comité de sustancias explosivas; puesto que las referidas experiencias se refieren a los efectos que produce el explosivo en las minas, introducidos los cartuchos en el taladro correspondiente, y las que hayan de realizarse con la rompedora aérea, así como las que sean preliminares de ellas, presuponen la caída del artefacto explosivo desde cierta altura, debiendo obrar, por lo tanto, sobre la superficie del terreno, convertida en blindaje de trinchera enterrada, o sobre otros tipos de blindaje que sirvan de resguardo, bien en obras de tierra o bien en los barcos.

No son aplicables, por lo tanto, los números que marcan los resultados de las referidas experiencias a que aludo, aunque lo son las ideas que las presiden, y aunque tenga anotados los valores tipo, debe esperarse para fijarlos a los que proporcionan otras nuevas que deban verificarse, adaptadas ya al distinto objeto que se persigue, teniendo en cuenta que, si bien los principios fundamentales son los mismos, si las propiedades primordiales del explosivo militar son idénticas a las que tienen los que hayan de emplearse en las minas, barrenos, etc., *los detalles habrán de variar* del uno al otro, y tanto es así, que sucede lo propio dentro de los mismos usos militares, en los que hay gran diferencia entre las condiciones que exigen los petardos de mano y las relativas a las rompedoras lanzadas con cañón, y aun más marcado quizá entre éstas y las que deban arrojarse desde las aeronaves.

Por esta razón había citado en mi anterior folleto solamente la propiedad fundamental, sin mencionar las consecuencias deducidas al ensayar explosivos distintos, para utilizarlos en el orden civil, por decirlo así. Por dicha causa no he tomado en consideración los resultados obtenidos por Dautriche en otros ensayos, que, por otra parte, son completamente independientes del que ha conducido a aceptar la regla especial del aumento de velocidad que me sirve de fundamento.

Considero conveniente hacer esta aclaración para *evitar confusiones y dudas* que pudieran resultar de la lectura de detalles y consecuencias de los referidos ensayos, de los que pudiera colegirse ser pequeña la diferencia en el rendimiento obtenido, al no tener en cuenta el objeto que en el orden de mis trabajos se persigue; pues si allí se obtienen ventajas reales y positivas, tan sólo en el caso de los explosivos sobre-oxigenados, como en los informes se indica, *estas ventajas se multiplican considerablemente tanto para ellos como para otras clases de explosivos* en el caso que yo considero, o sea al emplearlos para el lanzamiento desde las naves aéreas.

No podía extenderme demasiado en la Memoria anteriormente publicada, al tratar solamente de hacer en ella indicaciones generales y relativamente vagas que sirvieran de base a un proyecto de rompedora armada, en la que se hacía preciso desligar los conceptos que dejan de referirse a dicho modo de empleo, mediante cuya idea *deben estudiarse prácticamente las modificaciones que indico* y los ensayos que se pudieran hacer, para colegir las mayores o menores ventajas que de ellos hayan de conseguirse.

Preciso se hubiera hecho dar a dicha Memoria una mayor extensión, que no parecía conveniente, si bien por dicha causa debo ahora explayar más las ideas contenidas en ella, aunque incurra en repeticiones, para hacer ver el verdadero alcance de cuantos puntos se presentan del estudio práctico, del que en realidad no puede prescindirse, aunque los razonamientos, que han de servir de base, sean perfectos y concluyentes.

Es el primer punto que debo tocar, el relativo a la que *he llamado velocidad longitudinal de detonación*, de acuerdo con la

nomenclatura empleada por el autor de las experiencias, y he de repetir que no debe confundirse en modo alguno con la que el mismo llama *velocidad de propagación de la onda de choque*, emitida por una mecha rápida o cordón detonante, o más bien, según he indicado para este caso, *onda lateral*, distinguiéndose así de la longitudinal, que es lógico tenga velocidad mayor; expresada, como lo está la otra, por los números que anteriormente se han apuntado.

Insisto en las manifestaciones acerca del nombre de onda lateral, por considerar que esta insistencia contribuirá a evitar las confusiones que resultarían aceptando la nomenclatura de Dautriche, que debe modificarse, como he indicado, lo que está de acuerdo con las ideas de Vieille, sus estudios y los realizados por Hugoniot, citados en mi anterior Memoria, y debo aclarar, en definitiva, el concepto de la aceptada, indicando que *la onda, que debe llamarse de choque, es la que, emitida por una masa explosiva, sea la que sea, tiene lugar en el medio que la rodea, y a partir de los distintos elementos de la superficie de aquélla*, y si la masa explosiva es un petardo aislado, en forma que su superficie exterior no esté en contacto ni accione sobre otro explosivo, dicha onda de choque será la que actúe en los diversos sentidos, para producir el efecto que se desea.

Si, en cambio, la masa explosiva a que se hace referencia está rodeada por otro explosivo, como sucede al detonador incrustado en un petardo, las ondas de choque originadas por el detonador en sus diferentes superficies, al actuar sobre el explosivo, sufrirán una modificación debida a las reacciones que provocan en éste, tomando el lógico nombre a que he aludido de *ondas entretenidas*, para distinguirlas de las que obran, por decirlo así, en libertad, y que tienen el carácter de *ondas no entretenidas*.

No obstante la interpretación que he dado a los fundamentos que utilizo, debo hacer nueva manifestación relativa a la aparente discordancia entre las deducciones aquí apuntadas y las que expone Dautriche, que *no indica falsedad ni en éstas ni en aquéllas*, dados los distintos conceptos de unas y otras, por cuya causa no debe verse en cuanto llevo escrito crítica alguna de lo hecho por el sabio experimentador, sino más bien *una completa conformi-*

dad, por cuya causa he llamado aparente discordancia a las diferencias en los resultados.

Estas diferencias se explican dado el objeto de aquellas experiencias, y el que se persigue en las nuestras; pues el explosivo en aquéllas está encerrado en los orificios que se practican para los barrenos, que tienen pequeñísima base y gran altura, constituyendo verdadera salchicha explosiva, y en nuestro caso está constituido por un petardo de núcleo cilíndrico, cuya base es grande y la altura muy pequeña relativamente, dado que no llega ni aun a la magnitud de la base; el aprovechamiento de ondas de choque tendrá lugar exclusivamente con las laterales en aquel caso y con las longitudinales en el nuestro, o sea en el de lanzamiento desde una aeronave.

Dadas estas explicaciones, que he considerado indispensables, por abrigar la seguridad de que quien estudie en la fuente que me ha servido de base puede encontrar esas anomalías, sin fijarse quizá en que tan sólo son aparentes, he de insistir también en la idea de que la onda de choque lateral, desarrollada en forma no entretenida, es precisamente la estudiada por Dautriche, debiendo ser relativas las experiencias que puedan hacerse a la *longitudinal de igual naturaleza*, siguiendo para el estudio práctico, también indispensable, de las *ondas entretenidas*, la marcha que antes he indicado, empleada por aquél en sus especiales experiencias.

He de hacer constar que su interpretación pudiera tener aplicación en las *rompedoras ordinarias*, porque tienen la forma alargada, aun cuando relativamente no lo sean tanto como las empleadas en los barrenos. Existen en aquéllas límites marcados para su longitud, fijados próximamente en tres calibres, pasados los cuales resultan detonaciones incompletas, o sea que deja de entrar en acción parte de la carga explosiva.

Este hecho, deducido de la teoría y comprobado por experiencias que cita Macar en su obra titulada *Los explosivos militares violentos* (pág. 87), depende del modo de acción a que antes he aludido, según el cual, son principalmente las ondas de choque laterales las que entran en juego, teniendo muy pequeña influencia las que emanan de la base de la carga o culote del proyectil, como

puede observarse también al examinar el fraccionamiento de cualquier género de granadas rompedoras, en las que el troceo de dicho culote es de pequeña importancia con relación al de la superficie lateral, sobre todo en el tiro contra blindajes.

Es este un modo de obrar completamente diferente del que ahora me ocupa, en el que no puede hacer verdadero efecto un petardo alargado, como se observa haciendo detonar sobre el mismo terreno uno cualquiera de los reglamentarios en el Ejército, apoyándolo por su base menor, pudiendo comprobar la existencia de un embudo, notablemente inferior que el obtenido por el apoyo sobre la base que sea mayor.

Base segunda, o multiplicación compuesta.—Se fundamenta esta base con experiencias análogas a las anteriores, pero en las que no cabe interpretación. Está caracterizada por el *choque de ondas*, cuyo efecto no debe confundirse con el de las ondas de choque, a que tantas veces he aludido.

Depende esta ampliación de experiencias hechas también por el mismo operador, en las cuales, y mediante una ingeniosa disposición relativa de mecha, fulminato y explosivo, estudia la *impresión que sobre una plancha de plomo se ejerce en el momento del choque de dos ondas* que emiten las mechas rápidas y los fulminantes, empleados de modo especial, y aunque las ondas usadas en este caso por Dautriche no sean las longitudinales, la consecuencia es siempre que la impresión del referido choque, perfectamente marcada en una línea cuya forma y dirección se relaciona con las de las mechas y que aparece en evidencia mediante fotografías expuestas en la citada revista (tomo xv, pág. 206), permite deducir la consecuencia de *ser tan intenso el efecto del choque de dos ondas, que supera en mucho al producido por la que puede llamarse onda sencilla*, sea cualquiera su calificativo.

El efecto de este *choque de ondas*, que por la impresión en el plomo parece aproximarse al que produjera una onda sencilla de velocidad doble que la de la mecha en acción, se utiliza hoy con notable éxito en los petardos-cebo ideados por la Fábrica de Granada, y ya he dicho en anterior folleto que cabe ponerlo en acción también para una nueva multiplicación en el artificio que hoy me

ocupa, pues si era de 11.500 metros la velocidad utilizada con el empleo de la mecha interior, puede presumirse que resulte un efecto análogo al que produjera la de 20.000 metros en números redondos, cuando se utilice el referido choque de ondas ¹.

El medio de utilización es sencillo; en lugar de un cordón rectilíneo de mecha instantánea, *se emplaza ésta encorvándola de modo que sus dos extremidades se toquen*, y se ceban con un solo detonador. Las *ondas conjugadas* que circulan por las dos ramas chocarán en la parte media, llevando así al centro de la masa explosiva la acción de la cápsula o cebo iniciador, con la ampliación a que acabo de referirme.

Y no vaya a objetarse que, iniciada la toma de fuego en uno de los extremos del artificio, y producida en él la onda explosiva de 7.000 metros, que en el acto se amplía a 11.500, habrá de tener el petardo una desorganización con anterioridad al momento de verificarse el choque de ondas; antes al contrario, al haber emplazado en la parte central las partes de mecha donde ha de realizarse el referido choque, y al verificarse este último entre las ondas de aquélla, otro más enérgico tendrá lugar entre la onda de la primera mitad, ya accionada del petardo, que lleva, como acabo de indicar, la velocidad longitudinal de 11.500, y la segunda mitad, donde se ejerce un efecto comparable al de una onda de doble amplitud, que puede denominarse *onda compuesta*.

Pero no me contento con este choque, que es el que ha producido dicha onda; en lugar de un trozo curvado, *emplazo varios elementos reuniendo sus extremos y cebándolos con un solo detonador*. De este modo coexistirán todos los choques, originándo-

¹ Las experiencias hechas en los cursos de tiro con petardos-cebo en los que se utiliza el *choque de ondas*, acusan el empleo de una cantidad de explosivo mitad próximamente de la que corresponde a las fórmulas que pueden llamarse antiguas.

