

# TOMÁS BATUECAS: UN QUÍMICO GALEGO NO SISTEMA PERIÓDICO

**CID, RAMÓN**

*IES de Sar / Universidade de Santiago de Compostela*

**BERMEJO, MANOLO R.**

*Departamento de Química Inorgánica  
Universidade de Santiago de Compostela*

## 1. INTRODUCCIÓN

Este ano 2019 estanse celebrando moitos acontecementos relacionados coa química: os 150 anos da creación da T. P. moderna, por Dimitri Mendeleev; os 100 nos da entrada en funcionamento da IUPAC; os 230 anos da publicación do “*Tratado Elemental de Química*”, de Antoine Lavoisier;...etc. Na nosa Asociación, ENCIGA, iniciamos o pasado ano 2018, no congreso XXXI que tivo lugar en Lalín [1], a antesala das celebracións deste ano e, entre outros moitos actos, publicamos un exemplar extraordinario do noso Boletín, o Nº 87 [2], dedicado a lembrar, situar e comentar as diversas celebracións deste ano 2019.

Este ano, tamén, escolleuse como científico do ano en Galicia a Tomás Batuecas Marugán. Ten algo que ver, este científico galego, coa táboa periódica? Terá algo que ver coa IUPAC? Cal é a posible razón da súa elección como galego do ano no mundo da ciencia? Sabemos cal é a súa transcendencia científica?.

Con motivo da celebración do día da ciencia en Galicia, o Consello da Cultura Galega encargounos a realización dunha Unidade Didáctica [3] dedicada a facer unha semblanza da contribución científica do personaxe homenaxeado. Neste artigo queremos lembrarvos a todos vos a valía científica deste destacado profesor universitario galego.

Pretendemos nestas páxinas rescatar do esquecemento unha das máis brillantes figuras da química galega e traela aquí, para tentar explicar canto de destacable hai na figura científica de Batuecas; para que, todos nós saibamos como se pode facer ciencia de altura mesmo traballando nunha Universidade de provincias, nunhas condicións moi precarias e en plena ditadura. Confiamos en que, este artigo dedicado a Batuecas, poda servir de exemplo de como se pode chegar a facer ciencia de nivel internacional; mesmo traballando nunha situación de marxinação; sen ningún apoio económico; sen posibilidade de conexións co exterior, agás as que ti consigas pola túa valía; nunha dura ditadura.

Neste exemplar do noso Boletín, e no Nº 87 [2], estudamos a transcendencia no mundo da ciencia do Sistema Periódico, pero contribuíu, Tomás Batuecas, á mellora desta ordenación dos elementos químicos? Tiveron algo que ver, as súas investigacións, co Sistema Periódico? Como se relacionan esas investigacións con el? Tiveron relevancia de abondo como para seren importantes na historia da Táboa Periódica?

No noso Boletín Nº 87 [2] escríbese un artigo sobre a IUPAC, relatándose nel a transcendencia deste organismo internacional no mundo da Química, e queremos agora concretar neste traballo como e por que relacionamos a Batuecas coa IUPAC; en que medida el contribuíu ao seu desenvolvemento, e que achegas, na súa vida de investigador, son transcendentales como para que deba ser lembrado na historia dese importante organismo internacional.

Xa que logo, no que sigue, presentamos unha breve semblanza da súa vida, no tocante á súa formación científico/ docente ao longo do mundo, ata a súa incorporación á Universidade galega. Comentaremos a súa traxectoria científica na USC, subliñando as contribucións máis sobranceiras, así como a formación da súa Escola Científica, finalmente explicaremos a súa conexión coa IUPAC. Un estudo en formato comunicación foi presentado no XXXII Congreso de Enciga celebrado en Viveiro [4].

## 2. VIDA DE BATUECAS

Tomás Batuecas Marugán naceu o día 7 de marzo de 1893 en Aldeanueva del Camino, en Cáceres. Graduouse de bacharel en Cáceres no ano 1909, con premio extraordinario; cursou a licenciatura en Química en Salamanca no ano 1913, con premio extraordinario e realizou os estudos de doutorado en química, na Universidade de Madrid. Nesta Universidade iniciouse na investigación traballando no Laboratorio de Investigacións Físicas (pertencente á “Junta de Ampliación de Estudios e Investigacións Científicas”, JAE) que dirixía o eminente físico Blas Cabrera.

Entre os anos 1915-17 traballou en Xenebra, baixo a dirección de Moles e do gran químico Suízo Philippe A, Guye, na determinación da densidade normal do etileno. Este traballo constituiría a base da súa tese doutoral que presentou, de retorno en España, e foi cualificada coa máxima nota. Volve a Madrid en 1917 e alí ficará, ata o ano 1920, traballando como axudante no departamento do profesor Moles. En outubro de 1920 o Prof. Guye contrátao como *1er Assistant de Chimie Physique* na Universidade de Xenebra; continuará alí ata decembro de 1922, cesando trala morte de Guye. Neste período traballou na determinación de masas atómicas rigorosas utilizando o método das “densidade límites gasosas”. Nestes dous anos investigou moito, impartiu a docencia pertinente e acadou o título de “*venia legendi*”, que o acreditaba para traballar como “*Privat Docent*” nas universidades suízas.

De volta en Madrid, en decembro de 1922, incorpórase ao grupo de investigación do Prof. J. Palacios, realizando importantes traballos na nova liña de determinación rigorosa das “densidades límites gasosas” de gases reais. Ditos traballos foron publicados nas revistas máis importantes do momento.



