

## GÉNESIS HISTÓRICA, ENUNCIADO Y EVOLUCIÓN DEL ANÁLISIS DIMENSIONAL DE JULIO PALACIOS

FRANCISCO GONZÁLEZ DE POSADA  
Universidad Politécnica de Madrid  
FRANCISCO A. GONZÁLEZ REDONDO  
Universidad Complutense de Madrid

### RESUMEN

*En la historia del Análisis Dimensional, disciplina científica establecida como tal a partir de la edición del libro Dimensional Analysis de P. W. Bridgman, ha destacado la singular obra de Julio Palacios por ser una de las contribuciones más importantes. En este trabajo se realiza la historiación de esta aportación de un científico español, que se justifica tanto por su importancia científica intrínseca como por su gran difusión internacional.*

### ABSTRACT

*In the development of the scientific discipline Dimensional Analysis, in the line established by P. W. Bridgman with his book Dimensional Analysis, the work of Julio Palacios stands out as one of the most important contributions. In this paper the history of his ideas is studied and justified not only due to its intrinsic scientific importance and international spreading, but for the Spanish nationality of the man as well.*

Palabras clave: Análisis Dimensional, Percy W. Bridgman, España, Física, Julio Palacios Martínez, Matemáticas, Siglo XX

### 1. A modo de introducción. Notas biográficas de Julio Palacios'

Julio Palacios Martínez nace en Paniza (Campo de Cariñena, Zaragoza) el 12 de abril de 1891. Estudia el Bachillerato en el Instituto de Huesca y, tras unos primeros estudios superiores con vista al ingreso en la Escuela de

Ingenieros Agrónomos, obtiene en 1911 la Licenciatura en Ciencias Exactas y Físicas en la Universidad de Barcelona, donde se considera alumno predilecto de Esteban Terradas. Trasladado a Madrid, trabaja en el Laboratorio de Investigaciones Físicas de la Junta para Ampliación de Estudios con Blas Cabrera, quien le acoge y dirigirá la Tesis Doctoral leída en 1914. En abril de 1916 obtiene por oposición la cátedra de Termología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central (¡a sus 25 años!).

Recién obtenida la cátedra, y en plena Primera Guerra Mundial, se traslada a Leyden (Holanda), por indicación de Cabrera, para trabajar con H. Kamerlingh Onnes en su Laboratorio de Bajas Temperaturas. Junto a estos trabajos experimentales, que se publicarán en holandés, inglés y español, Palacios (como hizo constar siempre en su *curriculum vitae*) asiste a los cursos de Física Teórica de Konrad Lorentz y a los coloquios de Paul Ehrenfest.

A su regreso en 1918 retoma las tareas docentes en la Facultad de Ciencias y las investigadoras (experimentales), primero en el Laboratorio de Investigaciones Físicas, y, a partir de 1932 en el Instituto Nacional de Física y Química —dirigidos ambos, sucesivamente, por Blas Cabrera—, en los que será Jefe de la Sección de Rayos X.

Finalizada la Guerra Civil se reincorpora a la cátedra pero no a los institutos del nuevo C.S.I.C., de los que fue apartado. Confinado durante unos meses en Almansa en 1944 por adherirse al «manifiesto de D. Juan de Borbón desde Lausanne», su vida desde 1947 a 1961 transcurre entre Madrid y Lisboa (donde dirige nuevos grupos de investigación experimental), dedicado esencialmente a escribir los libros en los que estudiaron varias generaciones de físicos españoles<sup>2</sup>.

## 2. Hacia la primera formulación teórica de «lo dimensional» en la obra de Palacios<sup>3</sup>

Como se apuntó en la breve reseña biográfica del párrafo anterior, Palacios, al concluir la Guerra Civil española, en plena madurez científica (está en el entorno de los cincuenta años) se vio obligado a abandonar el trabajo experimental y pasó a dedicarse de inmediato y con gran intensidad al ámbito de «lo dimensional». Los primeros resultados de sus investigaciones teóricas los presentó en el discurso de [re-]apertura de las actividades de la Academia de Ciencias de Madrid<sup>4</sup>, el 5 de febrero de 1941.

### 2.1. El primer trabajo «dimensional»

Este trabajo, que tenía el título *Magnitudes y unidades electromagnéticas*, lo concibió como una mera exposición informativa de que en el estudio de la Electricidad se había producido el *milagro [...] la posibilidad de reemplazar los tres sistemas [de unidades] en uso por un sistema único*. Lograda esta unificación,

«quedará para el erudito el estudio de la abstrusa teoría de las ecuaciones dimensionales, iniciada por Fourier y desarrollada posteriormente por Ehrenfest [Afanassjewa] con grandes pretensiones de generalidad y de fundamentación lógica. Esta teoría ha desempeñado y desempeña en estos momentos un importantísimo papel, pues es la que sirvió para establecer el sistema cegesimal, que con tanto fruto viene utilizándose en Mecánica, en Calor y en Óptica, y ella es la que sirve de norma para la nueva ordenación en el campo del Electromagnetismo. Todo parece indicar que, con esto, quedan agotadas sus posibilidades y que, como carece de trascendencia metafísica, bastará recoger de ella la preciosa regla de la homogeneidad de las fórmulas, tan útil en la práctica».

Pero junto al tratamiento de las magnitudes y las unidades del Electromagnetismo, Palacios [1941b y c] hace una exposición de los diferentes capítulos de índole general que debieran tenerse en cuenta en ese tema: a) las definiciones de las magnitudes físicas; b) las ecuaciones dimensionales (explicitando que éstas no definen magnitudes); c) las paradojas debidas al uso incorrecto de las ecuaciones dimensionales; d) las magnitudes sin dimensiones; e) la homogeneidad de las fórmulas físicas; f) la obtención de fórmulas físicas por consideraciones dimensionales; y g) las constantes características y las constantes universales.

Y detecta algunos problemas abiertos: a) la necesidad de distinguir entre sistemas de magnitudes y sistemas de unidades; b) las condiciones que habían de cumplir los segundos para ser acordes; c) que las dimensiones no daban la esencia de las magnitudes porque aquéllas cambiaban al cambiar de sistema; y d) aunque en ese momento no le parecía conceder mucha importancia, que no se haya tratado de dar fundamento teórico a este proceso [hallar la ecuación dimensional de una magnitud], ya que *a pesar de los trabajos de Ehrenfest-Afanassjewa y los de London<sup>1</sup>, nada nuevo se ha logrado, aparte de dar precisión lógica a lo que de modo intuitivo se había conseguido*.

Sí puede apuntarse que en este trabajo aporta ya algunas consideraciones destacables:

1) Para él, en ese momento, las fórmulas que ligan entre sí las magnitudes que intervienen en los diversos fenómenos estudiados, por ejemplo de la Mecánica, expresan relaciones cuantitativas entre magnitudes físicas y, aunque éstas se hallen representadas por símbolos, son *ecuaciones numéricas*, que han de transformarse en identidades cuando, en cada caso particular, se reemplacen los referidos símbolos por sus valores medidos con las unidades convencionalmente adoptadas.

2) Además, considera que si se cuentan el número de ecuaciones independientes y el número de magnitudes, se observa la siguiente circunstancia: *El número de magnitudes mecánicas excede en tres unidades del número de ecuaciones independientes existentes entre las mismas*. Aunque a) no existen teorías físicas sino «capítulos de la Física»; b) opina todavía que *eligiendo convenientemente tres magnitudes, se pueden ordenar las ecuaciones de tal modo que sirvan para definir de un modo progresivo todas las restantes*; o c) ante la presencia de «factores numéricos» concluye que en las ecuaciones es obvio elegir las unidades de modo que tales factores sean lo más sencillos posibles; por ejemplo, iguales a la unidad en todas las que en 1941 todavía denomina *fórmulas de definición*, pero refiriéndose con esta expresión a lo que finalmente, a partir de 1956, serán las *ecuaciones fundamentales*, concepto sin el cual no podría haber formulado sus postulados.

