

Los anillos de Liesegang: un ejemplo geológico en la isla de La Gomera (Canarias)

Liesegang's rings: a geologic example in the island of La Gomera (Canaries)

CÁNDIDO MANUEL GARCÍA CRUZ¹ Y MARGARITA LÓPEZ HERNÁNDEZ²

¹INHIGEO. E-mail: candidomgc@gmail.com

²IES Mencey Acaymo, Güímar, Santa Cruz de Tenerife. E-mail: margaritalopezmalpais@gmail.com

Resumen El estudio de las bandas o anillos que se forman en procesos de precipitación periódica conocidos como Fenómeno Liesegang, tiene una historia que se remonta a más de ciento cincuenta años. A pesar de su interés científico, no posee aún una explicación totalmente satisfactoria tanto desde un punto de vista físico-químico como geológico. Se hace una aproximación sobre la naturaleza de este Fenómeno, con algunas orientaciones experimentales; se describe asimismo una formación geológica de estas estructuras que se encuentra en el término municipal de Vallehermoso, en La Gomera (Islas Canarias).

Palabras clave: Fenómeno Liesegang, formación geológica, La Gomera, Islas Canarias.

Abstract *The study of the bands or rings that form in periodic precipitation processes known as Liesegang Phenomenon has a history that goes back more than one hundred and fifty years. In spite of its scientific interest, it still lacks a totally satisfactory explanation from both a physico-chemical and geologic point of view. An approach with some experimental directions on the nature of this Phenomenon has been done; a geologic outcrop of these structures occurring in the municipal district of Vallehermoso in La Gomera (Canary Islands) is also described*

Keywords: *Liesegang Phenomenon, geologic formation, La Gomera, Canary Islands..*

LOS PRECIPITADOS PERIÓDICOS Y EL FENÓMENO LIESEGANG

El descubrimiento de los precipitados periódicos en el seno de las reacciones químicas tiene una historia que se remonta a más de ciento cincuenta años.

El fotógrafo alemán Raphael Eduard Liesegang (1869–1947), mientras trabajaba en la empresa familiar dedicada a materiales fotográficos, llevó a cabo diversos experimentos sobre procesos de precipitación química en disoluciones (Fig. 1). En uno de estos, a finales del siglo XIX, preparó un gel de gelatina al que añadió cromato potásico, e introdujo en la preparación un cristal de nitrato de plata. Al cabo de varios días se empezaron a formar precipitados discontinuos de cromato de plata en forma de anillos concéntricos que se incrustaban periódicamente en el gel (Liesegang, 1896). En los años siguientes continuó realizando esta suerte de trabajos sobre el fenómeno que llevaría su nombre (Liesegang, 1913, 1945), aunque en realidad no fue él quien lo descubrió.

Cuarenta años antes que Liesegang, el químico alemán (titulado en Medicina) Friedlieb Ferdinand Runge (1795–1867), uno de los pioneros de la cromatografía en papel y descubridor asimismo de la

Fig. 1. R.E. Liesegang en 1903 y primera página de su trabajo de 1896.