Figura 1. Tomás Batuecas Marugán



**Figura 2.** *Blas Cabrera e Philippe Guye*

Entre os anos 1924-32 ocupou diferentes cargos docentes na Facultade de Ciencias madrileña, chegando a desempeñar entre 1928-32 a xefatura do laboratorio de combustibles vexetais no “*Instituto de Investigacións y Experiencias de Madrid*”. No ano 1931, logo da creación da fundación Rockefeller en Madrid, foi nomeado profesor agregado do Instituto Nacional de Física e Química da tal fundación.



**Figura 3.** *Enrique Moles e Julio Palacios*

En xullo do ano 1932 gaña, por oposición, a cátedra de química física da Facultade de Ciencias da Universidade de Santiago de Compostela. A súa intención era a de irse a Madrid en canto se creara alí unha cátedra de Química Teórica; pero, cando se crea é ocupada polo profesor Crespí e, Batuecas, ten que se quedar definitivamente en Santiago.

Cando Batuecas chega a Santiago, axiña sintoniza coas ideas progresistas dos docentes da Facultade de Ciencias e aposta por montar, canto antes mellor, o seu laboratorio. Tardaría un par de anos en conseguir que lle enviaran, desde Madrid, todo o seu material e, logo, tardaría aínda algún tempo en montalo e poñelo en funcionamento ata poder obter medidas. Con todos estes

problemas se produciu a sublevación militar de 1936 e, Batuecas e o seu novo equipo, aínda non comezaran os seus traballos.

No ano 1933, Batuecas, pensaba en montar o seu laboratorio axudado polos seus compañeiros de facultade e polo mesmo reitor Cadarso, quen cre na ciencia moderna e experimental. Desgraciadamente, Cadarso, morre en decembro do ano 1933 e non poderá xa axudar a Batuecas nas súas intencións de dotar e montar o seu novo laboratorio. Recibe o material de laboratorio, que tiña en Madrid, sobre mediados de 1934 e, axiña, se dedica a montar o seu valioso laboratorio. Nesta época inicia a dirección da súa primeira tese doutoral, que realizará Francisco Lopez Casado.

Cómpre indicar que, antes da rebelión militar do 36, o nivel científico e académico da Facultade de Ciencias da Universidade de Santiago de Compostela era moi elevado. Esa xeración de profesores, entre os que se atopaban Batuecas, Calvet, Sauras, Iglesias, Parga Pondal, Montequi...etc, non só xeralizaron a experimentalidade na Facultade senón que lle deron un nivel de modernidade e de excelencia, tanto á docencia coma a investigación que, logo do desastre da guerra civil, se tardaría moitos anos en volver a recuperar.

Cando Tomás Batuecas Marugán se incorpora á Facultade de Ciencias, como catedrático de Química Física –lembrems que é a primeira cátedra que se dota en España–, aínda se lle chamaba “Química teórica”; a facultade está case ao completo de profesorado. Indicamos de seguido como estaban a funcionar as cátedras existentes:

- A cátedra de Química Inorgánica estaba dirixida por Juan Martín Sauras e contaba cun importante grupo de colaboradores, pois era xa catedrático desde 1930. Dispoñía dun completo laboratorio de investigación, dotado polo reitorado do reitor Rodríguez Cadarso.
- A cátedra de Química Orgánica tiña ao fronte a Ferrán Calvet i Prats e contaba con adxunto, axudantes e bolsellos. A súa investigación era de relevancia para a época; pois, Calvet, viña de se formar en Oxford e, alí, estaba formándose o seu discípulo Seijo.
- A cátedra de Química Teórica estaba dirixida por Tomás Batuecas Marugán e, por ser de recente dotación non contaba con laboratorio; máis coa dilixencia e traballo do novo catedrático, axiña, conseguiría os medios para poder facer a investigación de altura que o ía caracterizar.
- A cátedra de Historia Natural e Bioloxía estaba dirixida por D. Luís Iglesias Iglesias, que xa era profesor desde había anos e tiña un ben dotado laboratorio dedicado á investigacións en enfermidades e pragas do campo, sendo a súa axuda e ditames moi solicitados polos labregos galegos para resolver moitos dos seus problemas.
- A cátedra de Física Fundamental contaba coa dirección do catedrático Álvarez Zurimendi e se encargaba da docencia de toda a física da Universidade. Estaba moi ben dotado o seu laboratorio e, tamén, contaba con persoal de apoio.

Cando Batuecas se incorpora á Facultade de Química o plan de estudos consta de 4 cursos nos que se ensina: Matemáticas e a súa ampliación; Física Xeral con complementos de Mecánica, Termodinámica, Electricidade e Óptica; un curso de Historia natural e Bioloxía; un curso de Xeoloxía; 2 cursos completos de Q. Inorgánica; 2 cursos de Q. Orgánica; 2 cursos de Q. Analítica; a Q. Física que se imparte nun só curso e, posteriormente, dotaríase unha nova cátedra de Q. Técnica. Batuecas ha pular e conseguir que a Q. Teórica, logo Q. Física, se imparta durante dous cursos, como as outras materias de química; no segundo curso se impartirá Electroquímica e Cinética.