Complementariamente para los fines de este trabajo, pero ineludible desde el punto de vista de la valoración histórica, debe añadirse que sus estudios le llevan a presentar alborozado, al final del artículo, unos resultados que considera originales<sup>6</sup>, pues afirma

«haber descubierto las definiciones correctas del momento magnético, de la imanación y del polo magnético, e introducido una nueva magnitud, la imanabilidad», resultados que publicará —a modo de trabajo independiente— por mediación de Arnold Sommerfeld en Palacios [1942].

## 2.2. *La cimentación de un programa investigador*

La situación que siguió a esta primera incursión la expresa el propio Palacios [1945] en un nuevo trabajo, *Las magnitudes y las unidades de la Física*<sup>7</sup>:

«El interés que despertó el tema se ha manifestado en lo mucho que sobre él se ha escrito en diferentes revistas de nuestro país y en las cartas que hemos recibido. Por otra parte, el asunto sigue gozando de actualidad, y las tendencias son tan opuestas que, mientras Sommerfeld considera la posibilidad de tener que tomar seis magnitudes

fundamentales, incluyendo la temperatura, Burniston Brown, inducido por Eddington, se conforma con dos, la longitud y el tiempo, y Heisenberg con una sola, la longitud<sup>4</sup>.

Tal estado de cosas nos anima a volver sobre el asunto, dándole mayor extensión y alcance, y atreviéndonos a exponer nuevos puntos de vista para plantear debidamente el intrincado problema de las magnitudes físicas y de sus dimensiones».

Efectivamente, sus fuentes y el conocimiento del tema se han ampliado. Su visita a Argentina en el verano de 1939, invitado por la Institución Cultural Española de Buenos Aires, le había permitido iniciar unas relaciones científicas que fructificarán unos años después: durante los primeros años cuarenta, a través de W. S. Hill<sup>9</sup> entró en contacto con la disciplina Análisis Dimensional, con el creador de ésta, P. W. Bridgman [1922] (omnipresente en la obra de Hill), con otros autores sobre el *Método de las Dimensiones*<sup>10</sup>, y con su núcleo, el Teorema Π [GONZÁLEZ DE POSADA, 1990]. Desde esta nueva perspectiva, Palacios emprende en 1945 la senda que le llevará a su obra maestra: elaborar un conjunto de normas que permitan realizar (lo que aquí llama) «un Análisis dimensional», ámbito integrado en un marco más general, el de la Teoría de las magnitudes<sup>11</sup> en el que se había adentrado en el discurso de 1941.

En este estadio del pensamiento dimensional de Palacios, la consideración de los sistemas de unidades no resulta necesaria en los razonamientos teóricos, sí siendo imprescindible en la investigación experimental, ámbito en el cual para constituir el que llama un *sistema de unidades acorde con el sistema particular de ecuaciones*<sup>12</sup> se debe cumplir el siguiente requisito:

«La elección [de unidades para cada magnitud] es completamente convencional, ya que disponemos de coeficientes numéricos arbitrarios; pero una vez fijados éstos, es decir, cuando se adopta un sistema particular de ecuaciones de definición, será preciso que, al sustituir los símbolos de las magnitudes por los números respectivos, queden satisfechas las ecuaciones de definición»<sup>13</sup>.

A partir de las consideraciones precedentes surgen —consecuencialmente para Palacios— los conceptos dimensionales siguientes:

a) La *ecuación dimensional inmediata* de la magnitud  $x_i$ ; será

$$[x_i] = [x_1]^{\alpha_{i1}} [x_2]^{\alpha_{i2}} \dots \quad (1)$$

fórmula simbólica que expresa cómo varía su unidad en un sistema acorde cuando se modifican las unidades que intervienen directamente en su fórmula de definición<sup>14</sup>.

b) Si  $n$  es el número de magnitudes cuyas unidades pueden tomarse arbitrariamente,  $f_1, f_2, \dots, f_n$  serán las magnitudes que constituirán una base, entonces la unidad  $[x_i]$  de cualquier otra magnitud se podrá expresar como el producto

$$[x_i] = [f]^{β_{i1}} [f_2]^{β_{i2}} \dots [f_n]^{β_{in}} \quad (2)$$

con lo que se obtiene la *ecuación dimensional* de la magnitud  $x_i$  en la base escogida. Los números  $β_{i1}, β_{i2}, \dots, β_{in}$  son las dimensiones de  $x_i$  en el sistema de magnitudes fundamentales  $f_1, f_2, \dots, f_n$ .

c) De modo que el punto de partida para construir un Análisis dimensional consiste en formar una *base*, o sea, un sistema de magnitudes fundamentales que permita hallar las dimensiones de cada una de las magnitudes físicas. Hecho esto *tendrán razón de ser y utilidad grande las teorías matemáticas dimensionales, tales como la desarrollada por el profesor San Juan*.

### 2.3. El primer intento teorizador: la búsqueda de un sistema unívoco

¿Cómo se llega a determinar unívocamente la base? El proceso que sigue Palacios es el siguiente:

1) Comienza estableciendo, para cada capítulo de la Física, la relación con su caracterización de las magnitudes primarias y las leyes universales, *que pueden considerarse como la definición cuantitativa de una de las magnitudes que en ella figuran*, y, fijando el coeficiente de cada ecuación, se habría formado un *sistema particular de ecuaciones de definición*<sup>15</sup>.

2) Intenta resolver el problema [de la construcción de «un Análisis dimensional»] con el que denomina *sistema estricto*, que se formará siguiendo la siguiente norma: *suprímense todas las constantes universales en las fórmulas de definición*<sup>16</sup>, *haciéndolas, por ejemplo, iguales al número 1*.

3) Ante lo que considera el *fracaso del sistema estricto*, procede buscar otras normas para formar el sistema de ecuaciones de definición<sup>17</sup>. Se trata de formar un sistema de magnitudes que deje arbitrarias todas las unidades fundamentales.

4) Y llega a su primer intento teorizador de «lo dimensional»:

«Estas consideraciones nos llevan a ensayar las siguientes normas para formar el que llamaremos *sistema unívoco* de ecuaciones de definición: 1ª. *Toda constante universal se reemplazará por el número 1, siempre que, con ello, no resulten homogéneas y con dimensiones no nulas dos magnitudes conceptualmente diferentes*. 2ª. *No deberá imponerse una unidad determinada a alguna magnitud*».

En la separata de este artículo que se conserva en el «Legado de Julio Palacios»<sup>18</sup> aparece una anotación a mano de éste en la que sustituye sucesivamente *magnitudes conceptualmente diferentes* por *magnitudes elementales* y, a continuación, tras tachar *elementales*, *magnitudes que no sean susceptibles de ser medidas por un mismo procedimiento*. Como puede comprobarse, sigue «ensayando» y «rectificando» hasta llegar al enunciado que integrará en su teoría del Análisis dimensional como Segundo Postulado.

5) Para Palacios el resultado obtenido es enteramente satisfactorio, pues conduce a una base tetradimensional, válida para todos los capítulos de la Física, con la que todas las magnitudes adquieren dimensiones en armonía con sus respectivos conceptos.