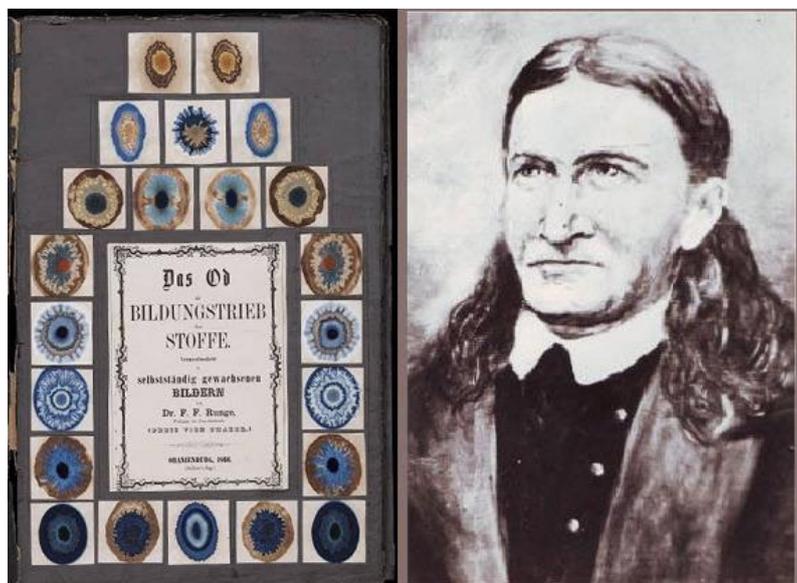


Fig. 2. F.F. Runge en 1852 y portada de su obra de 1855.

cafeína y de la anilina (Fig. 2), había trabajado también sobre precipitados en disoluciones, y debe ser considerado con todo derecho como el descubridor de los procesos de precipitación periódica, hecho que legó a la posteridad en una breve obra titulada *Der Bildungstrieb der Stoffe*¹ (La tendencia en la formación de las sustancias), donde recoge una treintena de dibujos propios y sus correspondientes comentarios sobre los resultados obtenidos en sus experimentos en los que utilizó papel de filtro (Runge, 1855); sin embargo, su trabajo cayó en el olvido y, a pesar de una pequeña pensión real, murió en la pobreza (Anft, 1955; Etre, 2008, pp. 15–30).

Durante más de un siglo, el *Fenómeno Liesegang* ha sido ampliamente estudiado, y los intentos de explicar la formación de estas estructuras han sido numerosos y prolijos, desde los trabajos iniciales del químico alemán Wilhelm Ostwald (1852–1932) hasta los modelos por ordenador más recientes, pasando por los desarrollos matemáticos del polifacético británico Alan Mathison Turing (1912–1954); sin embargo, aún no existe una explicación que se pueda considerar totalmente satisfactoria.

Desde el punto de vista físico-químico, las explicaciones más relevantes siguen siendo las teorías de la *sobresaturación* y de la *coagulación* que se resumirán en los párrafos que siguen, y se hará también una breve referencia a las ideas de A.M. Turing.

TEORÍA DE LA SOBRESATURACIÓN. Se trata de las ideas que desarrolló Ostwald en los mismos años en que

¹ Originalmente, tal y como aparece en algunos ejemplares bastante raros fechados también en 1855, el título de esta obra era *Das Od als Bildungstrieb der Stoffe* (La Od como tendencia en la formación de las sustancias); el término Od hacía referencia a una hipotética fuerza primordial o fuerza ódica (del dios nórdico Odín), propuesta a mediados del siglo XIX por el químico alemán Karl von Reichenbach (1788–1869), que impregnaba la totalidad del universo, y permitía explicar prácticamente todo, tanto desde el punto de vista estructural como funcional (Reichenbach, 1849, pp. 162–165, §213–§215).

Liesegang realizaba sus experimentos. Esta teoría se basa en la constatación de que para que se llegue a producir la precipitación de un soluto en las disoluciones no basta con que estén saturadas, sino que es imprescindible que se alcance un umbral de nucleación que solo se logra mediante la sobresaturación. Cuando se añade, por ejemplo, y siguiendo los experimentos de Liesegang, una sal (AgNO_3) que penetra en un gel en el que ya existe otra sal (K_2CrO_4) como parte de su propia composición, se produce una reacción de sustitución en la que se obtiene un nuevo electrolito de color rojo oscuro (Ag_2CrO_4) en la parte superior del gel:



Conforme transcurre la reacción, la concentración de esta nueva sal va creciendo gradualmente y difunde a lo largo del gel, hasta alcanzar el valor crítico que se requiere para que comience la precipitación, momento en el que se supera el equilibrio mediante la sobresaturación, es decir, la formación de una mayor cantidad de partículas coloidales, con lo que tiene lugar su precipitación. Por otro lado, el crecimiento continuo de dicho precipitado hace que la disolución se acerque de nuevo al estado de equilibrio, y se repite de forma rítmica el proceso (Ostwald, 1897a; 1897b, §151, pp. 777–780; 1925; Smith, 1984). Así, pues, el bandeo periódico es una consecuencia de la reducción del nivel de saturación por debajo del límite de nucleación, y de esta forma los cristales se van desarrollando rítmicamente.