Temos que insistir sobre o bo ambiente que presidía a vida da Facultade de Ciencias nestes anos anteriores á sublevación militar, de modo moi especial entre o profesorado intermedio e os bolseiros. Moitos profesores *seniors* saían ao estranxeiro a completar a súa formación e a establecer contactos internacionais importantes para os seus alumnos: Calvet, Sauras, Batuecas, Iglesias, Parga, Zapata,...etc. saían con frecuencia. Doutores como: Seijo, Couceiro, Espiñeira,...etc. tamén saían a se formar no estranxeiro para aprender novas técnicas que incorporar aos seus estudos e ás súas investigacións.

Nesta época comezan a se publicar traballos de nivel internacional en revistas de elevado prestixio, nos que traballan tanto alumnos coma alumnas: tal é o caso de Natividade Mejuto e de Concepción Carneiro, sendo esta a primeira muller galega que publica un traballo químico de nivel. Batuecas únese a este bo ambiente e publica tanto os traballos que tiña rematados en Madrid e en Xenebra, pero pendentes de publicar (no ano 1933-34 publica tres traballos no *J. Chim. Phys.*), como os novos traballos que van ir derivando da tese doutoral de López Casado, que serán publicados nesa mesma revista e no *Zeits. Phys. Chem.*



Acto social do profesorado da US (ca. 1935). 1-Ciriaco Pérez Bustamante. 2-Pura Lorenzo Ruza. 3-Aniceto Charro. 4-Sra. de Sauras. 5-Luis Iglesias. 6-Arias Ramos. 7-Martín Sauras. 8-Ramón Sobrino. 9-Sra. de Batuecas. 10-Sra. de Luis Iglesias. 15-Sra. de Calvet. 16-Calvet.

**Figura 4.** Acto social do profesorado da Facultade de Ciencias

Como se pode deducir do devandito, antes da rebelión militar do 36, o nivel científico e académico da Facultade de Ciencias de Santiago era moi elevado. Esta xeración de profesores, entre os que se atopaba Batuecas, non só xeralizarán a experimentalidade na Facultade, senón que lle darán á facultade un nivel de modernidade e de excelencia extraordinario.

Durante a vida científica de Batuecas, entre 1933-72, as liñas de investigación que se cultivaban na Facultade de Ciencias, eran moito máis reducidas do que serían máis adiante no tempo; sinalemos algunhas desas liñas practicadas nos diferentes departamentos:

- En Química Física, Batuecas, traballou na determinación rigorosa de masas atómicas utilizando dous métodos distintos, como xa indicaremos noutra parte.

- En Química Orgánica, Ignacio Ribas Marqués, dedicábase ao illamento, caracterización e estudo dos alcaloides; estes compostos eran extraídos: da cortiza das árbores (como o sabugueiro), das algas, das esponxas, etc.
- En Química Analítica, Francisco Bermejo Martínez, traballaba no estudo das complexonas (AEDT e similares) na determinación de metais nos máis diversos medios.
- En Q. Técnica, Joaquín Ocón García, estudaba a separación de mesturas binarias e ternarias de distintos alcois en columnas de recheo.
- En Física, Inmaculada Paz Andrade, estudaría o comportamento teórico das mesturas líquidas e iniciaría os estudos calorimétricos.
- En Q. Inorgánica, José Ramón Masaguer Fernández, dedicábase ao estudo da formación de complexos metálicos con distintos dadores en disolventes non acuosos e iniciaba o estudo da química en sales fundidas.

### 3. A CONTRIBUCIÓN CIENTÍFICA DE BATUECAS

Para comprender a transcendencia das achegas científicas dun bo investigador cumpre valorar a súa excelencia científica e a formación dunha importante Escola de alumnos. No caso de Batuecas o seu comportamento, como a seguir veremos, foi destacado.

#### - A Excelencia Científica.

A medida da calidade científica dun investigador ven dada polo nivel das súas publicacións. Un estudo da produtividade científica de Batuecas, ao longo da súa dilatada vida, nos conduce aos seguintes números:

1º Publicou na súa vida científica 139 traballos recoñecidos, sen presentar lagoas nos 56 anos da súa vida científica, a pesares da posta en marcha da súa investigación, no novo laboratorio en Santiago, e da guerra civil. Os traballos foron de diferente calidade, como corresponde a todo científico e como veremos seguidamente.

2º O 50% da súa produción son traballos de calidade media, publicados en revistas nacionais, era a tónica das publicacións do tempo na ciencia española. As revistas eran: os *Anales da Real Sociedad Española de Física y Química* e a *Revista da Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (a máis anterga revista de publicacións científicas de España). Publica un total de 69 traballos, o que representa unha produtividade elevada para esa época da ciencia española.

3º O 15% son publicacións de carácter menor, publicadas en revistas locais como: o *Boletín da Universidade de Santiago*; as *Memorias das Ciencias de Lisboa*; a *Revista Selecta Química de Brasil*; ...etc. Son uns 25 traballos

4º Un 10% das súas publicacións versan sobre temas científicos do máis diverso, con ánimo de divulgación; se publican en revistas do tipo: *Medicamenta*; *Revista de Aeronáutica*; *Investigación y Progreso*, *Scientia*; *Cuadernos de Ciencia Española*;...etc. Representan 12 traballos.

5º Finalmente están os traballos máis relevantes publicados en revistas de primeirísimo nivel. Son 39 traballos, que representan o 30% da súa produtividade. Están publicados en revistas como: *Nature*, a revista de máis alto nivel científico aínda hoxe; *Comptes Rendus*, publicada desde o ano 1666; *Zeitschrift fur Physikalische Chemie* (creada no século XIX por Ostwald, van `t Hoff e Arrhenius); *Journal de Chimie Physique*; *Monatshefte fur Chemie*; *Helvetica Chimica Acta*;...etc.