6) Aplicado al caso de la Mecánica, en el que para Palacios las ecuaciones fundamentales son tres: a) la ecuación fundamental de la Dinámica,

$$f = m_i a \quad (3)$$

b) la ecuación de la gravitación universal,

$$f = \frac{m_g m'_g}{d^2} \quad (4)$$

y c) la ecuación que relaciona las masas inercial  $m_i$  y gravitatoria  $m_g$ ,

$$m_g = \sqrt{G m_i} \quad (5)$$

concluye

«En resumen: con nuestro sistema unívoco, subsisten en Mecánica tres magnitudes fundamentales, que pueden ser: la longitud, la masa y el tiempo, o cualesquiera otras tres que, por ser dimensionalmente independientes, puedan servir para formar una base».

#### 2.4. En el umbral de una Teoría de «lo dimensional»

En diciembre de 1951 presenta Palacios un nuevo trabajo<sup>19</sup> sobre *La dimensión de la temperatura*. En él puede seguirse la evolución de su pensamiento hacia la concepción de una teoría que dé cuenta de «lo dimensional». Comenzaba escribiendo:

«El Análisis dimensional sigue a la orden del día. No cesa la aparición de artículos con las más variadas opiniones acerca de lo que ha de entenderse por dimensión o por dimensiones de una magnitud, o se da un nuevo enunciado al teorema de Vaschy, base del referido Análisis»<sup>20</sup>.

Recordando su artículo de 1945, afirma que todo el problema procede de las constantes universales superfluas, por lo que se debe empezar por establecer una norma que permita decidir cuáles de las constantes universales son superfluas. Y, después de unas breves consideraciones, llega al que será enunciado «definitivo» de la norma buscada [p. 168]:

«Son ineludibles las constantes universales que relacionan dos magnitudes inseparables, y son superfluas todas las demás».

Aunque todavía le faltan algunos desarrollos importantes (entre otros, sigue hablando de sistema de unidades acorde con el sistema particular de ecuaciones de definición), está a las puertas de haber clarificado el panorama de los conceptos físicos que necesita para su Análisis Dimensional, cuestión que en 1953, fecha del Discurso de ingreso en la Real Academia Española, se demuestra resuelta<sup>21</sup>.

## 2.5. *Prólogo al Análisis Dimensional*

En 1954, y ya casi a modo de prólogo a su *Análisis Dimensional* de 1956, escribe acerca de la *Racionalización de las ecuaciones electromagnéticas*, como respuesta a la llamada realizada desde la Comisión de Símbolos, Unidades y Nomenclatura (S.U.N.) de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (I.U.P.A.P) para que se recaben opiniones del tipo de la 4ª. *¿Cuál es su opinión en lo que se refiere a la racionalización?*

La respuesta de Palacios será, inicialmente, este artículo; después, y ante el desacuerdo con las decisiones de la I.U.P.A.P., diversas contribuciones incorporadas a las diferentes ediciones de su *Análisis Dimensional* (como se verá en el próximo párrafo), hasta el «desencuentro final» de Palacios [1968] que, junto con la necrológica de Ricardo San Juan [PALACIOS, 1970], serán sus últimas contribuciones a la materia ... siempre que esta materia se estudie separadamente de sus artículos antirrelativistas o antieinsteinianos, como aquí estamos haciendo.

Aparece en este artículo, sin embargo, y como consecuencia directa del estudio del sistema de ecuaciones del Electromagnetismo, la noción de *sistemas de unidades coherentes con un conjunto dado de ecuaciones*, que Palacios [1954, p. 8] —según afirma— cree que introdujo Wallot [1926]<sup>22</sup>.



### 3. El libro *Análisis Dimensional* de Palacios: notas históricas

1) En la primera edición (1956) de su obra maestra se encuentra todo lo fundamental de la concepción dimensional de Palacios (que se analizará en los siguientes párrafos). Abría el libro un breve Prólogo fechado en Lisboa, febrero de 1955, cuyo contenido es el siguiente:

«Este libro ha resultado desmesurado. Lo que hay en él de fundamentalmente nuevo cabría en un par de capítulos. Pero la novedad es tal, y se halla tan en pugna con las ideas de cuantos autores se ocupan en cuestiones relacionadas con Análisis dimensional<sup>23</sup> y hasta con las doctrinas filosóficas aceptadas por la mayoría de los físicos contemporáneos, que he juzgado imprescindible justificar mis asertos hasta la saciedad, y demostrar que, en todos los capítulos de la Física, el nuevo método aventaja a los preconizados por los tratadistas.

Tras ensayos y rectificaciones que han durado muchos años, creo haber construido una teoría clara y sencilla de las magnitudes físicas. Mi confianza se basa en el beneplácito de mi colega el profesor Ricardo San Juan, que ha examinado minuciosamente mi manuscrito y me ha sugerido acertadas modificaciones. Le expreso por ello mi cordial gratitud».

Efectivamente, desde 1941 a 1956 han transcurrido quince años, los de su plenitud científica (de los 50 a los 65 años de edad), de clarificación y construcción de un *sistema teórico hipotético-deductivo* —el primero de la historia— del Análisis Dimensional que integra todos los conceptos dimensionales.

Realmente, aquí terminaría su dedicación creativa a la disciplina. A partir de 1955, año del fallecimiento de Einstein, Palacios se ocuparía con especial intensidad y encono del tema que le acompañaría hasta su fallecimiento en 1970: la crítica de la Relatividad de Einstein construyendo una teoría alternativa. Esto no impide, claro está, que su obra dimensional se difunda, puesto que publica otros trabajos que deben citarse para el objeto de nuestro estudio: a) *Las Constantes Universales de la Física* (1957), síntesis del *Capítulo IV. Segundo Postulado* de su *Análisis Dimensional* y de otras consideraciones sobre las constantes dispersas por este libro; y b) el artículo divulgativo, dedicado a los alumnos de preuniversitario, *Carácter peculiar de las ecuaciones de la Geometría y de la Física* (1959), cuyos contenidos también estaban ya contemplados en el libro de 1956. Esa nueva ocupación intelectual de Palacios no impedirá, tampoco, que su libro se traduzca a otros idiomas.

2) La versión francesa de la primera edición española, *Analyse Dimensionnelle*, se publica en 1960, con traducción de M. Prévot (ingeniero de

«Arts et Manufactures» e ingeniero «E. C. I.» y revisión del propio Palacios con la ayuda de Mdme. Defourneaux. Sin novedades relevantes con respecto al original, incluso no contiene más Prólogo que la traducción al francés del original lisboeta de 1955.

Los científicos e ingenieros franceses serán los primeros en recibir el impacto de la obra de Palacios. En otro trabajo [GONZÁLEZ DE POSADA *et al.*, 2001] se estudia esta realidad analizando, en concreto, la correspondencia de Palacios con Martinot-Lagarde. Como anécdota puede apuntarse que la editorial parisina incluía en los ejemplares a la venta del libro de Palacios octavillas de propaganda de otros libros relacionados con el tema. En concreto, del *Similitude Physique. Exemples d'applications a la Mécanique des Fluides* del mencionado Martinot-Lagarde, publicado ese mismo año 1960.

Aunque, como se ha destacado, su ocupación primordial no es ya el ámbito de «lo dimensional», entre las ediciones francesa e inglesa sí publica un breve trabajo: *Unidades fonotécnicas* (1963). Además, como se insistirá a continuación, discrepando con las comisiones internacionales correspondientes, retoma el tema monográfico de *Las unidades electromagnéticas* en un artículo enviado en junio de este año de 1963 [PALACIOS 1964a] que se integrará en las siguientes ediciones «corregidas y aumentadas» del libro.

