

# Índice

13	Índice de figuras
15	La presente edición
17	Prólogo
23	Biografía del Profesor José Luis Amorós 1920-2001
29	Introducción
33	1. El periodo precristalino
33	1.1. Cuando el cristal no existía
34	1.1.1. Las ideas básicas
39	1.1.2. Al principio eran piedras
43	1.1.3. Dioscórides
45	1.1.4. Plinio el Viejo
47	1.1.5. Los Lapidarios
53	1.1.6. El problema de llenar espacio: origen de la restricción cristalográfica
55	1.1.7. La piedra imán
57	2. El descubrimiento de la forma cristalina
57	2.1. La belleza del cristal y los artistas
59	2.2. Cambio en el enfoque científico
60	2.3. Los hombres de ciencia
62	2.3.1. Agrícola y la morfología de los minerales
64	2.3.2. Bernardo Pérez de Vargas y su <i>De re metallica</i>
66	2.3.3. Palissy y sus <i>Discursos admirables</i>
68	2.4. La constancia de la forma cristalina se convierte en conocimiento aceptado
70	2.4.1. Las «terrelas» de Gilbert
72	2.4.2. El legado de Platón

73	2.5. Una nueva técnica: el microscopio
74	2.5.1. Robert Hooke y el microscopio
77	2.5.2. Dendritas
78	2.5.3. Cristales de nieve
79	2.6. Stensen y la ley de constancia de los ángulos
81	2.6.1. Ideas de Stensen sobre los cristales
85	2.7. Boyle y el crecimiento de los cristales
89	3. Del atomismo al empaquetado de bolas
89	3.1 El abandono del aristotelismo
91	3.2. El atomismo redescubierto
94	3.3. La invención del empaquetado de bolas: Kepler
97	3.4. El atomismo se extiende por doquier
101	3.5. Gassendi y el atomismo epicúreo
105	3.6. El atomismo en Inglaterra: Charleton y Boyle
106	3.7. El segundo descubrimiento del empaquetado de bolas
108	3.8. El primer programa para el estudio de los cristales
111	4. Las propiedades físicas de los cristales son diferentes
111	4.1. Erasmo Bartholino y la doble refracción
117	4.2. Huygens y la interpretación de la doble refracción
121	4.3. La luz como ondas
122	4.3.1. Interpretación de la doble refracción
125	4.3.2. El método sintético del estudio del cristal
128	4.4. Newton sobre la doble refracción
134	4.5. Índice de refracción y densidad
135	5. Nacimiento de la Cristalografía
135	5.1. Yatroquímica
138	5.2. Phillippe de la Hire
140	5.3. Cristales a espuestas: Leeuwenhoek y su microscopio
145	5.4. La Ciencia de los cristales toma un nombre propio
146	5.5. La reacción
147	5.6. Otra vez el empaquetado de esferas
150	5.7. Mineralogistas y Gabinetes Mineralógicos
151	5.8. Linnaeus y la morfología cristalina
153	5.9. Werner y los caracteres externos de los minerales
156	5.10. El extraño comportamiento de la turmalina
159	5.11. La Cristalografía se hace ciencia: Romé de L'Isle
161	5.11.1. La cristalografía como ciencia

162	5.11.2. Leyes o principios de la cristalografía
165	5.11.3. El método de las truncaduras
166	5.11.4. Otras ideas de Romé de l'Isle
169	6. Teoría de cohesión
169	6.1. Atomismo y cohesión
172	6.2. Boscovich
173	6.2.1. La teoría de Boscovich
176	6.3. Distribución geométrica de los átomos en los cristales
178	6.3.1. Empaquetado de átomos en los cristales
181	6.4. Wollaston y la estructura atómica de los cristales
187	7. Los cristaloclastas
187	7.1. Crecimiento cristalino y exfoliación de la calcita: Bergman
193	7.2. Una vez más la exfoliación de la calcita: René-Just Haüy
197	7.3. La teoría de los cristales
199	7.3.1. La teoría de los decrecimientos y de la ley de las intersecciones racionales
202	7.3.2. Moléculas sustractivas
203	7.3.3. Homogeneidad cristalina
204	7.3.4. La ley de simetría
205	7.3.5. El caso de la turmalina
207	7.3.6. Crecimiento de cristales y otras cuestiones
208	7.3.7. Fórmulas representativas de los cristales
211	8. La gran controversia
211	8.1. ¿Estaba Haüy equivocado?
212	8.2. El problema del aragonito
214	8.3. El caso de los cristales mixtos: isomorfismo
215	8.4. Mitscherlich, Berzelius y Haüy: las dos caras de una moneda <sup>5</sup>
218	8.5. Los descubrimientos de Mitscherlich: polimorfismo e isomorfismo
223	9. La geometrización del cristal
223	9.1. Las lecciones de la geometría analítica
225	9.2. El origen de la cristalografía germana
226	9.2.1. El sistema de los ejes cristalinos: los sistemas de cristalización
230	9.2.2. La ley de las intersecciones racionales y los parámetros de una cara
231	9.2.3. La ley de zonas
232	9.2.4. La notación paramétrica
234	9.3. La notación de Lévy
234	9.4. Los índices de Miller