Dos décadas más tarde se comprobó que los espacios interanulares, como ocurre por lo general, crecen geométrica y logarítmicamente a partir de la sal introducida en el gel (Jablczynski, 1923), hecho que es considerado como bandeo *normal*; por el contrario, si disminuyen, el bandeo se denomina *inverso*; este último, aunque existe en la naturaleza, nunca ha sido reproducido en el laboratorio.

TEORÍA DE LA COAGULACIÓN DE LA DISOLUCIÓN. En otros experimentos posteriores se han formado anillos o bandas de un precipitado aunque no ha tenido lugar reacción alguna (Hedges y Myers, 1926; Hedges y Henley, 1928; Hedges, 1932; Flicker y Ross, 1974). Esto supone que los precipitados se obtienen a partir de un coloide que se ha formado previamente y cuya presencia actúa como desencadenante de las estructuras. La solución coloidal no puede verse a simple vista, pero a partir de ella se forman posteriormente las bandas de precipitado como consecuencia de su coagulación, que se inicia cuando el electrolito externo penetra en el gel y alcanza el umbral correspondiente, lo que viene a coincidir con una concentración de coagulación crítica.

EL MODELO DE A.M. TURING. En el trabajo de Turing (1952), dedicado a los fundamentos químicos de la morfogénesis, no se hace referencia alguna al *Fenómeno Liesegang*, pero sus ideas han sido utilizadas

por muchos autores para explicarlo en tanto que tratan del desarrollo de estructuras o modelos geométricos que se dispersan al azar como consecuencia del inicio de una cierta inestabilidad en equilibrios homogéneos. Turing sugería que ciertas leyes físicas bien conocidas eran suficientes para explicar muchos de los hechos morfogenéticos. Entre los procesos físico-químicos más relevantes que estudiaba (y que tendrían su extrapolación a la geología) se encuentran, por ejemplo, los sistemas de difusión en esferas y la formación de ondas estacionarias en anillos. Para Turing, cada estado del sistema está determinado por la fase inmediatamente anterior de la formación, y en su explicación intervienen dos aspectos, uno *mecánico*, que tiene que ver con factores físicos como la velocidad del proceso, características de la difusión, movimientos brownianos, efecto de las estructuras próximas, influencia del pH, temperatura, presión, concentración, grosor de las formaciones..., y otro aspecto *químico*, en el que se atiende a la composición tanto de los anillos como de los espacios interanulares, clase de reacciones químicas, fenómenos de catálisis, leyes que las rigen...

El *Fenómeno Liesegang* ha sido discutido ampliamente en sus aspectos experimentales (Stern, 1954; Henisch, 1988, cap. 5), y también se ha tratado desde el punto de vista didáctico (Stong, 1977; Schibeci y Carlsen, 1988; Sharbaugh y Sharbaugh, 1989; Moxon, 2001; Boada Ferrer, 2009).

En la naturaleza se ha encontrado en numerosos materiales tanto de origen biológico como inertes en forma de *anillos, bandas o estructuras esféricas*. En el campo de la geología ha sido definido principalmente en materiales sedimentarios autígenicos, en los que se dan procesos diagenéticos con los que se modifica la composición mineralógica de los depósitos acumulados previamente; tal es el caso, por ejemplo, de rocas sedimentarias porosas como areniscas y carbonatos (calizas, margas, dolomías); también aparece en rocas de origen magmático (basaltos, ignimbritas, traquitas), en rocas metamórficas (gneises con núcleos de hornblenda, biotita y plagioclasa), y en diversos minerales como óxidos (calcedonia/ágata, limonita), sulfuros (pirita) y sulfatos (variscita), como más relevantes; asimismo se han encontrado anillos de Liesegang en sapropeles, lo que indica la existencia de algún proceso biogeoquímico en el que, además de la materia orgánica, intervienen fosfatos y metano (Bustillo y Martín Escorza, 1984; Landmesser, 1988; Chang y Yortsos, 1994; Heaney y Davis, 1995; Moxon, 1996; Vera y Molina, 2001; L'Heureux y Bektursunova, 2010).