3) La versión inglesa, *Dimensional Analysis*, se edita en 1964, con traducción de P. Lee, de la Universidad de Purdue (Indiana, USA), y L. Roth, del Imperial College of Science and Technology (Londres, UK). Comienza reproduciendo traducido el Prólogo a la primera edición española (febrero de 1955) añadiendo un nuevo Prefacio para esta versión fechado en Madrid, octubre de 1963. Su contenido es el siguiente:

«La teoría desarrollada en este libro se basa en admitir que los símbolos que aparecen en las ecuaciones físicas (y en las geométricas) representan las medidas (números) obtenidos con un sistema de unidades coherentes cualquiera. Nadie niega la sensatez de esta proposición, pero la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada, al estudiar la racionalización de las ecuaciones electromagnéticas, ha recomendado que dichos símbolos deben ser considerados como magnitudes [*quantities*]. Esta recomendación está en conflicto con los fundamentos de mi teoría por lo que he incluido en la versión inglesa la demostración de que resulta insostenible, y he tratado más exhaustivamente dicha racionalización».

Efectivamente, esta «demostración» se incluye en el *Capítulo IV. Segundo Postulado*, cerrando el párrafo (número 4) dedicado a los *Sistemas*

de unidades coherentes [pp. 29-30], y constituye una novedad con respecto a la versión francesa.

Pero quizá la mayor novedad radique en el tratamiento más exhaustivo relacionado, evidentemente, con lo anterior, del *Capítulo XVII. Electromagnetismo*, en el que se incluyen nuevos párrafos, dedicados a la *Racionalización de Heaviside*, el *Sistema de Giorgi*, el *Sistema C.G.S. de unidades*, la *Conversión entre el sistema de Giorgi y el sistema C.G.S.* y el *Sistema de Gauss* (números 7 a 11, respectivamente).

Por otra parte, también merece la pena reproducir el resto del Prefacio de esta edición inglesa, pues permite estudiar uno de los problemas importantes con que se encuentra todo aquel que se aproxima a la literatura sobre esta disciplina, en este caso un problema lingüístico:

«Conseguir una buena traducción al inglés ha demostrado ser una tarea compleja. Uno de los problemas ha sido encontrar las palabras apropiadas para los términos españoles *magnitud* (concepto abstracto) y *cantidad* (cada uno de los estados particulares de una *magnitud*). A primera vista, uno podría pensar que estas palabras debieran traducirse por 'magnitude' y 'quantity' respectivamente, pero parece que tienen un significado traspuesto, porque 'magnitude' tiene el mismo significado en inglés que 'amount', que se traduciría al español por *cantidad*, mientras que la versión española de la frase: 'dimensions of the physical quantities' sería '*dimensiones de las magnitudes físicas*'.

Por otro lado, uno encuentra en los libros que al enunciado

$$cantidad = medida \times unidad$$

corresponde:

$$quantity = measure \times unit$$

lo que muestra que en este caso 'quantity' es la palabra inglesa para *cantidad*. Por lo tanto, el término 'quantity' se utiliza en los dos sentidos».

Complementariamente creemos conveniente incluir también, puesto que se trata de una referencia poco conocida en España, un párrafo de la solapa de esta edición inglesa:

«El Profesor Palacios escribió *Dimensional Analysis* porque ningún libro anterior sobre la materia se había enfrentado satisfactoriamente con el significado de las dimensiones físicas. Más aún, con las ideas convencionales acerca del papel que juegan las constantes universales resultaba imposible entender la teoría de la relatividad.

Al leer esta primera traducción al inglés el autor ha podido modificar algunas de sus concepciones y reafirmar muchas de sus ideas a la luz de los desarrollos recientes».

4) La segunda edición española, también de título *Análisis Dimensional*, corregida y aumentada, se publica, como la inglesa, en 1964, por lo que lógicamente deben tener unos contenidos similares incorporando correcciones y ampliaciones análogas. La *demonstración de que resulta insostenible la postura de la I.U.P.A.P.* acerca de los símbolos que aparecen en las ecuaciones físicas, que se introducía por primera vez en la versión inglesa, se incorpora aquí, también a modo de párrafo independiente (el número 7), cerrando el *Capítulo IV. Segundo Postulado* [pp. 53-54].

Como modificación con respecto a las versiones anteriores aparece el párrafo 3. *Factores de conversión* en el *Capítulo V. El concepto de dimensión*, entre los correspondientes a 2. *Cambios de base* y 4. *Analogías entre dimensiones y vectores*. Este párrafo aparecía (con el número 11) en las versiones francesa e inglesa cerrando el *Capítulo VII. Modo de plantear los problemas*. En este mismo capítulo de esta segunda edición española se añade el estudio dimensional de 10. *Volumen del paralelepípedo*.

En el tratamiento del *Capítulo XVII. Electromagnetismo* también se introducen cambios, reordenando los diferentes párrafos y ampliando otros dedicados a la *Racionalización de Heaviside*, el *Sistema de Giorgi* y el *Sistema de Gauss* (respectivamente, números 4, 5 y 8 aquí, 7, 8 y 11 en la edición inglesa).

#### 4. El *Análisis Dimensional* de Palacios: notas científicas<sup>24</sup>

Los desarrollos expuestos en el segundo párrafo de este trabajo relativos a los ensayos y rectificaciones de Palacios muestran que han durado muchos años y culminan en la que considera *teoría clara y sencilla de las magnitudes físicas* contenida en su *Análisis Dimensional*. Debe, por tanto, exponerse en qué consiste —en palabras suyas— esa tal novedad que *se halla tan en pugna con las ideas de todos aquellos que se ocupan de las cuestiones relacionadas con esta disciplina*.

La primera idea, directa y radical, es que Palacios salta desde el territorio del *método*, del instrumento, de la técnica operatoria, de la regla práctica para el estudio y la resolución de problemas físicos hacia el territorio propio de la solidez intelectual científica de la *teoría*. No se conformó con aplicar metódicamente el denominado Teorema  $\Pi$ <sup>25</sup> con su utilidad manifiesta y demostrada en diferentes ámbitos de la física y de la ingeniería, sino que elevó la disciplina desde su condición previa de *método de análisis* a la de *teoría*. Escribía Palacios [1956, p. 16]:

«Trataremos en este trabajo de desarrollar una teoría del Análisis dimensional basada en hechos elevados a la categoría de postulados, y que resultan ser en número de dos. El primero se refiere a la índole de las ecuaciones físicas; el segundo atañe al significado de las constantes universales, y permite clasificarlas en ineludibles y superfluas».

Los postulados son los siguientes:

*Primer Postulado*<sup>26</sup>: Pueden escogerse las leyes fundamentales de modo que consistan en relaciones de proporcionalidad entre potencias determinadas de las cantidades que intervienen en el fenómeno considerado.

Es decir, cualquier ley física de las que Palacios considera «fundamental» puede formularse de la siguiente manera:

$$(y) \propto (x_1)^{\alpha_1} \dots (x_n)^{\alpha_n} \quad (6)$$

donde los  $(x_i)$  representan cantidades [de las magnitudes que se relacionan en la ley], y los  $\alpha_i$  son números fijos, independientes de la naturaleza de los cuerpos que intervienen en el fenómeno, para  $i = 1, \dots, n$ .

*Segundo Postulado*: Son ineludibles las constantes universales que relacionan dos magnitudes inseparables, y superfluas todas las demás (las características son todas ineludibles).