Do devandito subliñamos a gran cantidade de traballos publicados e a enorme calidade das publicacións (non é normal neses tempos da ditadura publicar tanto e de tanta calidade). Nesa dura época da historia de España, sen axudas económicas de ningún tipo, sen ambiente científico,

sen acceso á bibliografía máis recente, sen conexións co exterior por non poder saír, sen.....Batuecas é quen de publicar todo o indicado e, por riba de todo, 3 traballos no Nature:

- O primeiro, con título “*Atomic Masse of Silicon*” na páx. 705 do Nº 159 do ano 1947.
- O segundo, con título “*The Pykno-X-Ray Method*”, na páx. 61 do Nº 165 do ano 1950.
- O terceiro, con título “*Determination of atomic masses by Pykno method*” na páx. 345 do Nº 173 do ano 1954.

Con todo o anterior abonda para comprender a *Excelencia Investigadora* de Tomás Batuecas. Tamén podemos entender a razón de que chegara a ser proposto, por elección, como membro da *Comisión Internacional de Pesos Atómicos* e de que chegara a ser o seu presidente.

- A Escola Compostelana de determinación rigorosa de masas atómicas e moleculares

A valía científica dun investigador non soamente se mide pola súa produtividade científica e pola calidade dos seus resultados; senón, tamén, pola escola que é quen de crear e que ha permitir nun futuro que, os seus alumnos, continúen coas liñas de traballo iniciais e mesmo de que cheguen a melloralas.

Batuecas creou unha escola que foi denominada “*Escola Compostelana de determinación rigorosa de Masas Atómicas*”. Esta escola foi unha continuación da creada por Guye en Xenebra e por Moles en Madrid. Tomás Batuecas foi o continuador desta escola ao longo do tempo, desde 1935 (cando o laboratorio de Santiago se pon en funcionamento) ata o momento da súa morte, no ano 1972.

Tomás Batuecas pasou á historia da ciencia en Galicia pola continuación desa escola de determinación de masas atómicas, desenvolvendo dous métodos de determinación diversos que constituíron as súas liñas de investigación: 1º estudio rigoroso de masas atómicas polo método das “*densidades límite gasosas*”; 2º estudio rigoroso de masas atómicas utilizando o método “*picno-roentgenométrico*”. No seguinte apartado escribiremos sobre o desenvolvemento e a aplicación destes métodos.

#### 4. BATUECAS NA HISTORIA DO SISTEMA PERIÓDICO

No Boletín Nº 87 da nosa asociación [2], discutíuse amplamente o gran éxito de Mendeleev ao inventar a súa táboa periódica. Tal éxito foi a consecuencia da ordenación dos elementos químicos existentes seguindo a orde recendente dos seus pesos atómicos. Tal ordenamento, na forma dunha táboa, conduciu ao establecemento da periodicidade química e, como consecuencia, á predicibilidade da existencia de novos elementos químicos, das súas propiedades e da súa reactividade.

O uso das masas atómicas non son, hoxe, o determinante da ordenación dos elementos químicos no Sistema Periódico. Todos coñecemos, desde que Moseley así o indicou, que os elementos químicos se ordenan polo seu número atómico que é o que da sentido á configuración electrónica dos átomos e o que determina as súas propiedades físicas e químicas; pero compre subliñar a enorme transcendencia que, aínda hoxe, ten o coñecemento rigoroso das masas atómicas dos elementos. Tanto no mundo da física como no da química é fundamental, para calquera tipo de cálculo, o uso das masas atómicas. Tamén temos que subliñar, polo que logo veremos, que é fundamental ter un sistema de referencia para a determinación das masas atómicas. Na historia utilizouse, como primeira referencia, a masa do H-1 como 1.0000; logo foi o O-16, como 16.0000 e, hoxe é o C-12 con valor de 12.0000. Como se chegou a este último valor?

Sentada a transcendencia do concepto e do uso da masa atómica, tanto no Sistema Periódico, como na Química e na Física, cómpre preguntarnos, cal é o papel xogado por Batuecas?. En que medida a súa investigación influíu no seu desenvolvemento?. Tentaremos descubri-lo a seguir.

Todas as táboas periódicas do século XIX están baseadas na determinación con precisión dos pesos atómicos -hoxe cómpre falar de masas atómicas, como se discute na nosa Unidade Didáctica [3]- e, Batuecas, centrou toda a súa investigación na determinación rigorosa de masas atómicas de elementos coñecidos, así como na determinación de constantes universais que permitían esas medidas.

Nas súas investigacións iniciouse determinando a densidade normal do etileno, máis adiante dedicouse ao cálculo do  $V_0$  do mercurio a densidades variables, interesouse no valor da constante universal "R", e tamén chegou a calcular con gran precisión as masas atómicas de moitos dos elementos coñecidos (C, Si, Al, Mg, Na, K, As, Pb,..etc). Logo da súa morte, tras a lectura da tese de Xosé Manuel Pereira Cordido, os seus valores da masa atómica do nitróxeno e o cálculo de "R" foron recoñecidos como grandes éxitos internacionais.

Esta foi a contribución de Batuecas ao avance da compresión do Sistema Periódico: a determinación de masas atómicas rigorosas dalgúns dos elementos químicos que a integran.