Desde el punto de vista geológico tampoco está claro el mecanismo de producción de estas estructuras, pero se acepta que la explicación de estos procesos de precipitación y cristalización mineralógica rítmica o discontinua entraría dentro de la teoría de Ostwald de la sobresaturación (Ortoleva *et al.*, 1986; Ortoleva, 1994, cap. 8; Krug *et al.*, 1996; Steefel, 2008, pp. 583–585).

LAS ESTRUCTURAS DE LIESEGANG EN LA ISLA DE LA GOMERA

La Gomera es una pequeña isla del grupo centro-occidental del archipiélago canario, y es la única en la que no ha habido actividad eruptiva en los últimos 2 Ma; esto la convierte en un excelente ejemplo de lo que han significado los procesos erosivos en un medio volcánico a lo largo de un período de tiempo tan dilatado. La Gomera es, además, junto con La Palma y Fuerteventura, una de las islas donde se puede observar la unidad estructural del archipiélago constituida por materiales submarinos conocida como Complejo Basal.

Localización. Es precisamente en este entorno del Complejo Basal donde se encuentra una formación geológica en la que afloran distintas estructuras de Liesegang. Se localiza en la zona noroeste de la isla ($28^{\circ} 10' 9,39''$ N, $17^{\circ} 17' 32,97''$ O), perteneciente al término municipal de Vallehermoso, a una altitud de 816 m sobre el nivel del mar, en la carretera de Alojera a partir de la TF-713 (San Sebastián de La Gomera-Vallehermoso), cruce con Arguamul, con orientación hacia el suroeste, y en un medio de vegetación de fayal-brezal que se corresponde con la zona degradada de monteverde en la parte alta de una pequeña cresta sometida a la acción de los alisios (Fig. 3).

Descripción. Se trata de un afloramiento traquítico dentro de los materiales plutónicos y basaltos recientes que conforman el Edificio Subaéreo Moderno del Complejo Basal. Posee un desarrollo longitudinal de unos 700 m, que ha quedado al descubierto como consecuencia de la trinchera excavada para acondicionar la citada carretera de Alojera; donde mejor se observan las estructuras de Liesegang es en los últi-

Fig. 3. Situación de las estructuras de Liesegang en el municipio de Vallehermoso (La Gomera).





Fig. 4 (izquierda). Vista general de las estructuras de Liesegang (foto CMGC, abril/2011).

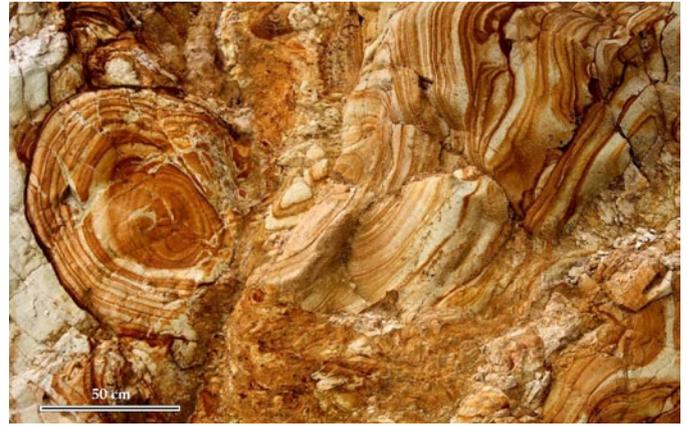


Fig. 5 Detalle de la formación (foto CMGC, abril/2011).

mos 13 m, con una altura media de 5 m, en el inicio de la curva donde comienza la carretera sin asfaltar que enlaza con Argumul (Figs. 4 y 5). Posee un alto grado de deterioro y desmantelamiento erosivo fruto de la meteorización. Se desconoce la edad absoluta del afloramiento, aunque el Edificio Moderno del Complejo Basal ha sido datado geocronológicamente entre 5,7 y 4 Ma (Ancochea *et al.*, 2006; Herrera *et al.*, 2008).