El *choque de ondas* produce este efecto; pero debe advertirse nuevamente, para la debida claridad, que no ha de confundirse la velocidad longitudinal que en este caso se toma en consideración, y que produce el nombre que he dado de *onda longitudinal*, con la que corresponde a la *onda lateral* emitida por la mecha, y que, según he dicho, llama Dautriche *onda de choque*. Será excesiva insistencia, pero la aclaración de este importante asunto así lo exige.

se otros entre las ondas compuestas, con una nueva y especial amplificación, que *da carácter a mi sistema*, reducido, como he dicho, al emplazamiento de un conjunto de mechas (ida y vuelta) que, formando una especie de miriñaque, proporciona las series de choques que constituyen la que puede denominarse *multiplicación compuesta*, y da al petardo una contextura análoga a la que tiene el cemento armado, pudiendo caracterizarlo con el nombre análogo de *petardo armado*.

La confección de un petardo constituido de este modo es sencillísima, toda vez que hoy se elaboran en Granada las cargas de trilita por fusión, y no hay más que introducir de antemano la armadura en el molde, sujetándola convenientemente y rellenándolo después; con lo que habrá de quedar aquélla aprisionada, en perfecto contacto con el explosivo, y favorecida la acción que como multiplicador ejerce; debiendo hacer constar que la rompedora aérea que haya de ser accionada por éste, ha de resultar también sencillísima y de un trazado adaptable a toda clase de modelos; si bien no debe utilizarse más que para los de dimensiones medias y mayores, sobre todo para estos últimos, en los que ha de presentar incalculables ventajas, dada la seguridad en el funcionamiento y la gran ampliación de la energía que se consigue.

He de hacer *nuevas comparaciones con las experiencias que han servido de base a la adopción del método caracterizado por el choque de ondas que empleo para la multiplicación*; ya que aquéllas, no obstante tener por único objetivo las ondas laterales, proporcionan verdadera ilustración en el asunto que me ocupa, acumulando más datos a los que haya podido deducir Granada en sus experiencias para la adopción del petardo-cebo que tiene dicho fundamento, cuyas ventajas han sido ratificadas en cuantas he tenido ocasión de presenciar.

Las referidas experiencias fueron realizadas en la forma que llevo indicada al tratar de las ondas entretenidas, análogas por otra parte a las que en nuestro país debieran practicarse, entre otras muchas conducentes al perfecto estudio de los explosivos, o sea extendiendo una capa de explosivo en polvo, de espesor de 5.5 milímetros, sobre una placa de plomo, disponiendo dos cebos

a pequeña distancia uno de otro, normalmente a la placa y haciéndolos detonar simultáneamente. En la parte central de ellos y perpendicularmente a la recta que los une, aparece una fuerte impresión rectilínea en la plancha, que demuestra el gran efecto del choque de las ondas emitidas en el explosivo, a partir de cada uno de los cebos.

Natural es la *necesidad de ampliar estas experiencias* mediante el ensayo de dos cebos acostados sobre la placa en situación opuesta, y aun estudiar los efectos que pudiera producir la parte central de una mecha instantánea, cebada en sus extremos; presentando también curiosidad e interés otras experiencias anotadas en el referido *Memorial de pólvoras y salitres* (tomo xv, página 205), en las que se obtienen notables choques de onda de distinta forma, según la disposición del cebado.

Así, disponiendo dos mechas paralelas y cebándolas en el mismo sentido, aparece señalado el choque por una recta paralela a las mechas y equidistante de ellas. Cuando éstas se hallan dispuestas en igual forma, pero cebadas en sentido contrario, la señal es una recta que forma un ángulo de 30 grados próximamente con ellas, y si se dispone un fulminato normalmente a la placa y una mecha acostada sobre ella, pero a distancia del fulminato, se obtiene una curva parabólica cuyo foco es el fulminante y cuya directriz forma un ángulo de 30 grados próximamente con la dirección de la mecha.

Estos fenómenos, realizados sobre una cantidad pequeña de explosivo pulverulento, en forma de delgada lámina extendida sobre la placa, tienen lugar también al estar los cebos y mechas en la masa del explosivo, dentro de la cual han de reproducirse grandes choques análogos a los explicados, sobre todo si se efectúan dentro de un petardo armado, en el que existen mechas aunque formando un cierto ángulo, así como centros de explosión o centros de choque que, constituidos en verdaderos cebos, originan nuevos y más esforzados choques.

Multiplificaciones especiales.—Constituye base para un nuevo aumento de energía la idea de *encerrar el conjunto*, una vez incrustado en el explosivo, en una *cubierta metálica*, con lo que se da facilidad para el manejo, además del referido aumento que

debe existir, dadas las experiencias de Auzenat que he citado, si bien deben repetirse, particularizándolas a este caso; mucho más cuanto que la curva representativa del aumento de efectos por este concepto debe tener un máximo con determinado espesor, pasado el cual empieza a descender, cuyo espesor será el *espesor límite* análogo a la densidad del mismo nombre.

Es *complemento también de este nuevo procedimiento de petardo armado* la idea de que en la base se inicie la recepción de la energía antes que en la superficie lateral, mediante la existencia de un cono hueco que ejerce el efecto análogo al de un aumento en la superficie de contacto del explosivo con el efecto a destruir, cuyo asunto no suele preocupar a los que manejan explosivos, porque en realidad no tiene gran importancia cuando de pequeñas masas se trata; pero al manipular con cantidades de consideración, la influencia es extremadamente grande, de tal modo, que no debe desecharse la idea del *aprovechamiento mayor de la energía*, proporcionando el doble rendimiento.

La demostración de que así sucede, es bien sencilla; pues habiéndose indicado ser la velocidad longitudinal de la onda mucho mayor que la lateral, la más enérgica y definitiva acción de los centros de choque tendrá lugar antes de que se desarrolle la acción lateral, y *la resultante tendrá una dirección que habrá de aproximarse a la normal a la superficie sobre que actúa el petardo, cumpliéndose con exactitud la condición que he indicado como necesaria, para que sea impuesta a los petardos constituidos con grandes cantidades de explosivo.*

He de hacer constar que *los efectos de mi sistema multiplicador se ponen más de relieve cuando se trata de explosivos sobre-origenados*, en los que aumenta de un modo notable el rendimiento, debido, sin duda, a la reacción entre los productos de detonación de la mecha y del explosivo, habiéndose obtenido en experiencias hechas aumentos comprendidos entre el 17 y 26 por 100, tan sólo por la acción de la mecha; acción que es una parte insignificante de los aumentos que se consiguen con el procedimiento que constituye el sistema del petardo armado.

Este asunto de variación en el explosivo, o *aumento de la*

potencia de éste, puede tomarse también en consideración, por estar íntimamente ligado con el que me ocupa en este momento; si bien no creo convenga llegar a la sobre-oxidación con los explosivos hasta hoy conocidos, aunque pueda intentarse un ligero aumento en el oxígeno, cuya idea cabe incluir ahora como pertinente, por tratarse de una multiplicación, que aumenta de un modo eficaz la energía del explosivo trilita y del multiplicador tetralita en forma de armadura.

Al exponer esta idea de especial multiplicación, no debo dejar de tomar en consideración la *tetranitro-anilina o tetralina* (como la denomina el capitán Rojas), por tener una potencia superior a la de los demás explosivos (incluso la tetralita), pero que no puede emplearse aislada por ser demasiado elevado su punto de fusión (215°).

Su gran densidad, la insolubilidad, el ser menos sensible al choque sin atacar los metales, y, por último, la facilidad de reunirse y emulsionarse con la trilita en proporciones determinadas (una a cuatro), formando un compuesto sólido, más pesado y potente que la trilita aislada, hace que pudiera quizá emplearse como *substancia multiplicadora* de los efectos de aquélla, siempre mediante una serie de experiencias que corroboren este aserto, si bien parezca ya confirmado, atendiendo a los datos publicados por algunas revistas. (*Zeitschrift für das Gesamte-Schiess und Sprengstoffwesen*, de mayo de 1913, y *Revista del centro Militar y Naval del Uruguay*, de diciembre del mismo año).

Una de las grandes ventajas de la tetralina, es haber aumentado la cantidad de oxígeno, como es necesario para aproximarse al ideal de producir la completa oxidación del carbono; cosa que no tiene lugar en los explosivos a que he hecho alusión anteriormente, pues la trilita tiene sólo un 18,5 por 100 de nitrógeno, faltándole 74 gramos de oxígeno por cada 100 de explosivo para la completa combustión interior; la tetralita tiene 24,4 de nitrógeno y le faltan 47 de oxígeno, y, por último, la tetralina tiene 25,6 por 100 de nitrógeno, faltándole tan sólo 32 gramos de oxígeno, o sea menos de la mitad que faltan a la trilita, y no debo dejar de consignar, como justificación de haber mencionado este explosivo, que en la

prueba Traulz resulta el número 430 para él, siendo 254 el de la trilita, y en la del péndulo balístico son los de 1.056 y 719, respectivamente.

Resumen de las multiplicaciones. Para mayor claridad de cuanto llevo expuesto, debo resumir las *ideas que presiden a este modo especial de iniciación de las detonaciones*, indicando que, comunicado el fuego al cebo inicial del detonador, constituido solamente por dos decigramos de nitrído de plomo y *originada en él la onda explosiva, se transmite y amplifica ésta mediante multiplicaciones sucesivas* que a continuación van a exponerse, no sin indicar antes que el empleo del nitrído es una verdadera medida de seguridad, dadas las especiales condiciones que tiene, y dada la circunstancia de haberse suprimido la influencia de la masa, por la exígua cantidad de nitrído empleada.

La *primera multiplicación* se realiza en el cebo mismo, análogo a los empleados en las granadas rompedoras que proyecté para el ejército y marina, el cual contiene, además del fulminante constituido por el nitrído que acabo de mencionar, un pequeño cilindro de trilita o tetralita de 0,8 gramos de peso. Este cilindro es, en realidad, el primer multiplicador.

El *segundo multiplicador* es también como el de las granadas citadas, y está constituido por otro cilindro mayor (25 a 30 gramos de trilita), con orificio para el cebo; habiendo recibido, a su vez, compresión menor que la del petardo principal, por lo que su densidad es menor que la de dicho petardo. Este segundo multiplicador debe ir también recubierto con su vaina de acero, por las causas que se llevan citadas, a las que se acumula la circunstancia de proporcionar un efecto análogo al que realiza el ataque en los petardos de mano. Su onda se supone de 7.000 metros, velocidad que corresponde a la trilita ¹.

¹ Es interesante que este nuevo multiplicador lleve su vaina de acero, por las causas que se indican en el texto, resultando comprobado en las experiencias que cita Auzemat, que no sólo se aumenta notablemente la energía con la expresada envuelta, sino que varía con la naturaleza de ella, siendo tanto mayor, cuanto mayor es su dureza. Las experiencias citadas las he anotado anteriormente, y en ellas se ven las grandes diferencias.

Se construyen grandes cargas para torpedos y otros artefactos sin el au-

Se ha de constituir el *tercer multiplicador* por una armadura compuesta de varios trozos de mecha rápida rellena de tetralita, curvados, en forma tal, que se reúnan las puntas formando un haz que debe ponerse en contacto con el segundo multiplicador, o con una cantidad de trilita que entre ambos se interponga. La onda explosiva que circula por esta armadura se transmite con su misma velocidad (11.500 metros por segundo), hasta el punto medio de cada trozo en que se verifica el *choque de ondas*, resultando una iniciación de la detonación principal, que tiene lugar con la velocidad referida; pero al realizarse el referido choque entre las respectivas *ondas conjugadas*, y producirse un efecto análogo al que haría una onda de mucha mayor amplitud, que denomino *onda compuesta*, se transmite ésta al petardo principal, en el que se verifican nuevos choques interiores de ondas, tanto entre estas últimas entre sí, como con las originadas en el mismo petardo.