Os métodos que utilizou para esas determinación rigorosas foron os xa indicados con anterioridade:

### 1ª Estudio riguroso de masas atómicas polo método das "densidades límite gasosas"

Este método basease no feito de que, a densidade, é unha función da temperatura. Por elo, nel, calcúlase as densidades límite de elementos e compostos, para logo determinar a masa atómica dun dos elementos con gran precisión, a distintas presións. O método é tremendamente complicado, pola precisión con que compre realizar todas as medidas, os cálculos e pola liña de alto baleiro que compre controlar e saber utilizar ben.

As masas atómicas calcúlanse utilizando a expresión  $M = V_0 \times \rho$

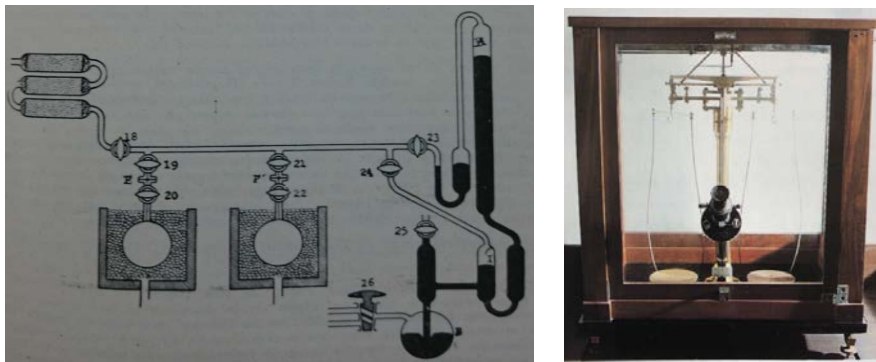
Se somos quen de calcular a densidade dun gas, como  $V_0 = 22.4151/\text{mol}$ , para os gases ideais, será moi doado calcular con precisión a masa atómica dos gases ideais. O problema complicase no caso dos gases reais, e todos os gases son reais en condicións normais, polo que o valor de  $V_0$  é distinto para cada un dos gases e non se pode aplicar a expresión indicada, polo que non se vai poder calcular tan doadamente as masas atómicas dos elementos con precisión.

Hai máis de 100 anos desenvolveuse unha metodoloxía para poder calcular masas atómicas, esta metodoloxía nomeouse das "densidades límite". Tal metodoloxía consistía en admitir que todos os gases reais se comportan como ideais a presión moi moi reducida. Polo tanto se a densidade,  $\rho$ , é función da presión  $\{\rho = f(p)\}$  e medimos a densidade a diferentes presións, e a presións cada vez máis reducidas - variando e reducindo as presións a que se someten os gases cunha moi boa liña de baleiro- estaríamos en condicións de medir a  $\rho_0$  a presións moi baixas e, polo tanto, estaríamos en condicións de calcular, con este método, a  $\rho_0$  como o límite da presión cando, esta presión, tende a cero:

$$\rho_0 = \lim \rho(p)$$

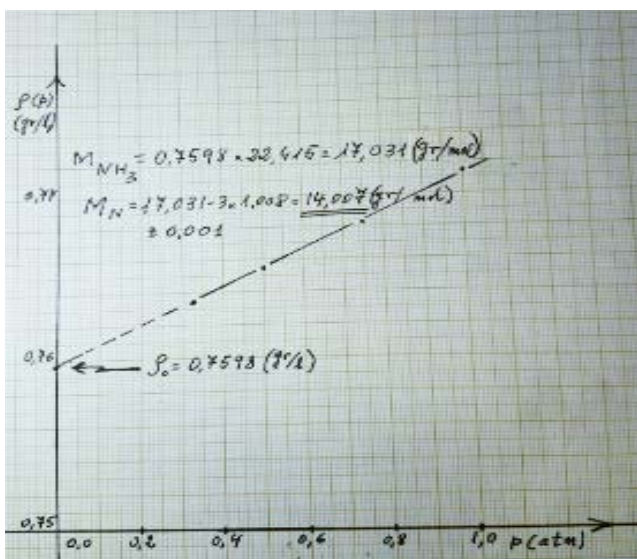
Con este método estaríamos en condicións de calcular, doadamente, a masa atómica dos elementos químicos gasosos con precisión.





**Figura 5.** Liña de baleiro e balanza de precisión utilizadas por Tomás Batuecas, nas súas determinacións das masas atómicas.

Por todo o anterior, se medimos densidades de gases, con gran precisión, a presións dende 1 atm ata valores de “p” case cero, poderíamos facer unha representación gráfica deses valores de densidades calculadas fronte a “p” e conseguiríamos chegar a poder determinar  $\rho_0$  a presión,  $p=0$ , (ver fig 6). Seguindo este método estaríamos en condicións de calcular masas atómicas ou moleculares dos gases obxecto de estudo.



**Figura 6.** Gráfico da determinación da  $\rho_0$  do amoniaco, realizada no grupo de Tomás Batuecas.

No estudo que se propón na Fig.6 (tirado da tese de Eugenio García-Rodeja, dirixida por T. Batuecas) calcúlase o valor da masa atómica do nitróxeno, utilizando o amoniaco puro como gas real. Como se ve na fig. 6 pódese calcular a  $\rho_0$  do  $\text{NH}_3$  que resulta ser de 0.7593g/l.