Dentro de una matriz traquítica se han desarrollado distintas estructuras bandiformes y anulares cuyo tamaño varía entre algunos milímetros a casi 10 cm de grosor, dependiendo de la zona. Desde el punto de vista mineralógico están compuestas por limonita en su forma terrosa, de coloración variable, entre amarillo pálido, naranja y diferentes tonalidades de marrón; también existe manganeso que se hace patente por la presencia de dendritas de pirolusita de color negro, bastante grandes, en la parte izquierda de la formación, fruto todo ello de la alteración de la goethita original de la que se observan ocasionalmente algunos núcleos. Los fenómenos de difusión-precipitación se han debido de producir en diversas fases, quizás no muy distanciadas en el tiempo, puesto que se observan en toda la formación distintos núcleos o focos a partir de los cuales se han desarrollado diferentes estructuras que en muchas ocasiones se solapan espacialmente (Fig. 6), pero que no han tenido efecto unas sobre otras, ni se observan interferencias mutuas en relación con cada uno de los procesos particulares que las generaron. Por otro lado, el bandeado a veces posee una disposición *normal*, otras *inversa*, y en ocasio-

nes parece no seguir patrón alguno manteniendo una cierta equidistancia. Asimismo, los espacios interanulares no siempre están constituidos por la matriz traquítica, sino que a veces los propios anillos se suceden unos a otros, con una tonalidad más oscura que va degradándose en dirección al núcleo, como si antes de que hubiese finalizado una fase de difusión-precipitación se iniciara otra.

Las deformaciones tectónicas que se observan son posteriores a la formación, puesto que han afectado en mayor o menor medida a todo el conjunto en forma de diaclasas y muy especialmente de fallas (Fig. 7). En la zona central, casi a pie de carretera, es donde se observa la parte más interesante: se trata de un grupo de pequeñas fallas que se entrecruzan

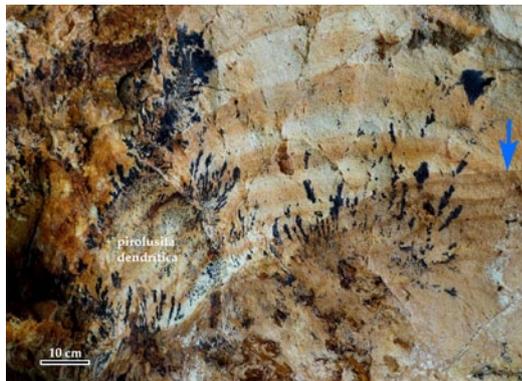


Fig. 6. Solapamiento (flecha) de diferentes estructuras de Liesegang y dendritas de pirolusita (foto MLH, abril/2011).



Fig. 7. Líneas de falla (flechas) en las estructuras de Liesegang (foto CMGC, abril/2011).

en diversas direcciones originadas por esfuerzos tectónicos (Casillas *et al.*, 2010).

Explicación. Por un lado, el fenómeno Liesegang en geología se suele asociar a la interferencia de óxidos/hidróxidos de hierro con el oxígeno arrastrado por las aguas subterráneas y en relación con la alteración diagenética de materiales volcánicos. Este podría ser el caso que nos ocupa, teniendo en cuenta que la formación se encuentra en una pequeña cresta sometida a la acción de los alisios que soplan del noreste y llegan cargados de humedad, lo que puede haber condicionado su formación; además, la vertiente opuesta, a menos de 30 m al otro lado de la cresta, cuya altura media es de apenas 5 m, no presenta estructuras bandeadas de ningún tipo, al menos de forma visible, pero pueden estar ocultas por la vegetación que se desarrolla en el suelo correspondiente y que no ha sido modificado por la carretera. También, y por otro lado, la meteorización puede tener una cierta relevancia en el proceso, pero en este caso no está del todo claro que haya influido en ello puesto que la formación posee un desarrollo tridimensional y no es tan solo una impronta superficial. Las fallas citadas recuerdan a otras deformaciones sinsedimentarias muy parecidas y vinculadas con materiales calizos, pero que al parecer no tienen relación alguna con el origen de los precipitados (McBride, 2003); en el caso de La Gomera, se han debido de producir por el reajuste de los materiales ante los esfuerzos tectónicos que han afectado en esta parte de la isla.