236	9.5. Las clases cristalinas: Hessel
241	9.6. La labor de Bravais
245	10. Entendiendo la óptica de los cristales
245	10.1. Todo empezó con el Espato de Islandia y una superficie reflectora
248	10.2. Polarización rotatoria
249	10.3. El sistema de los anillos coloreados: cristales positivos y negativos
254	10.4. A pesar de todo Huygens estaba en lo cierto
257	10.5. La segunda medalla de Rumford casi no llega a tiempo
259	10.6. La óptica de los cristales según Fresnel
262	10.7. La física de los cristales
265	11. Del calórico a los elipsoides térmicos
265	11.1. Dos ideas opuestas
267	11.2. Continuidad y ecuaciones diferenciales parciales
268	11.3. Fourier y sus series
270	11.4. La intuición de Poisson
271	11.5. La anisotropía de los cristales: Duhamel
273	11.6. La evidencia experimental
275	11.7. La teoría ya lo había dicho
277	11.8. Aspecto estructural
281	12. Expansión térmica
281	12.1. Expansión térmica de los sólidos
282	12.2. Anisotropía de la dilatación térmica
285	12.3. La idea de Seeber
285	12.4. El principio de Neumann
288	12.5. Desarrollo de la teoría
289	12.6. Mejoras experimentales
290	12.7. El método interferométrico de Fizeau
291	12.8. La síntesis final: Fletcher
293	13. Los cristales como redes
293	13.1. La idea
295	13.2. La contribución de los matemáticos
296	13.3. El error de Frankenheim
298	13.4. Haces de elementos de simetría
299	13.5. Las 14 redes de Bravais
302	13.6. Redes polares
304	13.7. Los cuerpos de Dirichlet
306	13.8. La teoría de los cristales de Bravais

311	14. De los cristales al mecanismo de la vida
311	14.1. Pasteur y el descubrimiento de la disimetría
313	14.2. La disimetría molecular
317	15. De redes a Grupos Espaciales
317	15.1. La representación analítica de los grupos: Jordan
319	15.2. El desarrollo de Sohncke
322	15.3. La simetría alternante de Pierre Curie
323	15.4. Los 230 grupos espaciales
329	15.5. El principio de la nueva era
333	Bibliografía

## Prólogo

En un país tan poco dado a celebrar los logros y virtudes del prójimo, incluso cuando no nos queda más remedio que admirarlo, la edición de este libro que se dispone a leer es una saludable iniciativa. Porque éste es un libro editado para reconocer en el coro de los científicos la obra de un maestro por parte de un puñado de colegas que nos consideramos influidos por su obra y especialmente por su forma de hacer ciencia. Pero sobre todo se hace para dar a conocer al gran público una obra de divulgación extraordinaria que estaba oculta en la insondable biblioteca de los libros descatalogados. Es un libro que se reedita, en el marco del Año Internacional de la Cristalografía, en homenaje al que fuera catedrático de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad Complutense, José Luis Amorós Portolés.



José Luis Amorós es una de las grandes figuras de la Cristalografía española de todos los tiempos y de nuestra ciencia en general. Un científico de talla internacional en cuanto a sus contribuciones de carácter técnico que no voy aquí a reseñar porque no cabe el esfuerzo pero que me gustaría ilustrar con una simple anécdota. Durante mi estancia postdoctoral en la Universidad Estatal de Pensilvania tuve la necesidad de ir a Washington. Esa universidad, la *Penn State*, es bien conocida porque es una de las diez mejores universidades de Estados Unidos, y también por estar “*in the middle of nowhere*”, es

decir, mal comunicada. Una estudiante de doctorado se ofreció a llevarme en su coche y allá que nos fuimos rumbo este a través de los Alleghenies. La estudiante de doctorado cargaba con unos pocos libros de texto en el asiento trasero del coche. Entre ellos uno de Amorós, "*Molecular crystals*" publicado por John Wiley and Sons en colaboración con su esposa María Luisa Canut pero que firmaron al estilo anglosajón como Amorós J.L. & Amorós M.L. "Ese libro lo escribió mi director de tesis", le dije. "Really?" Contestó incrédula. "Your Spanish supervisor?". Se pueden imaginar lo orgulloso que hice el resto del viaje. Créanme, pues, cuando les digo que estamos hablando de una figura de talla internacional.