Desta forma podemos calcular a masa molecular do  $\text{NH}_3$ , que será

$$M_{\text{NH}_3} = 0.7593 \times 22.145 = 17.031 \text{ g/mol}$$

Como a masa atómica do H considérase  $M = 1.008$ , poderíamos calcular a  $M_N$ , que sería:

$$M_N = 17.031 - 3 \times 1.008 = 14.007 \pm 0.001 \text{ g/l.}$$

Esa masa atómica foi considerada como a oficial por algúns anos ata que, na tese de Pereira Cordido dirixida por Batuecas no ano 1972, calculouse con maior precisión quedando desde entón como 14.0067 g/l.

Esta liña de traballo, que vimos de detallar, tróuxoa Batuecas de Xenebra e Madrid e continuou nela toda súa vida. Foron discípulos desta Escola: Francisco López Casado, o iniciador no ano 1935, que traballaría na Universidade de Leeds; Xerardo García Malde; Eugénio Garcia-Rodeja, quen foi adxunto no departamento de Química física e, logo, catedrático da Escola Universitaria do Profesorado en Santiago; María Concepción Varela e, finalmente, José Manuel Pereira Cordido, quen chegou a ler a súa tese logo da morte de D. Tomás, e sería catedrático de Instituto en Santiago de Compostela.

### 2º Estudio riguroso de masas atómicas utilizando o método “picno-roentgenométrico”

Este método utilizaba as medidas de densidades e das constantes reticulares de sustancias puras cristalizadas para a determinación das masas atómica. Foi proposto por Hutchinson e Johnson e, posteriormente, foi perfeccionado polo equipo formado polo profesor Batuecas en Santiago de Compostela. Utilizábase un picnómetro de precisión, aplicado aos corpos puros (sólidos ou líquidos) e ás disolucións; as constantes das sustancias puras determinábanse cristalograficamente (primeiro utilizando a calcita como referente e, logo, utilizando carbono diamante).



**Figura 7.** Picnómetro utilizado na determinación das densidades.

Neste método dado que a densidade defínese como a masa contida na unidade de volume, escóllese como volume o da célula elemental dun cristal; pois as súas constantes pódense determinar con gran precisión por difracción de raios X.

Utilizando as medidas cristalográficas podemos determinar, para a célula elemental obxecto de estudio: a distancia entre os átomos que a integran, polo que coñecemos o volume, “V”; pero tamén o número de átomos, “n”, por célula.

Deste xeito a densidade,  $\rho$ , determinada con gran precisión utilizando un picnómetro, estará relacionada coa masa que queremos estudar pola expresión

$$\rho = n \times M/V$$

A Escola de Batuecas determinou a masa de moitos elementos químicos (Na, K, Mg, Al, etc). Vexamos como, este grupo de investigación, determinou a masa atómica do sodio.

Utilizou o NaCl moi puro para determinar con gran precisión a súa densidade,  $\rho$ . Así:

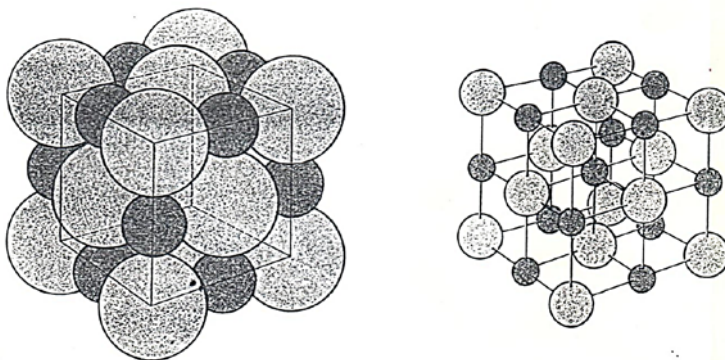
$$\rho_{\text{calculada}} = n M/V$$

É ben sabido que na cella elemental do NaCl -que é cúbica centrada nas caras (ver Fig. 8), hai 4 átomos de cloro e 4 de sodio e que o volume desa cella é  $d^3$ , sendo “d” a aresta do cubo. De modo que  $d = 2 \cdot r(\text{Na}^+) + 2 \cdot r(\text{Cl}^-)$ .

No presente caso  $d = 5.66 \cdot 10^{-8}$  m e, polo tanto:

$$\rho_{\text{calculada}} = 4M_{\text{Na}} + 4 \times 35.5 / 6.022 \cdot 10^{23} / (5.66 \cdot 10^{-8})^3 \text{ g/l}$$

Coñecida con precisión a densidade do NaCl puro estamos en condicións de determinar a masa atómica do sodio.



**Figura 8.** Rede do NaCl.

O problema radica no cálculo das densidades destas substancias puras con rigorosa precisión. Para conseguilo se utiliza un picnómetro (ver Fig.7) co que se calcula o volume,  $V_0$ , do mesmo con gran precisión por aforamento con auga pura.

A densidade da mostra pura,  $\rho$ , determínase polo chamado método de “*inmerso-flotación*” que consiste en asumir que a densidade de distintas substancias puras é equivalente á densidade que presentaría, esa mesma substancia, estando en flotación no interior dun disolvente ou conxunto de disolventes.

No caso do NaCl estudouse, por Batuecas e o seu equipo, disolventes moi variados e en moi distintas proporcións ata atopar que, a mestura tolueno/xileno, nunha dada proporción conseguía manter en flotación (sen se disolver), ao NaCl. Chegado a esa situación tiñamos resolto o problema: votabamos esa mestura no picnómetro, enrasabamos ben, levabámolo á balanza de precisión (fig. 5) e pesabamos, para calcular  $\rho$  e, así, chegabamos a calcular que, esa  $\rho$ , era  $\rho = M/V_0$ : o resultado de dividir a masa pesada polo  $V_0$  calculado con auga.