Por primera vez en la historia, un científico iniciaba la estructuración al modo axiomático-deductivo de los conceptos dimensionales, puesto que — dice — sus postulados bastan para crear un sistema dimensional unívoco. Escribe [1956, pp. 16-17]:

«El hecho en que nos basamos es la existencia de leyes físicas que se formulan mediante ecuaciones cuya estructura *suele* ser tal que permite atribuir una dimensión a cada magnitud. De aquí que el Análisis dimensional está subordinado a las teorías físicas; no tiene existencia independiente de las mismas».

El Índice de la *Parte Primera. Fundamentos del Análisis dimensional*, es el siguiente:

Capítulo I. Resumen de la teoría de la homogeneidad de funciones y ecuaciones

Capítulo II. Los entes de la Física

Capítulo III. Primer postulado

Capítulo IV. Segundo postulado

Capítulo V. El concepto de dimensión

Capítulo VI. El teorema de pi

En su teoría, como consecuencia derivada de los conceptos y de los postulados, la *dimensión* —noción central de la disciplina— de cada una de las magnitudes primarias no depende sólo de la caracterización propia de éstas, previa a su introducción en las leyes de las teorías físicas respectivas, sino también —y sobre todo— es una propiedad deducible formal y unívocamente del conjunto de leyes físicas fundamentales, es decir, de la teoría física en la que se inserta la magnitud. Veamos como procede Palacios<sup>27</sup>.

Considera una teoría física cuyas leyes fundamentales relacionan  $s$  magnitudes  $x_1, \dots, x_s$ . De acuerdo con el Primer Postulado, al pasar a las ecuaciones entre medidas, aparecerán en ellas como factores de proporcionalidad las constantes específicas y las constantes universales, pudiéndose escribir el sistema de ecuaciones, en un sistema de unidades coherentes con ellas, en la forma:

$$\left. \begin{aligned} x_1^{e_{11}} \dots x_s^{e_{1s}} &= C_1^{e_1} \\ &\dots \dots \\ x_1^{e_{v1}} \dots x_s^{e_{vs}} &= C_v^{e_v} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

donde los exponentes  $e_1, \dots, e_n$  serán 0 o 1 según que la constante respectiva sea superflua o ineludible, lo que determina sin ambigüedad el Segundo Postulado.

Si para unificar la notación se utilizan los mismos símbolos para las constantes que para las variables, el sistema, considerando sólo las  $(n-s)$  constantes ineludibles, puede escribirse

$$\left. \begin{aligned} x_1^{e_{11}} \dots x_n^{e_{1n}} &= 1 \\ &\dots \dots \\ x_1^{e_{v1}} \dots x_n^{e_{vn}} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Si se hubiesen elegido unidades no coherentes, habrían aparecido coeficientes parásitos  $k_1, \dots, k_n$  en las ecuaciones debidas a las constantes superfluas, es decir, se tendría el sistema

$$\left. \begin{aligned} x_1^{e_{11}} \dots x_n^{e_{1n}} &= k_1 \\ &\dots \dots \\ x_1^{e_{v1}} \dots x_n^{e_{vn}} &= k_v \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

donde  $k_i = 1$  en las ecuaciones provistas de constante ineludible, que se encontraría en el primer miembro según (8).

Considera a continuación un sistema de unidades coherentes con (7). Las nuevas medidas estarán relacionadas con las antiguas mediante las fórmulas<sup>28</sup>:

$$\frac{x_1}{x'_1} = \frac{U'_1}{U_1} = \xi_1, \dots, \frac{x_n}{x'_n} = \frac{U'_n}{U_n} = \xi_n \quad (10)$$

por lo que el sistema (9) puede escribirse en la forma

$$\left. \begin{aligned} (\xi_1 x'_1)^{\varepsilon_{11}} \dots (\xi_n x'_n)^{\varepsilon_{1n}} &= k_1 \\ &\dots \dots \\ (\xi_1 x'_1)^{\varepsilon_{v1}} \dots (\xi_n x'_n)^{\varepsilon_{vn}} &= k_v \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

y dado que el nuevo sistema ha de ser coherente, es preciso que desaparezcan los coeficientes parásitos, es decir, debe verificarse el sistema

$$\left. \begin{aligned} \xi_1^{\varepsilon_{11}} \dots \xi_n^{\varepsilon_{1n}} &= k_1 \\ &\dots \dots \\ \xi_1^{\varepsilon_{v1}} \dots \xi_n^{\varepsilon_{vn}} &= k_v \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Como se trata de números reales, tomando logaritmos se obtiene el nuevo sistema de ecuaciones:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{11} \log \xi_1 + \dots + \varepsilon_{1n} \log \xi_n &= \log k_1 \\ &\dots \dots \\ \varepsilon_{v1} \log \xi_1 + \dots + \varepsilon_{vn} \log \xi_n &= \log k_v \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

La posibilidad de construir sistemas coherentes queda supeditada a la compatibilidad de este sistema cuyas incógnitas son las  $\xi_i$ . Si  $h$  es la característica de la matriz de los coeficientes [exponentes]  $\varepsilon_{ij}$ , habrá  $m = n - h$  factores  $\xi_i$  arbitrarios. En suma:

1) Para formar un sistema de unidades, coherente con un sistema de ecuaciones, pueden elegirse arbitrariamente tantas unidades como indica la diferencia  $m = n - h$  entre el número de magnitudes y la característica de la matriz formada con los exponentes con que dichas magnitudes figuran en las ecuaciones dadas.

2) Cada conjunto de magnitudes cuyas unidades se eligen arbitrariamente forma una *base* y su número  $m$  es la *multiplicidad* de la misma.

En el caso de que se pase de un sistema coherente a otro, (8), las condiciones que ligan las nuevas unidades con las primitivas en vez de las (12) serán:

$$\left. \begin{array}{l} \xi_1^{\varepsilon_{11}} \dots \xi_n^{\varepsilon_{1n}} = 1 \\ \dots \dots \dots \\ \xi_1^{\varepsilon_{v1}} \dots \xi_n^{\varepsilon_{vn}} = 1 \end{array} \right\} \quad (14)$$

Si, utilizando la notación de Maxwell, las razones (10) se escriben mediante

$$[x_1] = \frac{U'_1}{U_1} = \xi, \dots, [x_n] = \frac{U'_n}{U_n} = \xi_n \quad (15)$$

el sistema (14), es decir, las condiciones que deben cumplir los  $[x_j]$  serán:

$$\left. \begin{array}{l} [x_1]^{\varepsilon_{11}} \dots [x_n]^{\varepsilon_{1n}} = 1 \\ \dots \dots \dots \\ [x_1]^{\varepsilon_{v1}} \dots [x_n]^{\varepsilon_{vn}} = 1 \end{array} \right\} \quad (16)$$

Si  $x_1, \dots, x_m$  son las magnitudes escogidas para formar la base, en el paso de un sistema coherente a otro también coherente serán datos los valores de  $[x_1], \dots, [x_m]$  y las ecuaciones (16) permitirán despejar los valores de los números  $[x_r]$  correspondientes a las restantes magnitudes. Por tanto, pueden definirse dos conceptos fundamentales:

1) Se dice *fórmula dimensional* de la magnitud  $x_r$  con relación a la base  $x_1, \dots, x_m$  a la expresión monomía

$$[x_r] = [x_1]^{\alpha_{r1}} \dots [x_m]^{\alpha_{rm}} \quad (17)$$

2) El conjunto de exponentes  $\alpha_{r1}, \dots, \alpha_{rm}$  constituye los *exponentes dimensionales* o *dimensiones* de  $x_r$  con relación a dicha base.