José Luis Amorós escribió muchos artículos y libros. Su producción puede consultarse en el cuidado inventario que Victoria López-Acevedo y Sol López Andrés publicaron en la revista *Macla* en 2004. De entre todos sus libros hemos elegido para este homenaje uno de ellos –desde hace años agotado– llamado "*La gran aventura del cristal*" y subtítulo "*Naturaleza y evolución de la ciencia de los cristales*". La elección no fue difícil y está más que justificada. En primer lugar porque es un guiño a la especial atención que nuestro maestro dedicaba a la historia y epistemología de la ciencia, una dedicación que inculcó en muchos de nosotros o que fomentó en otros que ya la teníamos. Desde aquella primera nota sobre la historia de la Cristalografía y la Mineralogía publicada en 1959 en el *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, fueron muchas las notas y artículos dedicados por Amorós a indagar la forma en que se produjeron los descubrimientos científicos. Él creía que la historia de la ciencia es ciencia, que estudiar las grandes contribuciones de los predecesores era la mejor forma de entender la ciencia y de aprender a practicarla, especialmente en un país como el nuestro, con tan poco bagaje científico. Y a la vez era la mejor manera de enamorarse irreversiblemente de la magia que esconde la investigación científica, que es al fin y al cabo lo que nos enseñó el Profesor Amorós a sus discípulos. En segundo lugar, era casi obligado elegir este libro porque fue y sigue siendo el mejor libro de historia de la Cristalografía y de la Mineralogía que tenemos en España. Se editó por primera y única vez en 1978 en español por la Editorial de la Universidad Complutense. Agotado desde hace años, el que este libro no haya sido nunca reeditado retrata muy bien el penoso panorama de la edición científica en España, y pone en entredicho el tipo de divulgación científica que más se fomenta en estos días, demasiado henchida de aspavientos y diseño y demasiado pobre de contenido. Pero fundamentalmente la elección de

esta obra nos sirve para demostrar una vez más la altura científica, el mérito intelectual y la modernidad de las contribuciones del Profesor Amorós.

Hace tan solo un par de años, en 2012, Bart Kahr y Alexander G. Shtukenberg se quejaban del pobre panorama de la Historia de la Ciencia, y de la Cristalografía en particular, con el siguiente texto: *“There are at least six book length biographies of Herman Melville (1819-1891) and ten histories of the Russian Revolution currently in print in the English language. On the other hand, if you chase after crystals not whales, or believe that the determination of the structure of matter was a historical pivot, you will be disappointed that there does not exist a single narrative history of crystallography in print in English or any other language to the best of our knowledge. By any measure, crystallography now receives scant attention by historians and scholars”*<sup>1</sup>.

No les falta razón. La Cristalografía cuenta con las historias escritas a principios del siglo XX por Paul von Groth en alemán, por Alfred Tutton en inglés y por Héléne Metzger en francés. La breve historia de la Cristalografía de rayos X publicada por P. Ewald en 1960 es obviamente un trabajo demasiado técnico para tener trascendencia fuera de nuestra disciplina, como lo es aún más el singular atlas histórico publicado por Lima de Faria en 1990. No nos olvidamos de la obra de John Burke, una obra publicada en 1966 que es fundamentalmente una historia apologética del abad Haüy, enmarcada en los orígenes de la Cristalografía y que se restringe a esa época. El trabajo de Barth y Alexander está precisamente dedicado a recibir como novedades los dos volúmenes de Ilarion Shafranovskii escritos en ruso en 1978 y 1980, respectivamente, incluyendo la encomiable traducción de una pequeña parte de esta excelente contribución a la Historia de la Cristalografía. Y finalmente tenemos el trabajo mucho más reciente de Curtis P. Schuh, un intento enciclopédico pero inacabado, un conjunto de notas históricas, accesible en internet en su edición preliminar de 2007.