Dichos choques interiores, con la detonación amplificada que es consecuencia de ellos y que ha de producir *un efecto que se eleve de un modo considerable sobre el de los petardos ordinarios*, caracterizan este sistema de detonador, que ha de actuar sobre el petardo explosivo que llene el interior de la rompedora aérea, o de un nuevo multiplicador encerrado en envuelta resistente que penetre en aquélla. Los resultados son fáciles de prever, dados los conseguidos en todos los casos en que han sido empleados para las destrucciones corrientes, los petardos-cebo en que se utiliza la modernísima idea del potente *choque de ondas explosivas*.

Estos resultados se hallan caracterizados por un aumento de

xilio de este elemento; pero como no hay medio de comprobar las diferencias reales, y el efecto, en globo, parece igual, no hay posibilidad de dictar reglas exactas.

Quizá el sismógrafo puede venir en ayuda de los estudios que deben hacerse, como ha servido ya en la guerra actual, para el descubrimiento de baterías y de sus calibres, y habré de pedir auxilio a mi amigo Mier sobre los detalles de la nueva aplicación que pretendo hacer, ya que me dió explicación satisfactoria del modo de ser de las estaciones sismográficas que en el frente inglés sirven al referido efecto.

Esta aplicación la tenía él prevista en su discurso de ingreso en esta Academia, al tratar (pág. 16) de los numerosos casos en que los sismógrafos han registrado las vibraciones del terreno, engendradas por salvas de artillería.

energía en el explosivo, cuya cuantía no me atrevo a prever, pero que será fácil determinar por la experiencia, y aunque el coste ha de ser algo mayor que el de un artefacto constituido de otro modo más sencillo, quedará compensado por el aumento extraordinario que en el efecto ha de conseguirse, y debo hacer constar al mismo tiempo, que los grandes modelos que hoy existen, para los que es más aplicable mi sistema, son de relativa complicación también, y aun mayor en algunos de ellos, como sucede con los recientemente proyectados que figuran en el Memorial de Artillería de abril último, en nota y dibujos tomados del *Scientific American*.

Y aun cuando para la debida comprobación práctica de los resultados que pretendo obtener sean precisas todavía algunas experiencias, según acabo de indicar, éstas tienen solamente el carácter de complementarias por estar comprobadas prácticamente las ideas fundamentales, existiendo nueva comprobación en nota reciente presentada a la Academia de Ciencias de París por los Sres. Kling y Florentin, relativa a los cebos, en la que indican que, no obstante disminuir la sensibilidad de ellos a bajas temperaturas, *no disminuye la fuerza que se origina, si el cebo es bastante potente para producir detonación total*; no modificándose tampoco el régimen de propagación de la onda explosiva.

Aun cuando he hecho ya un resumen del modo como se llevan a cabo las diversas multiplicaciones, no resisto a la tentación de incluir también la *explicación abreviada* que de este nuevo medio de realizarlas presento en la sesión pública, ya que la lectura de gran número de páginas resulta impracticable, por cuanto habría de alargarla extraordinariamente, contraviniendo la costumbre en estos actos. Este nuevo resumen ha de facilitar la comprensión del artificio, y por tal causa, espero se me perdone tanta insistencia en un sólo asunto. Indico a continuación la forma de exponerlo.

Voy a poner de relieve las ideas del aumento en la energía de las grandes masas explosivas, sobre todo las rompedoras aéreas, cuya forma empiezo por modificar, dotándolas de ancha base y pequeña altura, o sea una constitución completamente distinta de las que suelen usarse.

Primera idea de la multiplicación.—Si en lugar de producir

la detonación de un petardo con un cebo por el procedimiento corriente, o con cebo y multiplicador como lo hago en las rompedoras, pongo a continuación de éste una mecha instantánea o cordón detonante en sentido de la longitud del petardo, *la velocidad de detonación que longitudinalmente toma la onda de este último será la misma que la de la mecha*. Y como quiera que en ésta puedo emplear explosivo muy sensible, o sea la tetralita, con velocidad práctica de 11.500 metros por segundo, la trilita del petardo, que funcionaba con 7.000, amplifica hasta dichos 11.500 metros su velocidad longitudinal de detonación.

Se ha realizado un efecto que es análogo al de un remolque que hace la onda más veloz del explosivo más enérgico contenido en el estrecho cordón central, arrastrando a la menos veloz de la masa general del explosivo corriente, y resulta un hecho que es innegable, puesto que especiales experiencias lo han demostrado. Es lo que he denominado *multiplicación elemental*.

Segunda idea.—Si en vez de la mecha rectilínea emplazo un trozo encorvado, y reuno sus dos extremos ligándolos a un detonador, las ondas explosivas que emanan de éste, y originan *ondas conjugadas* en las dos ramas, experimentan un colosal choque en el punto medio de dicho trozo, produciéndose nueva onda, que puede tomar el nombre de *onda compuesta*, y que eleva el efecto a un doble del conseguido con la onda sencilla.

Este choque de ondas se emplea ya, aunque en otro concepto, con unos nuevos y pequeños petardos a que se da el nombre de petardos-cebo, que fabrica Granada. La ampliación al doble está demostrada prácticamente con ellos, en ensayos muy recientes de los cursos de tiro, e indicada en experiencias especiales, aunque no se haya utilizado en la forma y con el objeto que proyecto. Los 11.500 metros de la onda sencilla se han convertido en 20.000, en números redondos, por efecto del choque de ondas que origina la onda compuesta. Es la primera parte de la que he denominado *multiplicación compuesta*.

Tercera idea.—Reuno con el detonador los extremos de varios elementos curvados que afectan la forma indicada anteriormente, constituyendo un conjunto que se asemeja a un miriñaque.

Los emplazo en el interior de la gran masa explosiva, cosa que será fácil a Granada, dado el procedimiento de fusión que tiene implantado. Resulta de este modo el que puede llamarse *petardo armado*.

Las ondas emanadas del detonador, circulando al mismo tiempo por los trozos rectilíneos de la armadura, producen en los diversos elementos el choque a que antes he aludido, que origina en cada uno de ellos una onda compuesta, y realizándose simultáneamente estos efectos, nuevos y más enérgicos choques tendrán lugar *entre las diversas ondas compuestas* que acabo de mencionar, con lo que se obtiene la *definitiva multiplicación* que da carácter a mi sistema, y cuya cuantía no me atrevo a fijar, debiendo hacerlo la experiencia.

Cualquiera que sea el resultado de ella, cualquiera que sea también el límite que para la ampliación exista, podrá siempre asegurarse que, con el procedimiento tan ligeramente bosquejado, los primitivos dos decigramos de nitrado habrán producido ondas ampliadas de un poder tal, que se elevará de un modo extraordinario sobre el que hoy tienen los grandes petardos explosivos; las naves aéreas *multiplicarán notablemente su potencia ofensiva*, y se habrá resuelto un *problema que es de vital interés para nuestro Ejército, para la Marina y, como consecuencia, para la Nación entera*.

* * *

Una vez en evidencia los resultados que pueden obtenerse por efecto del nuevo modo de iniciación de las detonaciones en las grandes cargas de explosivo, *debe ponerse de relieve la necesidad de combinar las teorías fundamentales con los datos que proporcione la experiencia*, y no otra es la verdadera base de cuantos estudios se realicen en esta rama de la industria. Tiene, con efecto, esta clase de trabajos un carácter teórico-experimental, del que no pueden desprenderse por ningún concepto, y aunque algunos de los ensayos iniciales en que me fundo se hayan realizado en el extranjero, no así otros, como el relativo al choque de ondas, del que una parte ha tenido lugar en Granada, produciendo

los petardos-cebo, que son de utilidad incontestable, no sólo en el concepto como se mira en mi proyecto, sino en el de una seguridad grande para los trabajos de destrucción, en los que la nueva forma de cebar evita el principal peligro que suele existir durante las manipulaciones, porque no hay necesidad de ligar el fulminato hasta tener terminada la instalación de las cargas explosivas.

Son adelantos acumulados a otros que por fortuna van sucediéndose en nuestro país, donde existe en estos momentos cierto estímulo, que ha sobresalido últimamente en lo relativo a industrias militares, por el deseo de nacionalizarlas, sentando la base para que pueda contarse con un verdadero ejército industrial, que se debe movilizar con cierta frecuencia. Tales trabajos precisan el sostenimiento de una atmósfera puramente intelectual que, más densa que las brumas políticas, oculte o haga desaparecer éstas en mayor o menor grado, cual es la tendencia en otros países, con la ventaja de contrarrestar de este modo la esterilidad y apatía que antes se observaban en los campos industriales.

Esta será la mejor herencia que podremos dejar a las venideras generaciones, siendo idea que nos obliga a un sacrificio sin límites, para verla llevada a cabo dentro de las fuerzas y recursos de que pueda disponerse; *trabajo cuya realización se impone*, mucho más al estar facilitado por los muchos e incesantes que se están haciendo en el orden científico-industrial, favorecidos por la creación de sociedades especiales de creciente progreso, que han tenido por base principal el personal de esta Academia, y no debe dejarse sin ejecutar en breve plazo cuanto ya está iniciado, aunque se luche contra un enemigo invisible y desconocido; aunque existan las mayores dificultades.

Hoy es viable la necesaria constancia para vencerlas; hoy es fácil proseguir estudios, realizar descubrimientos y llevarlos a cabo sin que se corra peligro por su exposición, sin que ocurra el percance, que antiguamente era probable, de ser acusado por la inquisición de visionario y hereje, como sucedió a Galileo, cuando violentamente hubo de pronunciar la fórmula que se le impuso de «yo abjuro, yo maldigo y yo detesto el error del movimiento de la tierra».

Pero si no se corre este peligro, hay que pensar en otro, perjudicial a todos, cual es el de las fatales economías; y debo citarlo, porque es la valla que se opone a muchos adelantos, es el escollo que frecuentemente se encuentra y que, de no salvarlo, sería hoy más que nunca funesto, al exagerar la idea de ellas, al no poderse llevar a cabo cuanto precisa nuestra reconstitución industrial y militar, relacionadas y en indisoluble enlace hoy más que nunca.

Y no se objete insuficiencia en el *adelanto de nuestro país*, que en realidad es superior a lo que pudiera esperarse, dados los pocos recursos con que en general se ha contado; no se objete poca ilustración en el campo industrial, porque no es ya la rutina lo que impera en los talleres, como antes sucedía; no son prácticos solamente los que imponen los detalles de fabricación, que en lo que respecta a pólvoras elaboraban mediante recetas, con dosis indicadas en la famosa proporción de seis, as y as, que designaba las cantidades de salitre, azufre y carbón que componían este viejo producto, único explosivo que conocían; son ingenieros, son verdaderos hombres de ciencia los que se han iniciado en sus secretos antes de dirigir aquéllos, y que, enlazando la teoría con la práctica, obtienen resultados inmejorables.

Para ponerse al frente de sus talleres, *realizan previamente estudios teórico-prácticos* en los laboratorios; profundizan los más recónditos secretos que les mostraran sus profesores, siguiendo el camino marcado por éstos, y aun cuando no exista tiempo material durante su carrera para que puedan estudiar a conciencia los filosóficos conceptos vertidos por tantos y tantos sabios que se ocuparan de las ciencias, que son base principal de las diversas industrias, lo hay para penetrarse de los grandes progresos realizados en las distintas épocas con respecto a la suya.