El ente nuevo asociado a " $x_r$ " que en cada base se expresa por sus exponentes dimensionales correspondientes es la dimensión  $[x_r]$  de " $x_r$ ".

En suma, la *dimensión* de cada magnitud primaria se deduce directamente de la teoría; en el lenguaje preciso de la matemática puede afirmarse que la *dimensión* es un atributo *único* y *determinado*. No cabe ningún margen para la arbitrariedad tan querida y tolerada por Bridgman. Se ha producido una auténtica revolución en la disciplina.

Como consecuencia de este marco teórico el Teorema  $\Pi$  adquiere una fundamentación y una legitimidad de la que carecía.

Llegado a este punto, pasa Palacios a la *Segunda Parte. Aplicaciones a los diferentes capítulos de la Física*. Los contenidos, de acuerdo con el Índice, son:

Capítulo VII. Modo de plantear los problemas de análisis dimensional

Capítulo VIII. Dinámica de sólidos rígidos

Capítulo IX. Mecánica de sólidos deformables

Capítulo X. Mecánica de fluidos

Capítulo XI. Aerodinámica

Capítulo XII. Temperatura

Capítulo XIII. Conductividad térmica

Capítulo XIV. Termodinámica

Capítulo XV. Mecánica estadística

Capítulo XVI. Radiación térmica y mecánica cuantista

Capítulo XVII. Electromagnetismo

Capítulo XVIII. Mecánica relativista

Capítulo XIX. Física corpuscular

## 5. Contraste entre el Análisis Dimensional de Palacios y el de Bridgman<sup>29</sup>

En los párrafos anteriores se ha realizado un estudio crítico de la obra de Palacios a la luz tanto de sus propios textos como de algunos estudios sobre su obra realizados por otros autores. Sin embargo, considerado Bridgman la referencia primera y fundamental en tanto que creador de la disciplina, parece conveniente contrastar los aspectos más destacados de las contribuciones de ambos para que la magna obra de Palacios quede integrada en la Historia de esta materia.

Debemos anunciar, desde ya, que las diferencias serán radicales. Frente a la arbitrariedad heredada desde la creación disciplinar del Análisis Dimensional

por Bridgman, Palacios opta por la cientificidad característica de las teorías físicas: primero, caracterización de unos conceptos previos, y, segundo, enunciado de unos postulados, creando propiamente una teoría al modo de las teorías físicas, hipotético-deductivamente, pero una teoría de naturaleza físico-matemática, dado que el referente del Análisis Dimensional no es la Naturaleza sino la propia Física en tanto que Ciencia. Palacios intuye —en sus primeros escritos— y construye, aunque fuera parcial y no definitivamente —paulatinamente, durante quince años—, una Teoría básica para los Fundamentos de Física y origina una revolución conceptual.

El punto de vista de Bridgman puede resumirse en el siguiente sistema de notas significativas caracterizadoras: a) la Física es *una* y se concibe casi como identificada e identificable con la Naturaleza; b) lo primario de la Física —en cuanto al objeto de estudio— es el fenómeno natural, el problema físico o el experimento; c) la Física que interesa es la de las *magnitudes medibles*, es una física de lo observable, de lo macroscópico, física clásica de variables reales continuas; d) lo fundamental en Física, de índole intrafísica propiamente, es la *medida*; lo que está en perfecta sintonía con Bridgman como pionero de la filosofía operacional, del operacionalismo tan desarrollado y difundido por y con él; e) El Análisis Dimensional es un método de análisis, entre otros posibles, de los fenómenos naturales y de los problemas físicos; f) las dimensiones no tienen significado absoluto, son relativas a las reglas de operación para medir, se determinan respecto de un sistema de medidas, dependerán del problema concreto, que se tratará con «experiencia», «habilidad» y «fortuna».

El punto de vista de Palacios, también en síntesis apretada, a nuestro juicio, se caracteriza por otro sistema de notas significativas que pueden exponerse en correspondencia alfabética con las bridgmanianas: a) la Física es *un conjunto de teorías* cada una con sus correspondientes leyes fundamentales; b) lo primario, en tanto que fundamento para el estudio, es la teoría física en cuanto ámbito en el que situar el análisis de los fenómenos o de los problemas; c) por lo que se refiere al tipo de magnitudes, las *medibles*, ambos coinciden en lo esencial; d) leyendo a Palacios [1956, p. 16]:

«[...] nuestra teoría está hecha para físicos que [...] no renuncian al uso de todas sus facultades mentales y, entre ellas, a la de crear entes abstractos que intervienen en los diversos fenómenos en cuantías o cantidades que varían en cada caso particular, y que existen aunque nadie las mida»;

e) el Análisis Dimensional es una *teoría* relativa a las magnitudes físicas, a las leyes físicas y a los problemas físicos; y f) leyendo, de nuevo, a Palacios [1956, p. 16]:

«si el Análisis dimensional ha de servir para algo, es preciso que exista un *sistema unívoco*, de modo que a cada magnitud corresponda una fórmula dimensional perfectamente determinada».

## 6. Consideraciones finales. La difusión de la obra de Palacios

La obra de Palacios se difundió, como ha podido comprobarse, en los ámbitos científicos de lengua española (España y la América española), de lengua francesa y de lengua inglesa (en Inglaterra y USA mediante la elección de dos traductores: Roth, del Imperial College de Londres, y Lee, de la Universidad de Purdue de Indiana), además de disfrutar de un gran impacto en Portugal y presencia relevante en círculos rumanos. No puede extrañar, por tanto, que el *Análisis Dimensional* de Palacios, obra que se constituye en referencia obligada y que aún no ha sido superada, hiciera época. Se paralizaron las ediciones de las obras maestras previas; la de Bridgman citada, que llevaba 7 ediciones, y la de Langhaar [1951], que llevaba 5 ediciones. Además de las traducciones al francés y al inglés publicadas, se prepararon —aunque no llegaron a ver la luz— sendas ediciones en portugués y rumano.

Las revistas científicas solicitan a especialistas<sup>30</sup> en la materia que analicen el libro. Los tratadistas no tienen más remedio que citarlo, lo entiendan, estén de acuerdo o discrepen del enfoque, aparentemente poco pragmático, que lo caracteriza. Los años comprendidos entre 1956 y 1970 son, en suma, de entrada y de apoteosis del físico español en la Historia del Análisis Dimensional. Con la obra de Palacios, en todo caso, no quedan resueltas definitivamente numerosas deficiencias formales heredadas por la disciplina. Por otro lado, con su muerte en 1970, parece que la historia de su éxito y difusión se detuvo; volvieron a editarse *post mortem* los libros de Bridgman y Langhaar, y en el contexto internacional la senda abierta por Palacios no fue continuada.

En España la situación empezaría a cambiar ... pero en momentos que pertenecen al presente más que al pasado<sup>31</sup>. Además, aunque sorprenda, también se mantienen vivos recuerdos de su vida y de su obra en otros países hispanoparlantes tales como Argentina<sup>32</sup>.