Tendo esa  $\rho_{\text{calculada}}$  podemos chegar a calcular a  $M_{\text{Na}}$  utilizando a expresión roentgenométrica anteriormente indicada.

Batuecas e o seu equipo chegaron a calcular por este procedemento, e con gran precisión, as masas atómicas dos elementos químicos:

Na, Mg, K, Al, AG, Si, As e Pb

As dificultades enormes que presentaban estas investigacións son doadas de comprender, máis indiquemos algunhas.

- Cumpría preparar produtos moi puros en cada determinación.
- Necesitábase unha balanza de alta precisión e gran sensibilidade.
- Había que ter unha liña de baleiro de alta precisión e sabela manipular moi ben para controlar a T e determinar P.
- Estar en condicións de facer medidas rigorosas, medidas con gran precisión, para poder controlar os marxes de error.
- Realizar múltiples ensaios e medidas ata ter a certeza de facer medidas rigorosas.

Comprendemos, por todo o anterior, doadamente o por qué da valía de Batuecas nas súas investigacións e porqué publicaba nas máis prestixiosas revistas da época.

Nesta liña de investigación traballaron os doutorandos: José Ignacio Fernández Alonso, iniciador da liña e, logo, catedrático de Q. Física na Universidade de Valencia e Autónoma de Madrid; Celso Gutierrez Losa, o segundo do grupo e que chegaría a ser catedrático en Zaragoza; Manuel Carreira Vázquez, que traballaría na Xunta de Enerxía Nuclear de Madrid; C. Magdalena Castiñeiras e, finalmente, María del Carmen Meijon Mouriño, tese presentada cando Tomás Batuecas xa estaba xubilado, que foi catedrática de ensino secundario na Coruña.

## 5. BATUECAS NA IUPAC

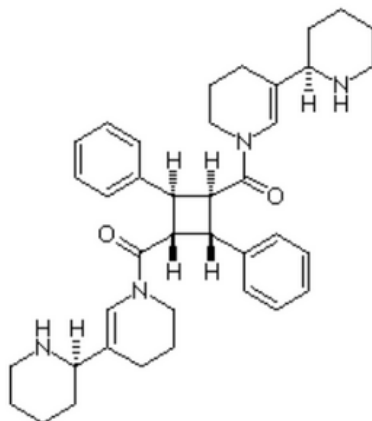
O profesor Batuecas foi membro destacado dunha das comisións da IUPAC: a denominada “*Comisión de Pesos e Medidas*”. Entrou a formar parte desta comisión, por méritos propios, polos seus relevantes traballos realizados no campo da determinación de masa atómicas e moleculares, así como pola determinación de constantes universais na ciencia. Foi elixido membro desa comisión no ano 1955 e, posteriormente, foi nomeado vicepresidente para o bienio 1957-59. Finalmente foi elixido presidente para o mandato 1959-1963, xusto ata a súa xubilación como catedrático de química- física da Universidade de Santiago de Compostela, á idade de 70 anos.

Durante o seu mandato como presidente tivo lugar a celebración da XVI Conferencia Internacional da IUPAC, na cidade de Montreal no ano 1961, na que un dos motivos de debate principais era a decisión de tomar unha masa atómica de referencia para todas as medidas da ciencia. Ata ese momento a masa atómica de referencia era a do isótopo C-16, que se admitía como 16.0000. Os físicos eran quen defendían esa unidade; pero os químicos dicían que, para as medidas químicas, era moi imprecisa por dous especiais motivos: o osíxeno tiña 3 isótopos e resultaba moi inexacto tomar como base a masa dun só isótopo; ademais a composición do osíxeno, nos seus compostos ao longo do noso planeta, variaba moito, polo que introducía moita máis incerteza.

Cremos interesante traer aquí, rematando este artigo, un pouco da “historia pequena” desta cuestión (tomado de Holden, 2004) que estivo detrás desa cambio tan trascendente. En abril de 1957, dous grandes expertos en espectroscopía de masas, Alfred Carl Otto *Nier* (1911–1994) e *Josef Mattauch* (1895–1976) uniron as súas forzas para convencer á comunidade internacional de que se adoptase a escala de masas do C-12, que xa era usada como estándar secundario en espectrometría de masas. Ademais, tomar esta escala permitía uns cambios relativos aceptables implícitos na escala de peso atómico, que eran de só 42 partes por millón (ppm) [ou 0,0042%] en

comparación con 275 ppm [ou 0,0275%] se se pasaba das escala da mestura de isótopos do Osíxeno dos químicos á do O-16 dos físicos.

Co fin de concretar un pouco máis o que esta diferenza implicaba, vexamos o caso da santiaguina, que é un alcaloide que foi inicialmente illado en Galicia no codeso na Facultade de Química da USC hai uns 70 anos, sendo o catedrático de Química Orgánica o profesor Ignacio Ribas Marqués (para máis información, sobre o profesor Ribas e a súa química ver Pérez Maceira e Peña Taín, 2016).



**Figura 9.** A molécula da Santiaguina.

A masa molecular deste alcaloide é de 592 g/mol, e a diferenza nos anos 1960 entre a escala dos Físicos e ao dos Químicos significaría neste caso 0,16 g/mol, mentres que ao pasar á escala do C-12 a diferenza respecto á escala dos químicos, baseada na mestura de isótopos do O, pasaba a ser 0,025 g/mol.