No les es desconocida, por tanto, a los que fabrican pólvoras y explosivos, la feliz aplicación que de la Mecánica, Termodinámica y Cinética se hicieron al estudio de los sistemas químicos; saben cómo se originó la dinámica química, se han apercibido de cuantas leyes rigen en estos estudios y han podido penetrarse de la estrecha unión que ahora existe entre la química y la física; que si antes marchaban aisladas, hoy se prestan auxilio constante y mutuo.

No ha permanecido indiferente el Ejército al movimiento industrial y científico; antes al contrario, persuadido de que sin las armas que la Ciencia pone en manos del soldado (como decía el ilustre general Marvá en el Congreso de Zaragoza) es imposible luchar, de que las energías individuales y el más heroico valor son impotentes para improvisar el complicado material de los ejércitos modernos, sigue con interés cuantos adelantos se llevan a cabo, como lo demuestran el gran número de jefes y oficiales adscritos a Sociedades científicas, los trabajos especiales de las industrias militares, y los estudios que aparecen en distintas publicaciones; y a juzgar por las energías que hoy se despliegan en una y otra forma, cual sucede también en el elemento civil, España resurge vigorosa, esperando venturosos días que la aproximen al estado de prosperidad que en tiempos remotos hubo de alcanzar.

Favorecen esta idea las descentralizadoras corrientes que existen con respecto a muchos e importantes asuntos, extensivas a la industria, para acrecentar el material progreso que a gritos pide la nación entera, evitándose con él la necesidad de recurrir a importaciones de extrañas tierras, y a copiar del extranjero lo que pudiéramos tener con nuestros propios recursos, como nos ha sucedido en otra época de nuestra Historia, pues *España no volverá a ser grande, mientras no se libre en absoluto de la tutela industrial extranjera.*

Utilicemos, pues, el brioso resurgimiento a la vida científica, a la industrial y a la material que hoy se observa; emprendamos con actividad especiales trabajos para el aprovechamiento del suelo, del subsuelo y de los recursos con que se cuenta; cerremos las puertas a la indolencia y al abandono, procurando se abran al estudio y a la experimentación, para lograr con ello la mayor perfectividad, y hagamos que los ideales patrióticos fructifiquen en los espíritus con el vigor y lozanía que permitan un desarrollo integral, que sea causa eficiente para contrarrestar cuanto a tan elevados fines se oponga.

No he de insistir en estos deseos, en estas esperanzas; sería ofensa imperdonable pensar que no son deseos y esperanzas de

todos, y sería dejar injustificada nuestra historia; porque al tratarse de una *evolución regeneradora* debe tenerse en cuenta que, en los momentos de nuestro mayor engrandecimiento, en la época en que España era envidiada por las demás naciones, la cultura y civilización imperaban en ella, sobresaliendo por todos conceptos en tal forma, que se podrían citar nombres de eminentes filósofos, eruditos historiadores, jurisconsultos insignes, afamados médicos, arquitectos famosos, intrépidos navegantes, y, por fin, sabios matemáticos y esforzados capitanes, haciéndose interminable la lista de los nombres ilustres que a España dieron honra y prez y la colocaron a elevadísima altura.

Pero si no insisto en apreciaciones que pudieran parecer exageradas, si debo insistir en que *todo cuanto pueda fabricarse en la industrial Alemania, en la activa Inglaterra y en la fecunda América del Norte podemos nosotros elaborarlo*, mediante la protección conveniente y la extirpación de la arraigada y funesta idea de que son mejores que los nuestros los productos extranjeros, cuando es lo contrario en muchos, pudiendo citar el ejemplo de los que reconoció de esta naturaleza una comisión japonesa que visitó nuestra fábrica de pólvoras y de explosivos.

Dediquemos, pues, al estudio nuestras actividades y energías, inspirándonos en el ejemplo de nuestro llorado maestro, cuando decía, al contestar al notable discurso de ingreso en la Academia de mi querido compañero Krahe: «Séanos permitido buscar con ansia, entre las nubes de la pólvora y los explosivos, rayos de luz que alumbren un nuevo arranque de la civilización, de la que simbolizan las grandes naciones, y un nuevo esfuerzo en el orden intelectual de la patria española; sea nuestro lema: trabajo y esperanza.»

Perdonadme si no he sabido cumplir con vosotros cual es vuestro merecimiento. Perdonadme si no he podido honrar a mi antecesor, cual corresponde a la elevada alcornia que entre los sabios ostenta, y habréis de *perdonarme también el tema elegido*, del que ya tendré cansados a muchos de los que me escuchan; pero no puedo desechar la idea de que estas aficiones mías habrán

influido en vuestra elección, por lo que no debo olvidar el asunto de los explosivos, como no olvido nunca aquella preciada *Fábrica de Granada*, donde se elaboran, y que durante tantos años fué objeto de mis ensueños.

Así, y siempre que de este asunto me ocupo, se presentan ante mi vista sus talleres, sus máquinas y sus laboratorios; recuerdo con entusiasmo la espléndida situación que tiene, al elevarse como centinela que vigila con su poder explosivo la incomparable vega granadina, haciendo contraste con la fantástica Alhambra; pues sí las poéticas e inimitables torres que su recinto contiene parecen también atentos centinelas que aun siguen observando a las indómitas tribus agarenas, que huyen en confuso tropel por las fragosidades de Sierra Elvira, los bellos edificios de la fábrica examinan en cambio los caminos por donde afluyen en orden perfecto las primeras materias destinadas a transformarse en potentes pólvoras y explosivos, verdadera salvaguardia de nuestra querida Patria, y elemento el más importante que necesita el Ejército.

Y quiera Dios que del mismo modo que en pasados siglos la toma de Granada señaló los albores de una época gloriosa para la España de Carlos V, sean ahora, en el siglo actual, el resurgir de nuestras industrias y la reorganización de nuestro poder militar, los preludios de una era de grandezas y prosperidades, para la España de nuestro muy amado Rey Alfonso XIII.

CONTESTACIÓN

DEL H. MO. SEÑOR

D. JOSÉ RODRIGUEZ MOURELO

SEÑORES:

A gran honor tengo el dar la bienvenida a nuestro nuevo compañero el General Aranaz, en nombre de la Academia, y el haber sido designado para tal empeño, al que siento no corresponder en la medida del deseo y como lo requieren los merecimientos de mi querido amigo, de los que son muestra el discurso que acaba de leer, es para mí verdadero motivo de nuevo agradecimiento a la Corporación, a la que de tantas mercedes soy deudor. No por fórmula de cortesía, sino con la mayor sinceridad, he de hacer presente, al comenzar, este mi agradecimiento, que en la ocasión actual me da motivo para ensalzar cuanto yo pueda la labor y el trabajo de una *voluntad movida por un deseo, a la vez científico y patriótico*, que tal ha sido el impulso que ha recibido el General Aranaz para consagrarse a estos estudios, de suyo pacientes, a cada punto y hora más difíciles, que no dan otros provechos que los de la satisfacción interior del deber cumplido; porque las Ciencias son a la postre, como decía el inolvidable maestro D. José Echegaray, unas princesas muy hermosas, pero sin dote, y el conquistarlas es obra de caballeros andantes, que más se recrean en la hermosura y gentileza de su dama, que con el disfrute de una riqueza, sujeta a quebrantos y que las veleidades de la suerte pueden aniquilar, cuando la verdad pura es inmortal y no está sometida a las mudanzas ni a los tornadizos caprichos de la inconstante fortuna.

Muy acertadamente se llama desinteresada a la investigación científica, en el sentido de no ambicionar cuantos a ella se dedican

ciertas y determinadas mercedes; pero en otro sentido, más ideal, nada hay tan interesado como la conquista de la verdad, y el inquirirla por cualesquiera de los caminos que a ella conducen, siquiera sea el más estrecho sendero, y llegar a vislumbrar uno de sus inefables resplandores. Tal es el fin de las aspiraciones de los indagadores, el móvil de su trabajo, y no otra cosa ha realizado nuestro nuevo compañero, que nos ha traído las primicias de su esfuerzo en un discurso, consagrado a aquello que ha ocupado la mayor parte de su vida, de cuya labor deriva la novísima aplicación que intenta realizar de las mismas materias explosivas a cuyo estudio tantas vigílias ha consagrado.

Bastaría, en verdad, el discurso que acabáis de oír para acreditar el ingenio del General Aranaz y demostrar sus cualidades en lo que a la inventiva atañe, dentro de los estudios de su mayor preferencia; porque ha querido traernos una muestra de las aplicaciones del conocimiento de las propiedades de la onda explosiva y de las explosiones por influencia al aumento de la energía de un cierto explosivo que haya de ser arrojado —y ojalá nunca lo sea por manos ni por voluntad española— desde una aereonave. Acaso cumple así nuestro nuevo compañero los deberes de una tradición castiza, genuinamente española, y, al pensar en su nuevo invento, surge el recuerdo de aquellos artificieros que formaron un arte verdadero con sus ingenios y disposiciones, algunas de ellas meritísimas, mucho antes que el buen D. Domingo García Fernández hiciera sus trabajos acerca del salitre de Asturias y poco después que los Firrufino escribieran su libro *El Perfeto Artillero* (1648), algo más moderno que las artes y los ingenios del gran artillero Ramírez de Madrid. Que no hay que buscar para estas novedades fuera de casa los orígenes y antecedentes, que en casa los tenemos muy viejos y muy gloriosos.

No es el trabajo del Sr. Aranaz obra aislada y sola, sino resultado y coronamiento de la labor excelente y admirablemente orientada de su vida entera, y algo que encaja a maravilla dentro del cuadro de sus investigaciones y trabajos originales. Son éstos en gran copia y de variada índole, respondiendo los más a sus aficiones y vocación, y los otros a los cargos que durante su carrera le

han sido encomendados y a las funciones profesionales que con celebrado acierto ha desempeñado. En estas dos categorías pueden clasificarse sus trabajos, abundantes y sobremanera claros y metódicos. En la primera deben entrar las obras de carácter didáctico, que corresponden a su Profesorado en la Academia de Artillería de Segovia y la *Guía del Oficial de Artillería*, entrando en la segunda todo lo referente a los explosivos; y aun quedan otros trabajos profesionales y técnicos de diversos órdenes, casi todos referentes a diversos aspectos de las aplicaciones de la electricidad al alumbrado y a la iluminación en las artes de la guerra. Algunas obras, principalmente, marcan el paso del Sr. Aranaz por el Profesorado y son: *El Algodón pólvora y la Dinamita*, que data de 1876 y es un buen resumen de lo que en aquella sazón se sabía acerca de tan interesante asunto; *Las máquinas hidráulicas*, que lleva tres ediciones y en cuyas 315 páginas hay contenida mucha y excelente doctrina; las *Lecciones elementales de Perspectiva*, que en 1912 ya iba en la cuarta edición; *Los mecanismos*, libro excelente, que ha merecido de esta Academia el más laudatorio informe, y *Los explosivos militares*, obra de muchos alientos, en la cual ha puesto el Sr. Aranaz mucho de su propia cosecha y de su larga y bien enderezada experiencia en la materia.