APÉNDICE: EL FENÓMENO LIESEGANG EN EL LABORATORIO.

En este apartado se dan las orientaciones didácticas precisas para que de una forma interdisciplinar se puedan llevar a cabo los aspectos prácticos para reproducir el fenómeno Liesegang en el laboratorio.

Se trata del diseño de dos experimentos que se basan en los trabajos originales de Liesegang de 1896, de acuerdo con la reacción química citada anteriormente. Estos experimentos no se complementan mutuamente, sino que puede realizarse cualquiera de ellos, ambos, o incluso modificar las sustancias intervinientes (véase más adelante), y pueden desarrollarse conjuntamente con el departamento de Física y Química en cualquier centro de educación secundaria.

En ambos se precisa del mismo material instrumental: vasos de precipitado, placas de Petri, pipetas graduadas, probetas, agitadores de vidrio, balanza de precisión, termómetro y hornillo eléctrico o de gas. Lo que sí cambian son las cantidades de los reactivos, así como el procedimiento a seguir y consecuentemente el resultado.

SUSTANCIAS	EXPERIMENTO A	EXPERIMENTO B
gelatina incolora	3 g	4 g
cromato de potasio	0,4 g	0,12 g
nitrato de plata	0,25 g	8,5 g
agua destilada	98 ml	220 ml

EXPERIMENTO A:

Procedimiento:

1. Calentar 97 ml de agua a 60°C en un vaso de precipitado y disolver 3 g de gelatina.
2. Añadir 0,4 g de cromato de potasio y remover.
3. Verter la mezcla en una placa de Petri y dejar enfriar hasta que se solidifique.
4. Preparar una segunda disolución de 0,25 g de nitrato de plata en 1 ml de agua.
5. Colocar suavemente una gota de esta segunda disolución en el centro del gel; en pocos minutos se empezarán a formar varios anillos de cromato de plata a partir de la gota.

EXPERIMENTO B:

Procedimiento:

1. Calentar 120 ml de agua a 60°C en un vaso de precipitado y disolver 4 g de gelatina.
2. Añadir 0,12 g de cromato de potasio y remover.
3. Dejar enfriar en la nevera varias horas hasta que solidifique.
4. Preparar una segunda disolución con 8,5 g de nitrato de plata en 100 ml de agua.
5. Extraer el gel del vaso de precipitado y con sumo cuidado sumergirlo totalmente en la segunda disolución.
6. Colocar de nuevo en la nevera durante 2–3 días.
7. Extraer el gel eliminando el exceso de la solución de nitrato de plata y enjuagarlo.
8. Cortar por la mitad el gel: se observan vistosas bandas de cromato de plata.

OBSERVACIONES:

- a) La función del gel en estos experimentos es evitar la convección en las disoluciones, y de esta forma provocar una difusión controlada de las sales.
- b) El tamaño de los anillos, la velocidad de formación, así como el contraste, dependen (entre otros factores) de la concentración de las sales, del pH, y de la temperatura.
- c) Dado que el cromo, en sus diferentes estados de oxidación, es contaminante y cancerígeno, puede utilizarse cualquier par de electrolitos que reaccionen y dé lugar a un precipitado insoluble en agua; otras posibles combinaciones químicas con las que se desarrolla bien el experimento son las de la Tabla I.