Bart y Alexander concluyen y lamentan que no haya sido publicada una sola historia narrativa de la Cristalografía en inglés o cualquier otro idioma. Se equivocaban. La había y a partir de hoy la vuelve a haber. Es precisamente la que se cuenta en este libro *“La gran aventura del cristal”*. El texto que re-

1 “Hay por lo menos seis libros de biografías de Herman Melville (1819-1891) y diez historias de la revolución rusa actualmente impresas en el idioma inglés. Pero si buscas algo sobre cristales (no sobre las ballenas), o crees que la determinación de la estructura de la materia fue una revolución en la historia de la ciencia, te sentirás decepcionado de que no exista una sola historia de la cristalografía en inglés o en cualquier otro idioma. Desde cualquier punto de vista la cristalografía recibe hoy escasa atención por parte de historiadores y eruditos”

editamos es exactamente esa historia que echan en falta nuestros dos colegas norteamericanos. *La gran aventura* es una historia casi novelada, es un paseo bien narrado por la historia de la ciencia de los cristales, desde sus orígenes en Grecia hasta el descubrimiento de la difracción de los rayos X. Es buena literatura que a la vez incorpora un sesudo análisis histórico, bien fundado aunque a veces se echen en falta las citas de algunas fuentes. Y es una obra original. Nótese que *La gran aventura del cristal* se publica en 1978, el mismo año en que se publica el primero de los dos volúmenes de Shafranovskii, que llega solo hasta principios del XIX. Es posterior a Burke, pero inmensamente más erudito y ambicioso en el tiempo y en la profundidad. Es más, Sol López Andrés y Victoria López Acevedo han descubierto que *La gran aventura del cristal* es de hecho una traducción de un manuscrito anterior escrito en inglés, una versión extendida y mejorada de un intento inicial, nunca acabado ni editado, escrito por Amorós con anterioridad a 1978. Ese manuscrito -del que se conserva copia- lo debió de escribir Amorós al final de su etapa norteamericana de once años en la Southern University of Illinois, es decir antes de regresar a la Universidad Complutense en 1975. Por razones que no conocemos, Amorós decide traducir el manuscrito inacabado al español y terminar la obra en este idioma para publicarla en la Editorial Complutense.

Cuarenta años más tarde la Editorial Complutense vuelve a ofrecer *La gran aventura del cristal* en edición impresa. Créanme también que no ha sido una empresa fácil. Lo que debería de haber sido el mayor escollo, el permiso de Juan Ignacio Rived Canut/Amorós, heredero de los derechos de autor, fue lo más sencillo de conseguir. Y bien que se lo agradecemos. A partir de ahí, hemos tenido multitud de problemas de todo tipo. Pero no sabían que detrás de esta empresa había un grupito de científicos tercicos con la absoluta convicción de que había que sacar a la luz este libro. Y aquí lo tienen. Que disfruten de la aventura.

*Juan Manuel García-Ruiz*

Amorós, J. L. (1950). Notas sobre la historia de la cristalografía y mineralogía I.

La controversia Haüy-Mitscherlich. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, 57, 5-30.

Amorós, J. L y Canut, M. L. (1968). *Molecular crystals: their transforms and diffuse scattering*. New York: Wiley.

Burke, J. G. (1966). *Origins of the science of crystals*. Berkeley: University of California Press.

- Fifty years of X-ray diffraction* (1962). En P.P. Ewald (Ed.). Utrecht: A. Oosthoek's Uitgeversmij.
- Groth, P. H von. (1906). *An Introduction to Chemical Crystallography*. London: Gurney & Jackson.
- Groth, Paul Heinrich von. (1926). *Entwicklungsgeschichte der mineralogischen Wissenschaften*. Berlin: Julius Springer.
- Kahr, B. y Shtukenberg, A. G. (2012). Histories of Crystallography by Shafranovskii and Schuh. En J. B. Benedict (Ed.), *Recent Advances in Crystallography*. InTech. Obtenido de <http://www.intechopen.com/books/recent-advances-in%20crystallography/histories-of-crystallography-by-shafranovskii-and-schuh>
- Historical atlas of crystallography* (1990). En J. Lima de Faria (Ed.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- López-Acevedo, V. y López Andrés, S. (2004). José Luis Amorós Portolés: vida y obra. *Macla*, 1, 85-92.
- Metzger, H. (1969). *La genèse de la science des cristaux*. Paris: A. Blanchard.
- Schuh, C. P. (2007). *Mineralogy & Crystallography: on the history of these sciences from beginnings through 1919* (Versión Internet). Tucson, AZ. Obtenido de [https://archive.org/details/History\\_Mineralogy\\_2007](https://archive.org/details/History_Mineralogy_2007)
- Shafranovskii, I. I. (1978). *The History of Crystallography. Vol. I. From Ancient Times to the Beginning of the Nineteenth Century*. Leningrad: Nauka (Original en ruso).
- Shafranovskii, I. I. (1980). *The History of Crystallography. Vol. II. The Nineteenth Century*. Leningrad: Nauka (Original en ruso).
- Tutton, A. E. H. (1924). *The Natural History of Crystals*. London: K. Paul, Trench, Trübner & Co.