Ocurre notar cómo el carácter didáctico de estas obras se advierte en otros trabajos del autor, y de qué manera aquella nota pedagógica que adquiriera, a los comienzos de su carrera, cuando fué llamado al Profesorado de la Academia de Segovia, persiste a través del tiempo. Enseñando adquirió ciertas ideas de reforma, se ejerció en un Arte de suyo difícil y que nunca llega a aprenderse totalmente, apreció deficiencias, vió errores, unos tradicionales, nacidos desgraciadamente otros de la falta de originalidad y sobra de imitación; de manera que, con la experiencia de entonces, cuando ya General estuvo al frente, y bien poco tiempo por desgracia, de la Instrucción Militar, pudo escribir, en el año de 1915, aquel folleto titulado *Orientaciones sobre la Enseñanza*, que, si de cortas dimensiones, contiene en sus páginas copiosa y excelente doctrina y es de muy provechosa lectura. De esta manera se enlazan los comienzos de la carrera profesional del señor

Aranaz y su Magisterio con los trabajos de la edad madura, viéndose cómo aquellas primeras ideas, que la experiencia de la Enseñanza y las dificultades del Magisterio le habían inculcado, persisten a través del tiempo, se maduran, se consolidan y se mejoran.

Con todo cuanto lleva dicho y escrito el General Aranaz, tocante a pólvoras y explosivos, puede formarse la categoría de que antes he hablado y que comprende una copiosa serie de Memorias y Estudios diversos, desde el premiado en 1902, que lleva por título *Clase de pólvoras y su aplicación a la Guerra*, hasta el trabajo cuya lectura habéis oído, hallándose, como términos intermedios, las Conferencias pronunciadas o leídas en los Congresos que lleva celebrados la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, en las que fueron tratados asuntos de tanta importancia como *La Industria Militar de las Pólvoras y Explosivos*, en Zaragoza, y bien recuerdo el comienzo de aquella interesantísima disertación, cuando el General Aranaz nos mostraba la horquilla de celuloide que acababa de comprar y nos decía que en el tocador de una señora había explosivos, y advertid cómo, consecuente con aquella idea, define en su discurso los explosivos diciendo, en mi sentir con el mayor acierto, que «todo cuerpo está en condiciones de ser explosivo» si las circunstancias de su génesis y de su descomposición son para ello apropiadas; la Conferencia del Congreso de Madrid versó acerca de *Los Explosivos y la Guerra Moderna*, y es un estudio magistral, que tuvo su complemento en las dos Conferencias del Congreso de Valladolid, la una sobre *La descomposición de las Pólvoras*, con las demostraciones de la mayor estabilidad y resistencia de las pólvoras modernas, comparadas con las viejas pólvoras negras, y la otra, pronunciada en el Ateneo de la histórica ciudad castellana, en la que trató de *El último explosivo y su aplicación en la guerra*.

Pero con ser todo esto de mérito nada escaso, hay en la labor del General Aranaz otras cosas de mayor entidad y de una originalidad indiscutible. Me refiero a sus estudios acerca de la granada rompedora primeramente; pues aunque en el extranjero se habían realizado excelentes experimentos y se había, en cierta medida, admitido su empleo, la idea de semejante proyectil para la

Artillería española, los experimentos hasta llegar a la adopción de un tipo conveniente, los estudios preliminares indispensables, los ensayos y experimentos, pertenecen de lleno a nuestro nuevo compañero. Aquí aparece el artificiero moderno, que aprovecha los precedentes, como es lógico, que utiliza cuanto anteriormente se hiciera en el mismo sentido; pero que le añade no pequeña parte de su propio ingenio, de su saber y de su experiencia personal ya dilatada, para llegar a un resultado aplicable a nuestra Artillería, dentro de nuestros medios y que en casa se pueda realizar. Y si bien consideramos el explosivo, o mejor diré artificio, de que acaba de mostrarnos los principios y cuyo fundamento es la multiplicación de la energía de un explosivo mediante las influencias de otro que la tiene mucho mayor, veremos que es una consecuencia, extensa y más general, de los estudios de la granada rompedora, cuyos efectos serán de seguro parecidos, aunque en la manera de realizarlos aparezcan distintos y varíe el modo de efectuar la explosión del proyectil.

Derivan, según mi entender, tales estudios de aplicación de otros, más especiales e intensos, tocante a la Mecánica y a la Química de los explosivos, realizados con un fin asimismo técnico y patriótico; pues no preciso recordar cómo una buena parte de la vida del General Aranaz se pasó en la Fábrica de Pólvoras de Granada. Allí la incomparable hermosura del sitio, la tranquilidad del medio, lo apacible de aquellos lugares, en donde la Naturaleza y el Arte han acumulado sus mayores bellezas, todo parecía apropiado a las meditaciones científicas, al trabajo paciente del investigador y a exaltar, con los recuerdos de pasadas grandezas y de las tradiciones más genuinamente españolas, la fe del patriota, sus convicciones de una regeneración por nuestro propio esfuerzo y nuestra bien dirigida labor. Y aquellas hermosuras de Granada, por ningunas otras del mundo igualadas, infunden en el ánimo un sano optimismo y una consoladora esperanza en la eficacia soberana del genio de la raza. A un tal sentimiento obedeció, acaso inconscientemente, nuestro nuevo compañero, y de ello nació el más importante de cuantos trabajos lleva realizados, que es también el más patriótico y de mayores alcances.

Quizá tenga en su haber otros más resonantes; pero esta labor paciente, árida, revolucionaria, en cuanto debía ser una verdadera lucha con la rutina, para llegar a conseguir, desde los estudios del laboratorio, que pudiese nacionalizarse la industria de aquel explosivo, de mejores resultados, de más fácil y nada peligroso manejo y de una eficacia superior a otros similares, que es el trinitrotolueno, llamado también trilita, emancipándonos del extranjero, la juzgo de un gran valor y de una constancia a toda prueba, porque significa a modo de una transformación de suma trascendencia, que nos hace avanzar en el buen camino, demostrando con hechos positivos la posibilidad de bastarnos a nosotros mismos en cosa tan delicada y difícil como los explosivos militares de muy variados géneros. En la Fábrica de Granada hay, desde los tiempos del General Aranaz, una excelente industria de explosivos, y los cebos que prepara resultan excelentes y los ensayos allí practicados fueron, no pocas veces, coronados por el acierto; de suerte que en este Establecimiento podrían ser preparados cuantos elementos y artificios se hayan menester para practicar los experimentos que el nuevo invento del General Aranaz reclama.

En compendio, tales son los merecimientos que lo traen a esta Academia y su bagaje científico en conjunto, encaminado a esclarecer cuestiones de orden elevado, relacionadas, a la continua, con las aplicaciones de las materias explosivas y con las industrias que más directamente representa el ilustre Cuerpo a que pertenece, el cual tiene en la Academia notable abolengo y las más honrosas tradiciones. Recuerda para ello el nuevo colega los nombres de aquellos artilleros que pertenecieron a la Corporación, y que fueron ejemplo de saber, de laboriosidad y de patriotismo. De dos de ellos fui amigo: los Generales Llave y Ollero; de Balzac conozco un Tratado de Mecánica; recuerdo que en mi juventud era muy celebrado el Tratado de Matemáticas de Odriózola; a don Agustín Valera se le cuenta entre los fundadores de esta Academia; la intervención de otro fundador, el artillero D. Francisco Luxán, en los trabajos iniciales de la Gea de España es conocida, y en los primeros tomos de nuestras Memorias aparecen sus estudios geológicos, para el tiempo notables, de algunas comarcas

españolas, y Senderos distinguióse en los trabajos, no tan conocidos como debieran serlo, de aquella primera Junta encargada de formar el Mapa de España y más Saavedra Meneses, autor, con el General Ibañez (figura de primer orden en la ciencia española), de la famosa regla geodésica, con que se midió la base de Madridejos con una precisión no ya superada, sino ni igualada antes ni después.

Recuerdo sólo algo de los merecimientos y de la labor de los artilleros principales que pertenecieron a la Academia, y que son, en cierta manera, los predecesores del General Aranzaz, a los cuales es bien consagrar un recuerdo en estos momentos, porque fueron de aquellos pocos que en unos tiempos de decadencia científica, de desaliento y de penuria intelectual, trabajaron y sostuvieron viva la llama del anhelo de saber y contribuyeron con los trabajos que les fué dado realizar a preparar los tiempos actuales, más fáciles y propicios para el adelanto de las Ciencias en España. En libros, de no escaso mérito algunos de ellos, y en los primeros volúmenes de las Memorias, dejaron un gran ejemplo que imitar nuestros fundadores, que cumplieron cuanto les fué dado, y en muy elevada esfera, la misión que les fuera encomendada al fundar la Real Academia de Ciencias. Todos merecen nuestro mayor agradecimiento, que de mi parte les tributo de la mejor voluntad, singularmente a aquellos que tuve por maestros, y a los que en sus libros me proporcionaron el goce de aprender algo útil para mi inteligencia.

Fueron activos partícipes en aquel malogrado movimiento de regeneración científica e industrial de España, en el prematuro renacimiento que con tan excelente voluntad iniciara el buen Rey Don Carlos III, los Institutos Militares, que con ello continuaban, en cierto modo, tradiciones muy gloriosas; de suerte que si prescindimos de aquel tiempo en que por males de nuestros pecados estuvimos sobradamente dormidos y sordos respecto de la Ciencia, de los trabajos de entonces viene lo actual, acrecentado con influencias externas, naturalmente, y más depurado con su contacto. En punto a esto, séame permitido recordar sólo el nombre de un artillero químico, que vivió en Segovia, y en la Academia de

Artillería, en los últimos años del siglo XVIII; me refiero a D. José Munarriz, afortunado traductor de la Química de Lavoisier, compañero del famoso Proust en la misma Academia de Segovia, con quien seguramente trabajó, y no poco, y a quien prestó eficacísima ayuda en la publicación de los *Anales del Real Laboratorio de Segovia*, que comienzan, a guisa de prólogo, con el famoso discurso *Sobre la enseñanza de la Química* del renombrado sabio francés, que tanto tiempo estuvo al servicio de España.

Seguramente está por hacer la biografía de este hombre ilustre, y acaso perdidos sus trabajos e investigaciones; pero no es aventurada la conjetura de que colaboró con Proust en la ley de las proporciones definidas; a lo menos debió ayudarle en la práctica de los numerosos análisis que tuvo necesidad de efectuar para llegar a su enunciado. Mi hipótesis estriba en el hecho de que la gestación de la tal ley fundamental de la Química se hizo en España durante los largos años de la estancia de Proust en Segovia y en Madrid. De todas suertes, Munarriz era un hombre muy enterado de los asuntos de la Química, y el haber traducido, primorosamente por cierto y en castizo español, la obra capital del excelso fundador de la Química, bien poco después de publicada en Francia, así lo demuestra. Por de pronto Munarriz es uno de los términos de aquella gloriosa tradición científica de la que el General Aranaz procede y que constituye, por ventura, uno de los timbres más preclaros y legítimos del Cuerpo de Artillería; pues no ha brotado el presente sin antecedentes, y las glorias de la colectividad son algo así como las glorias familiares, tanto más queridas cuanto más viejas.

Ganoso de aumentar los merecimientos del Cuerpo a que pertenece, que en tanta medida han acrecentado sus trabajos, viene a nosotros el General Aranaz, seguro de ser un excelente continuador de la tradición formada por sus predecesores, y seguros nosotros de que su labor ha de contribuir grandemente al esplendor de la Academia. Cuanto lleva hecho hasta el presente en la especialidad a que se ha dedicado de preferencia, es prenda segura de que su labor futura llenará las medidas de nuestras esperanzas.