## NOTAS

- 1 Este primer párrafo se ha confeccionado actualizando los contenidos de GONZÁLEZ DE POSADA [1993] y GONZÁLEZ DE POSADA *et al.* [1982]. Este último también se recoge en el Catálogo de la Exposición *Julio Palacios. Vida y obra de un científico* (1982), y corregido en el de *Julio Palacios, físico español* (1991) y *Julio Palacios, primer discípulo de Blas Cabrera* (1996) [Madrid, Amigos de la Cultura Científica].
- 2 Una relación completa de la *Obra escrita de Julio Palacios* se recoge en GONZÁLEZ DE POSADA [1993].
- 3 Para situar la aportación de Julio Palacios en la evolución histórica de la disciplina puede consultarse la Tesis doctoral, dirigida por F. González de Posada, de González Redondo, F.A. (2000) *Historia del Análisis Dimensional*. Universidad Politécnica de Madrid.
- 4 Palacios había ingresado en esta institución en 1932, apadrinado por Cabrera.
- 5 Se refiere a EHRENFEST-AFANASSJEW A [1916] y a un artículo de F. London publicado en 1922 en *Phys. Zeits.*, 23, 262-289.
- 6 Escribió PALACIOS [1941a, p. 54]: «Todos debemos poner nuestra actividad al servicio de la reconstrucción de España, y hemos de huir de lo espectacular para consagrarnos de lleno a la labor útil y fecunda, aunque no sea brillante ni amena. Dios ha querido premiar mis esfuerzos haciendo que encontrase un manojo de espigas donde parecía ya totalmente levantada la cosecha».
- 7 Este mismo año publica su libro *Electricidad y Magnetismo* [Madrid, Hernando].
- 8 Se refiere a BURNINSTON-BROWN [1941], al libro de A. Eddington *The Nature of the Physical World*, a dos artículos de A. Sommerfeld publicados, respectivamente, en *Phys. Zeitsch.*, 36 (1935) y *Ann. d. Phys.*, 36 (1939), y uno de W. Heisenberg en *Zeitsch. f. Phys.*, 101(1936).
- 9 Ésta será la primera vez que Palacios escriba *Análisis dimensional*. Reconoce en este artículo de 1945, además, que ha sido gracias al manuscrito del entonces trabajo reciente de HILL [1941], enviado por éste antes de su publicación y, una vez publicado, enviado también con la dedicatoria «A mi querido amigo y eminente Profesor Don Julio Palacios», firmada el 6 de octubre de 1944. El físico aragonés, gracias a este trabajo, conocerá, entre otros, el libro de Bridgman.
- 10 Entre otros con PORTER [1933].
- 11 En la memoria de HILL [1941, p. 8] con la que Palacios había tomado conocimiento del Análisis Dimensional como disciplina científica, aquél había escrito: «El análisis dimensional es, como se sabe, un capítulo dentro de la teoría de las magnitudes». Ver el prólogo, fechado en 1955, del propio Palacios a su *Análisis Dimensional*.
- 12 La expresión *sistema de unidades acorde con el sistema particular de ecuaciones* se establecería definitivamente como *sistema de unidades coherente con el sistema de*

- ecuaciones fundamentales* una vez aplicado el segundo postulado, es decir, suprimiendo las constantes universales superfluas.
- 13 Como apuntábamos antes, debemos entender «ecuaciones fundamentales» donde Palacios sigue escribiendo *ecuaciones de definición*.
  - 14 Ídem.
  - 15 «Sistema de ecuaciones fundamentales» expresado para los «sistemas de unidades coherentes».
  - 16 En las ecuaciones fundamentales sin utilizar el 2º Postulado. Véanse notas anteriores.
  - 17 Ídem.
  - 18 Donado por la familia al profesor F. González de Posada, que lo ha depositado en el Centro Científico-cultural Blas Cabrera, Arrecife, Lanzarote.
  - 19 Previamente había publicado Palacios, J. (1947) «La escala de temperaturas». *Alfa*, 33, 3-26. Por otro lado, también había presentado una breve nota sobre un tema muy particular: Palacios, J. (1949) «Las dimensiones de la constante química». *An. R. Soc. Esp. Fís y Quím.*, 45A, 259-260.
  - 20 Se trata de la primera vez que Palacios menciona el Teorema de Vaschy, detectando que constituye, además, la base del Análisis dimensional. HILL [1941, p. 68] hace una pequeña reseña histórica del teorema mencionando autores que han ido otorgando la paternidad sucesivamente a Buckingham, a Riabouchinsky y a Vaschy.
  - 21 En GONZÁLEZ DE POSADA [1993, p. 62], se escribía: «En 1956 se publica su *Análisis Dimensional*, obra complementaria y de desarrollo formal de la anterior [este Discurso de ingreso en la Academia de la Lengua], que se enmarca en el capítulo de fundamentos matemáticos. La centralidad del conjunto de las dos se ubica en ese espacio intelectual kantiano caracterizado por la *Transición de los principios metafísicos de la filosofía natural a la Física*».
  - 22 Debe recordarse que Palacios también refería a este trabajo de Wallot la noción de *unidades acordes*.
  - 23 Nótese que Palacios no escribe aquí *Análisis Dimensional*, sino *Análisis dimensional*, como viene haciendo desde 1945.
  - 24 Este párrafo se construye tomando como punto de partida las ideas expuestas en GONZÁLEZ DE POSADA [1991, pp. 11-15]. También se ha tenido en cuenta, entre otros, GONZÁLEZ DE POSADA [1994].
  - 25 O *teorema de pi*, como él solía llamarlo mal-traduciendo —así opinamos— la expresión *pi theorem* de BRIDGMAN [1947].
  - 26 Puede verse, también, GONZÁLEZ DE POSADA [1992].
  - 27 Para un tratamiento sistemático más preciso y completo desarrollado a partir de esta teoría de Palacios puede verse GONZÁLEZ DE POSADA [1994].

- 28 En lo que se refiere al tratamiento matemático del sistema de ecuaciones pueden compararse los desarrollos de Palacios con los escritos acerca de la Teoría de las funciones homogéneas generalizadas de Afanassjewa, o en los trabajos de Vaschy.
- 29 Las ideas que aquí se exponen están desarrolladas tomando como punto de partida inicial GONZÁLEZ DE POSADA [1991, pp. 12-14].
- 30 Martinot-Lagarde confesará a Palacios sus dificultades para realizar tal tarea encomendada por la *Revue des Questions Scientifiques*.
- 31 En el año 1970 Albino Arenas, que puede considerarse como el último discípulo de Palacios, presentó su tesis doctoral *Análisis Dimensional en la Mecánica de Fluidos y Transmisión de calor*, última dirigida por el maestro. Desde entonces, junto a Antonio Herranz, rememoran con harta frecuencia y sumo cariño a D. Julio y a su obra dimensional.
- En 1982, Centenario del nacimiento de Bridgman, se crea el Grupo Interuniversitario de Trabajo de Análisis Dimensional, y en 1991, Centenario del nacimiento de Palacios, la Escuela de Análisis Dimensional. En ellos la recuperación de la memoria del físico español y la referencia a su obra forman parte de sus tareas permanentes.
- 32 En la Universidad Nacional del Comahue (Neuquén, Argentina) existe una *Fundación Julio Palacios* que «se alimenta» metafísicamente de su pensamiento y cuyo Director, Jorge Guala, escribe con frecuencia recordando al físico español. Pueden consultarse GUALA [1999a y b].