Tabla I

ELECTROLITO 1 ^a DISOLUCIÓN	ELECTROLITO 2 ^a DISOLUCIÓN	PRODUCTO DEL BANDEADO	PRODUCTO RESTANTE
NaOH H ₃ PO ₄ KF	MgCl CaCl ₂ Pb(NO ₃) ₂	Mg(OH) ₂ Ca ₃ (PO ₄) ₂ PbF ₂	NaCl HCl KNO ₃

AGRADECIMIENTOS

Estamos en deuda con Ramón Casillas (Dpto. de Edafología y Geología) y Pedro Pérez de Paz (Dpto. de Biología Vegetal–Botánica), de la Universidad de La Laguna.

BIBLIOGRAFÍA

Ancochea, E., Hernán, F., Huertas, M.J., Brändle, J.L. y Herrera, R. (2006). A new chronostratigraphical and evolutionary model for La Gomera: Implications for the overall evolution of the Canarian Archipelago. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 157, 271–293.

Anft, B. (1955). Friedlieb Ferdinand Runge: A forgotten chemist of the nineteenth century. *Journal of Chemical Education*, 32(11), 566–574.

Boada Ferrer, M. (2009). Taller y laboratorio: Los anillos de Liesegang. *Investigación y Ciencia*, 389, 86–88.

Bustillo, M.A. y Martín Escorza, C. (1984). Estructuras primarias y de deformación en rocas opalinas del Mioceno medio (Toledo). *Actas del Ier Congreso Español de Geología*, 1, 159–171.

Casillas, R., Fernández, C., Colmenero, J.R., de la Nuez, J., García-Navarro, E. y Martín, M.C. (2010). Deformation structures associated with the Tazo landslide (La Gomera, Canary Islands). *Bulletin of Volcanology*, 72(8), 945–960.

Chang, J. y Yortsos, Y.C. (1994). Lamination during silica diagenesis; effects of clay content and Ostwald ripening. *American Journal of Science*, 294, 137–172.

Ettre, L.S. (2008). *Chapters in the evolution of chromatography*. Imperial College Press, Londres, 473 pp., cap. 2.

Flicker, M. y Ross, J. (1974). Mechanism of chemical instability for periodic precipitation phenomena. *Journal of Chemical Physics*, 60, 3458–3465.

Heaney, P.J. y Davis, A.M. (1995). Observation and origin of self-organized textures in agates. *Science*, 269(5230), 1562–1565.

Hedges, E.S. (1932). *Liesegang rings and other periodic structures*. Chapman & Hall Ltd., Londres, 122 pp., cap. III.

Hedges, E.S. y Henley, R.V. (1928). The formation of Liesegang rings as a periodic coagulation phenomenon. *Journal of the Chemical Society*, 2, 2714–2727.

Hedges, E.S. y Myers, J.E. (1926). *The problem of physico-chemical periodicity*. E. Arnold, Londres, 95 pp.

Henisch, H.L. (1988). *Crystals in gels and Liesegang rings*. Cambridge University Press, Cambridge, 147 pp., cap. 5. (discusión de la modelización: pp. 131–175).

Herrera, R., Huertas, M.J. y Ancochea, E. (2008). Edades ^{40}Ar – ^{39}Ar del Complejo Basal de la isla de La Gomera. *Geogaceta*, 44, 7–10.

Jablczynski, C.K. (1923). La formation rythmique des précipités: les anneaux de Liesegang. *Bulletin de la Société Chimique de France*, 33, 1592–1602.

Krug, H.J., Brandstadter, H. y Jacob, K.H. (1996). Morphological instabilities in pattern formation by precipitation and crystallization processes. *Geologische Rundschau*, 85(1), 19–28.

Landmesser, M. (1988). Structural characteristics of agates and their genetic significance. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, 159, 223–235.

L'Heureux, I. y Bektursunova, R. (2010). Pattern formation in an early diagenetic system: Liesegang pyrite bands in sapropels. *American Geophysical Union, Fall Meeting* (Abstract).

Liesegang, R.E. (1896). Ueber einige Eigenschaften von Galerten. *Naturwissenschaftliche Wochenschrift*, 11(30), 353–362.