Trae nuestro compañero una suerte de compromiso contraído, que la herencia le impone, porque a mucho obliga el suceder nada menos que a aquel hombre extraordinario, en quien se reunían, con la armonía y ponderación más completa, varias personalidades, a veces antagónicas. Sucede el General Aranaz al que fué por muchos años nuestro Presidente, a D. José Echegaray, y cuando de la sucesión de tal personalidad se trata, en este sitio y con esta ocasión, permitiréis que consagre brevísimas palabras a la memoria de aquel preclaro español. A ello me obliga un deber sagrado, el de la gratitud, que cumplo con toda mi mejor voluntad y me impulsan el cariño y el respetuoso afecto que guardaré mientras viva para aquel que fué mi amigo, mi maestro, y sobre todo mi desinteresado bienhechor. En otro lugar y en otro momento hube de ocuparme, a mi modo, en la labor admirable de Echegaray, acaso no tan estimada como debiera serlo, y aquí he de añadir muy poco a cuanto en aquella ocasión he escrito acerca del conjunto de su obra de divulgación de la Ciencia.

He de recordar que allá por el año de 1871 mi primer Profesor de Física, que era joven y fué arrebatado a la vida en lozana edad, me hizo leer un librito titulado *Teorías modernas de la Física*. Era la primera edición y no contenía aún los magistrales artículos nombrados: *El método empírico y el método racional en las Ciencias* y *El análisis espectral*, que sólo aparecieron en la segunda. Produjo aquella lectura tal impresión en mi imaginación de adolescente, que no sólo aprendí de memoria bastante de aquellos artículos, sino que ellos fueron los que decidieron mi vocación y la encaminaron hacia el estudio de aquellas ciencias tan hermosas. Guía fué, pues, D. José Echegaray de mis primeros estudios científicos, y también de mis primeros escritos.

Unos meses después me trajo la suerte a Madrid, y todos mis afanes eran ver al autor de aquel libro, cosa que no conseguí hasta bastante después, allá en 1873 y en un momento bien trágico, la noche famosa del 23 de Abril. Luego, al aparecer el autor dramático, romántico, revolucionario, con sus obras apasionadas y ardientes, no perdía un estreno y desde mi modesto anfiteatro aplaudía y me entusiasmaba, conforme lo hiciera leyendo sus artículos

de Ciencia. Anduvo el tiempo; fui, como muchos de los de mi época, al Ateneo, y en aquellos pasillos de la casa vieja, casa a la que tanto debo y tanto cariño tengo, estreché la mano de D. José Echegaray, fui su amigo y tuve la honra de que pusiese el prólogo a mi primer libro. La amistad se estrechó a cada punto y se convirtió en relación familiar, y cuando llegó el momento de aspirar a ocupar un puesto en esta Academia, él fué mi padrino, con mi amigo fraternal Carracido, y contestó a mi discurso de entrada. En Echegaray tuve siempre el más cariñoso consejero; jamás me faltaron pruebas de su afecto y siento por su memoria una suerte de veneración que el tiempo no extinguirá jamás. Su recuerdo es para mí algo como cosa de familia, y le conservo entre los más caros, con el mayor respeto y la mayor gratitud.

Insistir acerca de los merecimientos y de las no igualadas prendas del que fué nuestro Presidente, repetir los encomios de su labor y de su genio, volver al tema de encarecer sus méritos, como ejemplo de saber y de laboriosidad, o poner de relieve su patriotismo, cuando tanto y tan bueno se ha dicho y se ha escrito acerca de Echegaray, paréceme excusado. Pero sería imperdonable cosa, en tal sitio como este y en tal ocasión como la presente, que un agradecido, y profundamente agradecido, al tributar el homenaje de su afecto al gran maestro no dijese algo, no para enaltecerlo, que nadie puede hacerlo en la medida adonde sus dotes llegaron, sino para tomar de su vida nuevos ejemplos que presentar a los que comienzan la vida, a los que quieren consagrarse al estudio de las Ciencias y se sienten impulsados por la vocación hacia los nunca agotados campos de la investigación científica. Recordando algo de lo mucho excelente que ha dicho D. José Echegaray, rendiré el tributo que mi agradecimiento debe a su memoria y cumpliré el sagrado deber de recordarlo en esta que fué su casa y en momento tan solemne como es el presente.

Varias veces presidió Echegaray la Sección de Literatura del Ateneo de Madrid, y en una de ellas, hace ya de esto bastantes años, se discutió el interesantísimo tema de: *El origen del lenguaje*; llegado el momento de hacer el resumen de las discusiones, improvisó uno de sus discursos mejores, lleno de ideas originales, de

bellísimas imágenes y abundante de doctrina. En su sentir, el problema que se había estudiado no tenía una solución positiva y cierta, de las que no admiten réplica y llevan el convencimiento al ánimo; pero no por eso, decía el Sr. Echegaray, hemos de abandonar el problema y dejar de investigarlo. Vuela el águila, mirando a lo alto, pretendiendo llegar al mismo Sol, y bien sabemos que no llegará a semejantes alturas; ¿vamos por eso a cortarle las alas e impedirle que vuele? De ninguna manera; al Sol no llegará jamás; ¡pero quién sabe lo que encontrará en el camino! Sin duda recorrerá espacios hermosos, descansará en cumbres magníficas, donde respirará aire puro, que le dará ánimos y fuerzas para proseguir su camino, remontándose de nuevo con mayores alientos y renovadas aspiraciones.

Juntad esta hermosa idea y esta imagen de artista, y Echegaray lo era en grado eminente y ser artista era su cualidad más sobresaliente, con la realidad de las investigaciones experimentales, con estos afanes y estos trabajos en que andan, por los más variados caminos, los indagadores de la verdad inmortal en el orden de la Ciencia. A su posesión absoluta no llegarán ciertamente; pero en el camino, ¡cuántas hermosuras y bellezas encontrarán! No les cortemos las alas; bien al contrario, procuremos que el estudio y el trabajo se las hagan robustas para poder volar muy alto, que cuanto más se acerquen al Sol más luz tendrán y mejor apreciarán lo que sus sentidos perciben y su inteligencia comprende. Aquel que fué un ejemplo de trabajo, que en toda su larga vida no hizo sino trabajar, nos ha dejado la norma para el estudio y la indagación: mirar, como el águila, siempre a lo alto; colocar muy arriba las aspiraciones y los ideales, y no dejar de subir con el propio esfuerzo, tomando las energías de la fuente pura de nuestro mismo trabajo y de las propias ansias por alcanzar aquel ideal de la verdad pura y hermosa, que a muy pocos se aparece —y éstos son los elegidos— con todos los resplandores de su belleza. Sólo trabajando es como se merece y se alcanza a comprenderla.

Y en otra ocasión, más cercana de la presente, como Echegaray explicase, también en el Ateneo, una conferencia acerca de *La Torre de Eifel*, cuando acababa de ser construido este gran

monumento, hacía la observación de que sólo en su verdadero tamaño podía ser apreciada la belleza de aquella masa de hierro con tan singular arte dispuesta; si se reduce o se imita en un tamaño menor, la pierde por completo; por eso no resultan los objetos pequeños hechos imitándola. Así son las grandes ideas y los grandes ideales; para poder apreciarlos y sentirlos, es menester verlos y considerarlos de su tamaño verdadero; cuando se achican en los entendimientos o con las pasiones pequeñas, dejan de tener aquellas cualidades eminentes. Tal la idea de Patria, que rechaza la insignificancia de las banderías, de los partidos y de los grupos, que con la mezquindad de sus aspiraciones empequeñecen la idea más grande, tanto como puede serlo la de la madre fecunda de innumerables hijos. Y no es que la Patria sea la mayor o menor extensión de un territorio; la Patria es algo más que un pedazo de territorio: es el espíritu de una raza y es una lengua hablada por muchos millones de seres humanos. Por eso, a raíz de aquel desastre que nos quitó un pedazo de tierra española, y en una ocasión solemne, pudo decir Cajal, en un discurso pronunciado en el Paraninfo de la Universidad Central, aquella alentadora frase: «A Patria chica, alma grande».

Lejos, muy lejos de mi ánimo, el pretender añadir ni una tilde a lo que, tocante a explosivos y acerca de su nuevo invento, ha dicho con tanto acierto el General Aranaz. Si bien se mira, después de haber recordado sus méritos y de haber consagrado el tributo de mi gratitud a Echegaray, mi misión debía considerarse cumplida, en cuanto diera la bienvenida al compañero. Pero fuera descortesía notoria no añadir algunas palabras respecto de su discurso, sobre cuyo punto he de agregar que a ello me induce también el asunto que con tanta competencia ha tratado, el cual no puede ser más de mi gusto, ni encajar mejor en mis aficiones, que más de una vez se han dejado ir por este campo de las materias explosivas, aun a trueque de experimentar en vivo los nada agradables efectos de algunas de las más eficaces. Permitid, pues, en gracia de la brevedad con que lo haré, que exponga algunas ideas de mi cosecha.

Al glosar el discurso de mi buen amigo el General Aranaz —que sólo glosa de sus palabras serán las breves razones que aquí exponga— no pretendo en manera alguna hacer innovaciones, traer a cuento ciertas novedades, para encajarlas, bien o mal, en lo ya sabido, ni siquiera hacer esta fácil labor de la crítica ligera, tan al uso, especie singular de trabajo negativo, arma de los holgazanes y de los mal pensados. Está al presente mejor establecida que muchas otras la teoría de los explosivos, para pretender modificarla de buenas a primeras, y no he de entrar en pormenores acerca de los medios prácticos y teóricos de conocer las reacciones químicas inherentes de las explosiones y la velocidad de las mismas; *menos me ocuparé en lo referente al calor desarrollado, a volumen constante o a presión constante; de la temperatura de los gases producidos cuando se realiza la descomposición total de la materia explosiva; la de inflamación de ella, el volumen y la presión de estos mismos gases, la velocidad de la reacción y todo el conjunto de fenómenos que se producen, con extraordinaria violencia, con rapidez extraordinaria, propagándose en forma de onda, conforme se propagan la luz y el sonido.* Cuanto acerca de tan interesantes problemas pudiera yo decir se encuentra a maravilla tratado en libros muy notables, y sería repetir lo ya sabido.

Mejor que volver sobre la doctrina de la onda explosiva, cuyos principios aprovecha con singular acierto nuestro compañero en su nuevo artefacto de la multiplicación de la energía de un explosivo, o que repetir lo conocido al respecto de las explosiones por influencia y la intervención del tiempo en las explosiones. creo que debe consistir mi glosa en presentar algunas ideas referentes a uno de los elementos esenciales de muchas materias explosivas. al régimen del equilibrio de los sistemas que las constituyen y a las formas y maneras de su destrucción rápida, sacando los fundamentos de cuanto diga del magistral libro de Berthelot *La Fuerza de las Materias Explosivas conforme a la Termoquímica* y de ciertas doctrinas novísimas en la Química, debidas. en primer término, al raro ingenio de mi excelente amigo el Profesor Urbain. de Paris. Dentro de ellas encaja a maravilla, según entiendo, el nuevo invento, cuyos principios tan claramente ha expuesto en su

discurso el General Aranaz, llevando el convencimiento al ánimo de todos.

Bien pudiera decirse, reduciendo la doctrina a sus más elementales términos, que un explosivo es, a la postre, un sistema químico cuyo campo de existencia hállase sumamente restringido, al punto que una causa externa, en apariencia de escaso valor, puede destruirlo, con tal que sea capaz de alterarlo en un punto cualquiera de su masa. Si admitimos que todo sistema químico no es un sistema estático, sino que su equilibrio, aun en los más estables, es movable y hay en ellos una tendencia a la disgregación tanto mayor cuanto más débiles sean los lazos de todo linaje que mantienen unidos los elementos del sistema, resulta que los cuerpos explosivos representan agregados particulares, por veces complejos, que pudieran calificarse de sistemas metastables.