## BIBLIOGRAFÍA

- BRIDGMAN, P.W. (1922) *Dimensional Analysis*. New Haven, Yale University Press. [Ed. cast. de F. A. González Redondo y F. González de Posada. Grupo de Trabajo de Análisis Dimensional-Universidad Politécnica de Madrid, 1990].
- BRIDGMAN, P.W. (1947, 1951, 1959) «Dimensional Analysis». En: *Encyclopaedia Britannica (Macropaedia)*, 7, 439-449.
- BUCKINGHAM, E. (1914) «On Physically Similar Systems». *Physical Review*, 4, 345-376.
- BURNINSTON BROWN, G. (1941) «A new treatment of the theory of dimensions». *Proc. Phys. Soc. London*, 53, 418-432.
- EHRENFEST-AFANASSJEW, T. (1916) «Der Dimensionsbegriff und der analytische Bau physikalischer Gleichungen». *Math. Ann.*, 77, 259-276.
- GONZÁLEZ DE POSADA, F. (1990) *El Análisis Dimensional de P.W. Bridgman*. Grupo de Trabajo de Análisis Dimensional-Universidad Politécnica de Madrid.
- GONZÁLEZ DE POSADA, F. (1991) «El *Análisis Dimensional*, obra maestra». En: *Solemne Sesión Académica en el Centenario de Don Julio Palacios bajo la Presidencia de Sus Majestades los Reyes de España*. Madrid, Real Academia de Ciencias, 9-16.

- GONZÁLEZ DE POSADA, F. (1992) «Nuevo enunciado del Primer Postulado de Palacios del Análisis Dimensional». En: F.A. González Redondo y P. Dávila Álvarez (eds.) *Anuario Científico 1991*. Grupo de Trabajo de Análisis Dimensional-Universidad Politécnica de Madrid.
- GONZÁLEZ DE POSADA, F. (1993) *Julio Palacios: físico español, aragonés ilustre*. Madrid, Amigos de la Cultura Científica.
- GONZÁLEZ DE POSADA, F. (1994) *Breviario de Teoría Dimensional*. Grupo de Trabajo de Análisis Dimensional-Universidad Politécnica de Madrid.
- GONZÁLEZ DE POSADA, F., GONZÁLEZ REDONDO, F.A. y REDONDO ALVARADO, M<sup>a</sup>.D. (2001) «La correspondencia científica de 1961 entre Palacios y Martinot-Lagarde: el estado del Análisis Dimensional en la década 1960-1970». En: *Anuario Científico 2001*. Grupo de Trabajo de Análisis Dimensional-Universidad Politécnica de Cartagena. [En prensa].
- GONZÁLEZ DE POSADA, F., REDONDO ALVARADO, M<sup>a</sup>.D. y GONZÁLEZ SAN JOSÉ, M.A. (1982) «Cronología biográfica de Julio Palacios». En: M. Hormigón (ed.) *Actas del II Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias*. Zaragoza, SEHC, vol. 2, 167-173.
- GONZÁLEZ REDONDO, F.A. (2000) *Historia del Análisis Dimensional*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- GONZÁLEZ REDONDO, F.A., REDONDO ALVARADO, M<sup>a</sup>.D. y GONZÁLEZ REDONDO, E. (2000) «Elementos de Teoría Dimensional en la obra de A. Vaschy, 1892-1896. Las bases conceptuales del Teorema P». En: J. Prieto y M. Fernández (eds.) *Anuario Científico 1999*. Grupo de Trabajo de Análisis Dimensional, Universidad de Oviedo, 1-6.
- GONZÁLEZ SAN JOSÉ, M.A. (2000) *Teoría Dimensional del Electromagnetismo de Maxwell*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- GUALA VALVERDE, J. (1999a) «Inercia y Gravitación. La Verdadera Influencia de los Astros». Neuquén, Fundación Julio Palacios.
- GUALA VALVERDE, J. (1999b) «Inertial Mass in Mach-Weber-Assis Theory». *Aperion*, 6 (julio-octubre), 202-204.
- HILL, W.S. (1941) «Teoría General de las Magnitudes Físicas». *Publicación* n<sup>o</sup> 41. Rosario (Argentina), Facultad de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales.
- HUNTLEY, H.E. (1952) *Dimensional Analysis*. New York, Rinehart.
- LANGHAAR, H.L. (1951) *Dimensional Analysis and Theory of Models*. New York, Wiley.
- MARTINOT-LAGARDE, A. (1960) *Similitude physique. Exemples d'Applications a la Mécanique des Fluides*. París, Gauthier-Villars.
- PALACIOS, J. (1941a) *Magnitudes y unidades electromagnéticas*. Discurso Inaugural del Curso 1940-41. Madrid, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

- PALACIOS, J. (1941b) «Las magnitudes físicas y sus dimensiones». *Rev. R. Acad. Cienc. Ex., Fís. y Nat.*, 35, 32-41. [También en *An. Soc. Esp. Fís y Quím.*, 37, 167-175].
- PALACIOS, J. (1941c) «Las magnitudes electromagnéticas». *Rev. R. Acad. Cienc. Ex., Fís. y Nat.*, 35, 148-179.
- PALACIOS, J. (1942) «Elektromagnetische Größen und Einheiten». *Phys. Zeits.*, 43, 22-24.
- PALACIOS, J. (1945) «Las magnitudes y las unidades de la Física». *Investigación y Progreso*, 16, 38-80.
- PALACIOS, J. (1952) «La dimensión de la temperatura». En: *Actas del Congreso de Málaga*. Madrid, Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, 163-185.
- PALACIOS, J. (1953) *El lenguaje de la Física y su peculiar filosofía*. Discurso de Ingreso en la Real Academia Española, Madrid.
- PALACIOS, J. (1954) «Racionalización de las ecuaciones electromagnéticas». *Rev. R. Acad. Cienc. Ex. Fís. y Nat.*, 48, 3-22.
- PALACIOS, J. (1956) *Análisis Dimensional*. Madrid, Espasa-Calpe.
- PALACIOS, J. (1957) «Las Constantes Universales de la Física». *Nuovo Cimento (Suplemento)*, 6 (Serie X, nº 1), 403-412.
- PALACIOS, J. (1959) «Carácter peculiar de las ecuaciones de la Geometría y de la Física». *Physicalia*, 9, 1-8.
- PALACIOS, J. (1960) *Analyse Dimensionnelle*. París, Gauthier-Villars.
- PALACIOS, J. (1963) «Unidades fonotécnicas». *Rev. R. Acad. Cienc. Ex., Fís. y Nat.*, 57, 237-291.
- PALACIOS, J. (1964a) «Les unités électro-magnétiques». *An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím.*, 60B, 97-102.
- PALACIOS, J. (1964b) *Dimensional Analysis*. London, Macmillan.
- PALACIOS, J. (1964c) *Análisis Dimensional*. Madrid, Espasa-Calpe.
- PALACIOS, J. (1968) *Observaciones sobre el Documento S.U.N. 65-3*. Madrid, Comité Español de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada.
- PALACIOS, J. (1970) «Ricardo San Juan y el Análisis Dimensional». *Rev. R. Acad. Cienc. Ex., Fís. y Nat.*, 64, 331-336.
- PORTER, A.W. (1933) *The Method of Dimensions*. London, Methuen and Co.
- REY PASTOR, J., PI CALLEJA, P. y TREJO, C.A. (1959) «Homogeneidad Dimensional». Apéndice al vol. 3 de *Análisis Matemático* (3 vols.). Buenos Aires, Kapelusz.
- SAINT-GUILHEM, R. (1962) *Les principes de L'Analyse Dimensionnelle*. París, Gauthier-Villars.
- SAN JUAN, R. (1947) *Teoría de las magnitudes físicas y sus fundamentos algebraicos*. Madrid, Bermejo.
- VASCHY, A. (1892) «Sur les Lois de Similitude en Physique». *Annales Télégraphiques*, 19, 25-28.



WALLOT, H. (1926) «Dimensionen, Einheiten, Mabsysteme». En: K. Schell (dir.) *Elementare Einheiten und ihre Messung*. Berlín, Springer-Verlag, 1-41.