Con entusiasmo, Mattauch fixo un esforzo mundial a finais da década de 1950 para dar a coñecer a escala do C-12 e obter a aprobación dos físicos, mentres que Edward Wichers (1892–1984) – Director da National Bureau of Standards de 1958–62– implicouse tamén a fondo para lograr aprobación do mundo da química.



**Figura 10.** Klaus Clusius e o seu amigo Tomás Batuecas

Tomás Batuecas, desde a súa posición como presidente, na Comisión de Pesos Atómicos, uniuse a esta postura xunto co seu amigo Klaus Clusius, profesor da universidade de Zurich; ambos defenderon vivamente durante as sesións do congreso de Montreal do ano 1961 a nova postura e conseguiron que, por maioría, se adoptase como nova base a do C-12. Dita nova masa de referencia non foi inmediatamente aceptada por toda a comunidade científica máis, pouco a pouco, foise impondo a súa utilización e, cara finais desa década, era xa aceptada por todos os científicos.

Pódese comprender doadamente o importante papel xogado por Batuecas en tan transcendental decisión para o mundo a ciencia.

Durante esa transcendental década, Batuecas, estaba dirixindo a tese doutoral de Xosé Manuel Pereira Cordido quen, novamente, estaba a determinar a masa atómica do nitróxeno coa máxima precisión posible: esa masa, aínda hoxe, segue a ser a de referencia. Ao mesmo tempo determinaron o valor do volume normal molecular ( $V_0$ ) dun gas ideal que pasaba a ser de  $V = 24.4130 \pm 0.0003$  l/mol. Como consecuencia de todos estes cálculos foi posible determinar coa máxima precisión do momento a constante física fundamental, R, dos gases ideais. Batuecas nunca chegou a ter noticia da relevancia dos seus descubrimentos, pois morría no ano 1972, pouco antes de se iniciar a “4ª Conferencia Internacional sobre constantes atómicas e fundamentais” nas que tanto se citaron e celebraron os seus salientables resultados.

Poucas veces na historia do noso País un científico noso tivo a honra de pertencer a un tan alto organismo internacional e, ao tempo, xogar un papel tan determinante nunha decisión tan transcendental como foi a de tomar como base de referencia a masa atómica do C-12 como 12.0000.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. En XXXI Congreso de ENCIGA (Lalín), nº 86, (2018)
- [2]. VV.AA. *Boletín das Ciencias*. Nº 87. (2019)
- [3]. BERMEJO M.R., CID R. (2019). Día da Ciencia en Galicia 2019: Tomás Batuecas Marugán. *Unidade Didáctica, Consello da Cultura Galega*. (2019).
- [4]. BERMEJO M.R., CID R., en XXXII Congreso de ENCIGA (Viveiro), nº 88, (2019) e bibliografía citada.
- [5]. ÁLVAREZ GONZÁLEZ, E. Y MANZANO, D. (2018). Propuesta didáctica para el empleo de la Historia de la Ciencia en la enseñanza del primer principio de la Termodinámica en Educación Secundaria. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 25: 9-28.
- [6]. BATUECAS T (1970). Quelques remarques à propos du terme “poids atomique. *Fondo Bibliográfico da Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, pp. 831-835.
- [7]. BATUECAS, T. , GUÉRON J (1962): “Summary minutes of the Commission on Atomic Weights, 1961”, *Pure and Applied Chemistry*, 5, 255-304 (1962).
- [8]. BATUECAS Y MARUGÁN, TOMÁS. Contribución a la revisión del peso atómico de la densidad normal del gas etileno. *Fondo Bibliográfico da Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* .T. 17, págs. 358-389.

- [9]. BATUECAS Y MARUGÁN, TOMÁS. Las masas atómicas del potasio, aluminio y magnesio a partir de medidas de densidad y datos röntgenográficos. *Fondo Bibliográfico da Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. T. 35, págs. 349-307.
- [10]. BATUECAS Y MARUGÁN, TOMÁS. Observaciones a un trabajo de A. Magnus y E. Schmid referente a un método para medir densidades de vapor aplicable a determinaciones de masas atómicas. *Fondo Bibliográfico da Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. T. 35, págs. 454-464-
- [11]. BATUECAS Y MARUGÁN, TOMÁS. Sobre la densidad del Hg, a 0° C., determinada picnométricamente. *Fondo Bibliográfico da Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. T. 39, págs. 321-330.
- [12]. BERMEJO M. R. (1993. Batuecas Marugán, Tomás, en VV. AA., *Diccionario Histórico das Ciencias e das Técnicas en Galicia. Autores, 1868-1938, Santiago, Seminario de Estudios Galegos*, 1993, pp. 30-32.
- [13]. DE BIEVRE P., e PEISER H.S. (1992). Atomic weight, the name, its history, definition, and units. *Pure&Appl. Chem.*, IUPAC, Vol. 64, No. 10, pp. 1535-1543,
- [14]. FERNÁNDEZ ALONSO, J. I. (1964): *Acta Científ. Compost.*, 1, 163.
- [15]. FERNÁNDEZ ALONSO, J. I. (1964): *An. Quím.*, 60-B, 79.
- [16]. PÉREZ MACEIRA J., e PEÑA TAÍN V. (2016). Ignacio Ribas Marqués químico orgánico: A química das plantas galegas. Día da Ciencia en Galicia 2016. *Fundación Barrié*. A Coruña.
- [17]. HOLDEN N. E. (2004). Atomic Weights and the International Committee —A Historical Review. *Chemistry International IUPAC*. Vol 26 No. 1. January-February 2004.