Nada se opone a ello, porque las reacciones generadoras son de aquellas que absorben calor y, en general, los enlaces de los elementos constitutivos son débiles y sobremanera alterables. La condición de la metastabilidad explica el por qué, iniciada la descomposición en un punto de la masa, se propaga a toda ella con mayor o menor velocidad, pero siempre rápidamente; el desarrollo de temperatura en grado tal que los productos de la descomposición resultan gaseosos; el de las presiones, y cuantos fenómenos son inherentes de la explosión. Si bien la consideramos, se diferencia de las reacciones químicas corrientes sólo en la intensidad de los efectos, algunos de los cuales, como la temperatura y la presión, son capaces de producir reacciones singulares, de orden secundario y del género de las disociaciones por el calor; por donde venimos a parar en que la explosión es, en resumen, un efecto termoquímico de un cierto carácter, gobernable a voluntad, y cuya velocidad se puede regir en la mayoría de los casos. Pero no se pasa el límite del campo de existencia de un sistema explosivo si una acción externa del mismo no lo perturba en un punto de la masa, papel reservado, en la práctica, a los cebos y detonadores, cuyos oficios son, en cierta medida, comparables al de los catalizadores en las reacciones químicas ordinarias, con la diferencia que en los cebos se inicia la descomposición mediante una ma-

teria que ella misma se destruye, y cuya velocidad de explosión es siempre bastante mayor que la correspondiente a toda la masa del explosivo que ha de detonar por su influjo, produciendo, en fin de cuentas, el enorme efecto mecánico proporcional a la expansión de los gases.

Conviene detenerse un punto en la consideración de los cebos y en sus analogías con los catalizadores, por cuanto en ello se funda el procedimiento que preconiza el General Aranaz para conseguir la multiplicación de los efectos en sus nuevas granadas. Generalmente los explosivos son mezclas, muchas de ellas ricas de oxígeno, con el objeto de lograr una combustión completa; el ideal sería una mezcla cuyos productos de descomposición, a la mayor y más considerable temperatura, fuesen gases simples, es decir, un sistema capaz de llegar instantáneamente al grado máximo de la disociación química, a lo que pudiéramos llamar la muerte química, que como tal debe considerarse el retorno a la simplicidad de los elementos. Verdad que el cebo provoca la reacción como los catalizadores, rompe en un punto el equilibrio, de suyo poco estable, del sistema; pero es a expensas de él mismo: es un sistema todavía menos estable que el explosivo; su velocidad de descomposición, y por tanto su energía, son mucho más considerables y provoca en un punto la descomposición de la masa, que se continúa y propaga en forma de onda; pero no hay, que sepamos, las reacciones intermedias peculiares de los catalizadores y en particular de los que, formados por metales reducidos, intervienen en las hidrogenaciones, y que ya utiliza la industria.

Ocurre, sin embargo, que el cebo puede regular la velocidad de la explosión, y aun actuar sin descomponerse ni intervenir químicamente en ella. Tal acontece en muchas mezclas explosivas gaseosas, y sirva de ejemplo la de hidrógeno y cloro en volúmenes iguales; es de las que mejor y con más violencia detonan, y todo el mundo sabe que la explosión violentísima se provoca con sólo exponer esta mezcla a la acción de un rayo de sol; a la luz difusa la reacción es lenta y en la oscuridad no se produce, lo cual quiere decir que la intensidad de la iluminación, puesto que

aquí la luz ejerce de cebo y es un catalizador positivo perfecto, regula la explosión de un tan enérgico explosivo, y es de suerte que se puede medir su intensidad, hasta cierto punto, por la cantidad de ácido clorhídrico gaseoso producido en la reacción, y precisamente la reacción de que trato ha servido, y se utiliza todavía con buenos resultados, para apreciar el valor de las acciones químicas de la luz. Bunsen y Roscoe la emplearon en sus clásicas medidas fotoquímicas.

De esta manera, a lo menos en el sistema explosivo del ejemplo, vese que la disposición de actuar el agente productor de la explosión, y su intensidad, condicionan realmente la forma de producirse y la energía de la misma, al punto que es a voluntad regulable la velocidad de la formación de ácido clorhídrico, y el caso no lo juzgo único. Por donde venimos a parar en que las modificaciones del limitado campo de existencia de los sistemas explosivos y su metastabilidad son funciones de los medios y formas de provocar sus alteraciones, algo, al cabo, que se relaciona con las condiciones del medio en que se hallan y con la manera de existir de cada sistema, en lo cual entran, además de su composición respectiva, la masa, la presión, los obstáculos que se opongan al desprendimiento de los gases producidos y la energía del cebo, y la velocidad con la cual detone. De suerte que, conforme a la doctrina expuesta por el General Aranaz, y confirmada en el ejemplo que he puesto, la velocidad de un sistema explosivo puede multiplicarse, en la forma que indico, si la del cebo correspondiente es mucho más considerable y ese cebo actúa, directa e inmediatamente, no sobre un solo punto de la masa del explosivo, sino sobre una zona considerable de la masa y al mismo tiempo sobre todos los puntos de esta zona, y no en unos después de otros.

Parece que así deba suceder; algunos hechos análogos pueden invocarse en favor de la conjetura y también ciertos ensayos ya llevados a cabo; pero esto no es suficiente. Se necesita preparar científicamente y realizar todo un conjunto de metódicos experimentos, encaminados a determinar y precisar la dicha multiplicación y su cuantía, las condiciones en que puede realizarse, llevándola del laboratorio a la práctica industrial, determinando la efica-

cia positiva del procedimiento; construir luego el proyectil, conforme a los datos que suministren los ensayos del laboratorio, y a su vez ensayarlo, con el fin de asegurarse de su excelencia y corregir sus defectos, si los tuviere. Sin esta labor, que no es corta ni fácil, sería inútil pretender, de buenas a primeras, llevar a la práctica ningún invento, no ya en materias explosivas, que es de suyo asunto harto dificultoso, sino en todo linaje de novedades y teorías, que todas han menester la sanción de los hechos, así sean las más ingeniosas y científicas, y cuando tal sanción les faltare deben ser desechadas.

En estas materias tocantes a los experimentos de laboratorio, de suyo pacientes, largos y trabajosos, y a la investigación científica, que requiere, por de contado, vocación bien probada, sólida base de conocimientos fundamentales, cierta habilidad técnica, ingenio y una tenaz constancia, a prueba de desengaños y fracasos, ocúrreme que siempre es oportuno y viene muy a cuento recordar cuanto acerca de ello dijo nuestro ilustre compañero Cajal en su discurso de ingreso en esta Academia, ampliado luego en el libro de más sabrosa, amena y útil enseñanza, para cuantos pretenden ser investigadores o se sienten con ánimos para emprender la labor experimental. Y añadiré que todos debemos tener presentes los admirables consejos del sabio investigador y adoptarlos en nuestros trabajos personales de laboratorio. No se hace el investigador con sólo haberse aprendido en las aulas un libro, más o menos malo, de una ciencia experimental como es la Química, ni se alcanzan resultados positivos de buenas a primeras; menos todavía se llega a grandes cosas con poco trabajo, que la verdad es una dama muy bella y no concede sus favores más pequeños sino al que hace mucho y muy bueno para conseguirlos; exige mucha constancia, abnegación sin límites, rendirle toda la voluntad y no dejar un punto de servirla y cultivarla.

Quizá es lo más cierto aquella suerte de axioma del experimentador que dice: «Nada enseña tanto como un experimento mal hecho, cuando se logra saber por qué ha salido mal»; aconseja que declara cómo no en los grandes éxitos, sino mejor en los cotidianos fracasos es menester aprender y tomar las enseñanzas de la

mayor eficacia. Por eso es vano intentar que vengan los aciertos sin ensayos y por el solo esfuerzo de la voluntad y del discurso, así sea éste el mejor y más científicamente encaminado, sin el estudio previo, de suyo largo y difícil, sin la cultura indispensable y sin el trabajo necesario, a prueba de fracasos. Ni se deben abordar de primeras los grandes problemas o intentar resolver las cuestiones de más dificultad; se encuentran en las sencillas, y como quien dice al alcance de la mano, campos dilatados donde ejercitarse el investigador; que no hay vida suficiente para abarcar estos problemas corrientes y resolver o plantear alguno a derechas. Debemos tener presente que experimentar vale tanto como medir, y las buenas medidas son difíciles.

Fuera inútil el ocultar las dificultades de la investigación original en punto a las materias explosivas. Constituyen un problema arduo, extenso, complicado, que atañe a su constitución química como sistemas metastables, considerados así en el sentido de la Termodinámica, y si interesante es el estudio de su estado estático, lo es más todavía su descomposición, las condiciones y modo de realizarla, las circunstancias de que depende, sus diversos productos y la manera como varían conforme a las condiciones de las mismas explosiones, y multitud de otras cuestiones que atañen tanto a la Química como a la Mecánica especiales de los explosivos. Pero la dificultad de la investigación no debe en modo alguno excusarnos de emprenderla, antes ha de servir como estímulo para realizarla; ni la falta de medios de experimentar disculpa tampoco el no trabajar, que mucho puede hacerse con lo que tenemos, y el buen ingenio y acertado discurso suplen muchas veces los grandes medios experimentales. En todo linaje de cosas, y en la investigación muy particularmente, la voluntad derechamente encaminada, ejercitada con tenaz constancia y ayudada de sólida instrucción, hace los mayores milagros y consigue verdaderos prodigios.

Realizar esta labor personal y llevarla a cabo vale tanto como emanciparse de la tutela de fuera y significa crear, hacer, llegar a producir Ciencia; y la aspiración, en todos los órdenes de la vida,

debe ser el emanciparnos, el bastarnos a nosotros mismos y poder contribuir con algo original, por pequeño que sea, a aumentar el caudal, cada vez más rico, del saber universal. Y esto lo mismo en la Ciencia pura que en la Industria, que es al cabo una extensión de la Ciencia, derivada precisamente de la labor de los investigadores. Tocante a la industria de los explosivos, ya se ha realizado algo importante, y precisamente todo el esfuerzo del General Aranaz, mientras rigió la Fábrica de Granada, se encaminó en el sentido de la emancipación industrial, habiendo andado para ello mucho camino, que es menester proseguir con mayores bríos a cada momento, realizando así una obra de sumo interés científico y del más puro y elevado patriotismo, porque hora es de salir de esta suerte de minoridad y de demostrar que el ingenio español es capaz de realizar descubrimientos, de estudiar los problemas científicos y de hacer Ciencia propia.

Grandemente interesante resulta, al tratarse de la constitución de los sistemas explosivos y de los campos de la existencia de su equilibrio, el considerar esta suerte de compenetración de lo químico y lo mecánico, que van a la continua unidos y ni un punto pueden ser separados en el estudio de la íntima constitución de aquellos sistemas. Como agregados metastables los hemos definido, y en tal grado, que manifiestan una tendencia considerable a reaccionar y resolverse en combinaciones tan sencillas como agua, anhídrido carbónico y nitrógeno, en el caso más favorable; pero es de advertir cómo este tan deleznable equilibrio, que miramos desde el punto de vista termodinámico, hállese condicionado por las relaciones químicas que mantienen unidos los distintos elementos del sistema. Y aquí viene de molde el intentar una aplicación, que juzgo por todo extremo racional, de lo que mi amigo el Profesor Urbain ha llamado contención o sujeción química, a lo que pudiéramos llamar equilibrio dinámico de los sistemas explosivos.