Liesegang, R.E. (1913). *Geologische Diffusionen*. T. Steinkopff, Dresde–Leipzig, 180 pp. [British Library, Londres].

Liesegang, R.E. (1945). Geologische Bänderungen durch Diffusion und Kapillarität. *Chemie der Erde, Zeitschrift der Chemischen, Mineralogie, Petrographie, Geologie und Bodenkunde* 15(4), 420–423.

McBride, E.F. (2003). Pseudofaults resulting from compartmentalized Liesegang bands: update. *Sedimentology*, 50(4), 725–730.

Moxon, T. (1996). The co-precipitation of Fe^{3+} and SiO_2 and its role in agate genesis. *Neues Jahrbuch für Mineralogie–Monatshefte*, 1, 21–36.

Moxon, T. (2001). Liesegang rings. *Education in Chemistry*, 4, 105–107.

Ortoleva, P.J. (1994). *Geochemical self-organization*. Oxford University Press, Nueva York, 411 pp.

Ortoleva, P.J., Auchmuty, G., Chadam, J., Hettmer, J., Merino, E., Moore, C.H. y Ripley, R. (1986). Redox front propagation and banding modalities. *Physica*, 19D, 334–354.

Ostwald, W. (1897a). Besprechung der Arbeit von Liesegang's "A–Linien". *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 23, 365.

Ostwald, W. (1897b). *Lehrbuch der Allgemeinen Chemie*. W. Engelmann Verlag, Leipzig, vol. II/2, 1ª parte, 1188 pp. [Instituto de Química Física "Rocasolano", Madrid].

Ostwald, W. (1925). Zur Theorie der Liesegang'schen Ringe. *Kolloid Zeitschrift*, 36, 380–390.

Reichenbach, K. von (1849). *Physikalisch–physiologische Untersuchungen über die Dynamide des Magnetismus, der Elektrizität, der Wärme, des Lichtes, der Krystallisation, des Chemismus in ihren Beziehungen zur Lebenskraft*. F. Vieweg, Braunschweig, vol. 1, 218 pp. (existe trad. inglesa en J.S. Redfield, Nueva York/1851. [British Library, Londres]. Existe ed. moderna a partir de traducción inglesa de 1851 en University Books, Seacaucus, NJ/1974).

Runge, F.F. (1855). *Der Bildungstrieb der Stoffe*. Autoedición, Oraniemburgo, 35 pp. [Senkenbergische Bibliothek, Frankfurt del Meno].

Schibeci, R.A. y Carlsen, C. (1988). An interesting student chemistry project: Investigating Liesegang rings. *Journal of Chemical Education*, 65(4), 365–366.

Sharbaugh, A.H., III, y Sharbaugh, A.H., Jr. (1989). An experimental study of the Liesegang Phenomenon and crystal growth in silica gels. *Journal of Chemical Education*, 66(7), 589–594.

Smith, D.A. (1984). On Ostwald's supersaturation theory of rhythmic precipitation (Liesegang rings). *Journal of Chemical Physics*, 81(7), 3102–3115.

Stern, K.H. (1954). The Liesegang Phenomenon. *Chemical Reviews*, 54, 79–99.

Steeffel, C.I. (2008). Geochemical kinetics and transport. En: Brantley, S.L., Kubicki, J.D. y White, A.F. (eds.). *Kinetics of water–rock interaction*. Springer, Nueva York, pp. 545–589.

Stong, C.L. (1977). Taller y laboratorio: Las sales reaccionan en un gel para producir bandas de Liesegang en color. *Investigación y Ciencia*, 8, 109–113 [el original de este artículo apareció en *Scientific American*, 220(6), 130–135 (junio/1969)].

Turing, A.M. (1952). The chemical basis of morphogenesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series B, Biological Sciences*, 237(641), 37–72.

Vera, J.A. y Molina, J.M. (2001). Liesegang rings in pelagic limestones: genetic considerations. *Geogaceta*, 29, 151–154. ■

Fecha de recepción del original: 11/5/2011

Fecha de aceptación definitiva: 15/09/2011