Se debe admitir, en buena doctrina, que en todo sistema y agregado capaz de reaccionar químicamente hay una suerte de energía de enlace entre los elementos que lo constituyen. Esta energía tiene algo de freno y se opone, naturalmente, con mayor o menor

fuerza, a la variación del estado de equilibrio, y en no pocas ocasiones es lo único que mantiene unidos los elementos del dicho sistema, impidiendo su disgregación y acabamiento. Es esta energía algo interno, que pudiera llamarse frotamiento químico, y atañe a los enlaces atómicos. Para Urbain, en todo sistema metastable la contención química es manifiesta, como la única fuerza que se opone a la ruina del agregado tan deleznable y de vida efímera y lo mantiene en ese estado de equilibrio, que desde fuera y a voluntad del investigador puede ser en un momento destruido. De la propia suerte, a voluntad puede modificarse y constituirse esta contención química, en cuanto somos dueños de modificar la forma, el sentido y el valor de los enlaces. Así se puede ver cómo en estos sistemas metastables la movilidad de su equilibrio resulta bastante complicada, aunque sea lenta en ocasiones; porque, no sólo cambian los resultados de romperlo, sino que interviene este otro factor, de suma importancia, que es la contención química, suerte de energía de enlace que tanto interviene, por ejemplo, en los complejos minerales.

Hoy nos es permitido considerar, en un sistema poco estable, dos suertes de energías que, aunque movable una de ellas, coexisten en dos zonas capaces de ser modificadas con cierta independencia. Así, puede el sistema recorrer una serie de estados de equilibrio metastable, y permanecer la contención química, siempre que esto se realice en condiciones apropiadas. Por eso decía antes que el problema de las materias explosivas y de su investigación, considerándolo desde el punto de vista teórico y fundamental, es en extremo complejo y puede comprender, en el sentido en que ahora hablo, una parte que hace relación con la Termodinámica y otra que más directamente se relaciona con la Química y con los equilibrios químicos.

Tenemos que, admitiendo la idea de la contención química, en el sentido indicado, las nociones de la valencia resultan ser algo más que una hipótesis tan ingeniosa como útil y adquieren una realidad admirable. Es la valencia a modo de una energía del átomo, variable según las circunstancias, propia del ión a veces, por cuanto admitimos las valencias intraiónicas, pero que tiene de con-

tinuo este carácter de energía de enlace, tanto más enérgica cuanto es éste más sencillo y que se opone a los cambios, hasta el punto que no toda esta energía se gasta o transforma de una vez, que hay valencias residuales y valencias secundarias y valencias de coordinación cuya existencia demuestranla los complejos, cuya constitución depende, en gran número de ellos, de estas valencias. El no ser fijas y permanentes, y sus cambios y variaciones conforme a los cuerpos que componen los sistemas, los mismos cambios en la forma de los enlaces, que explican no pocos casos de isomeria, todo ello viene en apoyo de esta feliz idea de la contención química, que es inherente de la metaestabilidad de los sistemas de la naturaleza de los explosivos, y de ahí dedúcese asimismo el que puedan estos sistemas reaccionar químicamente de modo diferente, conforme a las condiciones externas de alterarlos y a las formas empleadas para destruirlos, y eso que, en realidad, casi siempre se trata de una oxidación, llevada a término de diversos modos, conforme a la naturaleza del sistema y a los efectos que hayan de ser producidos. El haber averiguado esto constituye, a mi ver, el principio de la industria de los explosivos y el fundamento de su utilización.

Intentaré ilustrar las ideas esbozadas con un ejemplo sencillo, tomado de los explosivos. Sea el nitrógeno, antes tenido por cuerpo tipo de cuerpos inertes y ahora considerado como el más revolucionario de todos los elementos químicos. Toda la química del nitrógeno estriba en sus enlaces, es decir, en la contención química de los sistemas que forma, sean binarios o múltiples, y se puede decir que hay todo linaje de equilibrios, de grados de estabilidad, de campos de existencia, efimeros y dilatados, de complejos, de explosivos, de moléculas completas y de residuos que hacen de radicales. Es la variación de la contención química o los grados de la energía de enlace lo que explica la diversidad de propiedades de los nitruros, cuerpos ahora fáciles de formar, que antes sólo eran conocidos como rarezas algunos de los metales pesados, cuando al presente hay métodos para obtener todas las combinaciones de este linaje, algunas de ellas entradas ya en los dominios de la industria.

Una serie tal como la de los nitruros, prescindiendo ya de los metálicos propiamente dichos, presenta cuantas variaciones se puedan pensar; así el nitruro de boro, por ejemplo, es de una gran estabilidad, y la combinación del iodo y el nitrógeno, que tiene el carácter de una amina, es un formidable explosivo y de tan efímera vida, en cuanto agregado químico, que el más ligero roce es parte a destruirlo, provocando la explosión; en cambio, el amoníaco, que es el tipo de las aminas, puede considerarse como un complejo perfecto y sistema muy estable; lo son algunos de los óxidos de nitrógeno, casi todos, si exceptuamos los anhídridos, moléculas incompletas, en verdadero estado de contención química, todos oxidantes, propios para entrar en los sistemas explosivos y fáciles para reaccionar de muy variados modos. A estos compuestos binarios es preciso agregar otros, ya más complicados tocante a los enlaces, como las hidracinas, de marcado carácter básico, con todo el cortejo de sus derivados, entre los que se cuenta el famoso ácido nitrohídrico, cuya sal de plomo es particularmente un enérgico explosivo, ahora muy empleado en los cebos. Las variaciones de funciones de éstos, que son a la postre nitruros, sus cambios de estabilidad, sus distintas propiedades, son función de la energía de enlace, de su valor y de su forma, en particular de su forma, o sea de la manera de estar ligado el nitrógeno al otro elemento.

Junto a estas combinaciones es menester poner las del propio nitrógeno con el carbono, desde el subnitruro, tan inestable, al pernitruro, que es, como otros sistemas semejantes, un formidable explosivo, pasando por el cianógeno, origen y fundamento de los nitrilos, de los cuales los acetilénicos especialmente, brindan abundantes temas de investigación, y las carbilaminas o isonitrilos, cuya metamería es causada sólo por la distinta manera de enlazarse el carbono y el nitrógeno. Recuerdo nada más estas agrupaciones fundamentales para hacer patente cómo sus diferencias, variantes y propiedades dependen de los grados y de la forma de esta energía que se denomina contención química o energía de enlace. Y es de notar cómo semejante carácter, que se acusa en el modo de actuar de los grupos elementales, lo conservan y se lo

imprimen a los sistemas en que entran de alguna forma, por lo cual está justificado el llamar al nitrógeno el elemento revolucionario de la Química y uno de los cuerpos más útiles, que si destruye, también crea y forma parte integrante y es uno de los constituyentes esenciales de la materia viva.

Vienen de molde, como vemos, las nociones de la metaestabilidad de los sistemas y la contención química en la doctrina general de los explosivos, y paréceme que han de contribuir, en gran manera, a esclarecer los problemas de su constitución, todavía no bien resueltos, y de su descomposición, en la que tanto interviene la forma de llevarla a cabo y el fin en que ha de ser utilizada. Con las nuevas ideas, recibe también nuevo impulso la Química de los explosivos, tan fecunda y tan adelantada a la hora presente, si bien hartamente desviada de sus fines más elevados. Lejos de rechazar una idea nueva o de admitirla de buenas a primeras, debe tratarse de hallarle aplicación a lo conocido, de utilizarla y de generalizarla, puesto que puede conducirnos a nuevos descubrimientos y servirnos de guía en las interpretaciones de lo desconocido. Por lo mismo me he permitido apuntar aquí, a guisa de comentario y glosa del discurso de mi querido amigo el General Aranaz, estas nuevas ideas, siquiera no haya logrado hacerlo con aquella claridad y precisión que demanda su importancia y pide su trascendencia; porque alcanzan a muy arduos y novísimos problemas de esta Ciencia moderna de la Química-Física, que por dicha cuenta en España muy hábiles y afortunados investigadores.

Liganse efectivamente todas las Ciencias de la Naturaleza por su objeto primordial, que es conocerla y precisar sus leyes, y se diferencian, en realidad, sólo por los medios que cada una pone en práctica y aprovecha para lograr aquel fin soberano, suprema aspiración de los investigadores de todo linaje. Poco importa que en los pormenores aparezcan las Ciencias muy separadas, cuando allá en la pura y elevada región de las ideas sus aspiraciones se confunden y llegan a unirse con estrecho abrazo de hermanas que han llegado al mismo término llevando distintos caminos. Tal sucede con la Física, la Química y la Mecánica en los tiempos actuales, en que su separación es ya imposible. ¿Y no creéis que a

ello ha contribuído, en mucha parte, el estudio y conocimiento de los sistemas explosivos, que tanto tiene de químico como de físico y de mecánico?

Y ya es hora terminar esta árida disertación. No debo hacerlo, sin embargo, antes de pedir que me sea perdonado el haber entretenido sobrado tiempo a este ilustre concurso, en gracia de la buena intención y de mis deseos de enaltecer todo lo que en mí estuviera el trabajo del nuevo compañero. Además, mis aficiones por los explosivos, cuya química es cosa admirable y una de las mas elevadas muestras del ingenio humano, me ha hecho entreteneros con exceso y dilatar más de lo debido la imposición de la medalla académica, que por tanto tiempo llevó nuestro D. José Eche-garay, al ilustre General Aranaz. Permitid que sea el primero en felicitarle, por mí y por la Academia, que por unánime voto lo trae a este sitio, y que exprese mi admiración por su discurso, en el que nos regala con las primicias de un invento singular, derivado de aquellos mismos estudios y de aquellas investigaciones que lo llevaron a adoptar, después de prolijos ensayos, un tipo de granada rompedora y a los trabajos de laboratorio en la Fábrica de Granada, de los cuales es consecuencia cuanto ha realizado tocante a este gran explosivo llamado trilita, de terribles efectos y de fácil manejo, sin riesgos ni peligros inmediatos. El General Aranaz es, en tal sentido, uno de los meritisimos iniciadores de esta grande aspiración de nacionalizar la industria de los explosivos militares, para bastarnos a nosotros mismos por el estudio y el trabajo de todos.

Muy cordialmente doy la bienvenida a mi querido amigo, haciendo votos fervientes para que su invento sea sometido a aquellas pruebas y ensayos que ha menester, cuyos resultados serán indudablemente satisfactorios, porque se funda en principios científicos bien establecidos, en otros experimentos anteriores y en la larga práctica de la materia de los explosivos. Pero al desearle el más completo y satisfactorio éxito en la nueva empresa, también hago votos, los más fervientes, para que esa nueva granada no estalle jamás en tierra española, sobre este suelo sagrado y santo

de la Patria, ni manos españolas sepan nunca arrojlarla, ni voluntad española mande jamás que sea arrojada de ninguna aereonave, y este mi deseo será el de cuantos de alguna manera cultiven la Ciencia y sean amantes de ella.

A cultivarla con nuestro trabajo incesante debemos encaminar la voluntad y dirigir sus esfuerzos, nunca a fines de destrucción. Que las materias explosivas y el invento del General Aranaz han de servir, no para quitar vidas, sino para formar vidas, para crear intereses, perfeccionar la vida, alegrarla y facilitarla. Tal debe ser el fin de nuestras aspiraciones, de nuestros trabajos y de nuestros ideales, que han de ponerse muy elevados, porque deben ser los santos ideales de la Ciencia, de la Patria y de la Humanidad.