Revista de la Sociedad Geológica de España 34 (1)

ISSN (versión impresa): 0214-2708
ISSN (Internet): 2255-1379

IN MEMORIAM JOHN G. RAMSAY (1931-2021) RENOVADOR E IMPULSOR DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

In memoriam: John G. Ramsay (1931-2021)
Innovator and driving force in the field of structural geology

Fernando Bastida[1]*, Jesús Aller[1], Nilo C. Bobillo-Ares[2] y Richard J. Lisle[3]

[1] *Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo.* *bastida@uniovi.es, aller@geol.uniovi.es
[2] *Departamento de Matemáticas, Universidad de Oviedo. C/ Federico García Lorca, 18, 33007 Oviedo.* nilo@uniovi.es
[3] *School of Earth and Ocean Sciences, Cardiff University, Main Building, Park Pl, Cardiff CF10 3AT, Reino Unido.* lisle@cardiff.ac.uk

Bastida, F., Aller, J., Bobillo-Ares, N.C., Lisle, R.J., 2021. *In memoriam* John G. Ramsay (1931-2021) – Renovador e impulsor de la geología estructural. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 34 (1): 73-78.

El 12 de enero de 2021 fallecía en Zúrich el profesor emérito de geología John G. Ramsay a los 89 años de edad; desaparecía así un gran maestro, introductor de los fundamentos de la geología estructural moderna, al convertir esta disciplina, hasta entonces dominantemente descriptiva, en una ciencia cuantitativa, basada en la medida y el análisis de datos con base en los principios de la mecánica. Hay que señalar que Ramsay también fue un gran docente, siempre abierto a las ideas y a la discusión con sus alumnos. Su forma de observar e interpretar las rocas deformadas en el campo era sorprendentemente brillante y motivadora.

John G. Ramsay nació en Londres, el 17 de junio de 1931. En 1952, se graduó en el *Imperial College* de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Londres, y en 1954, se doctoró en dicha universidad con una tesis sobre la estratigrafía, estructura y metamorfismo de las rocas precámbricas de Glen Strath Farrar (Highlands de Escocia). En 1957, fue contratado para impartir clases en el *Imperial College*, donde, en 1966, pasó a ser *Professor* de Geología Estructural. En 1973, se trasladó a la Universidad de Leeds como *Professor* y director del Departamento de Ciencias de la Tierra. En 1977, se incorporó al ETH y a la Universidad de Zúrich, donde se retiró como profesor emérito en 1992. Desde esa fecha continuó asistiendo a congresos y reuniones de geología, si bien se dedicó más a su segunda pasión, la música, como violonchelista y compositor.

Con posterioridad a su doctorado, dentro de la década de los cincuenta, Ramsay publica varios artículos en los que estudia la geología de diversas áreas de las Highlands escocesas (Ramsay, 1955, 1956, 1957a y b). En ellos, no solo analiza problemas de índole estructural, sino también otros aspectos geológicos, principalmente de naturaleza petrológica. En estos artículos llaman la atención el gran detalle de los mapas y esquemas geológicos presentados, y la gran cantidad de información aportada para resolver los problemas, que le lleva a interpretaciones con un soporte sumamente sólido. Resulta, por tanto, evidente la formación geológica integral de su autor, que abarca todos los campos de la geología.

Entre 1960 y 1964, Ramsay aborda temas generales de geología estructural, con publicaciones magistrales que representan un preámbulo de la que será, poco después, su obra cumbre. Estudia el plegamiento de lineaciones (Clifford *et al*., 1957; Ramsay, 1960), analizando, mediante proyección estereográfica, cómo varía el lugar geométrico definido por su variación de orientación, en función del tipo de plegamiento; llama una vez más la atención el gran número de datos que maneja en los ejemplos de lineaciones plegadas que presenta a escala cartográfica. En otro artículo (Ramsay, 1961), estudia la modificación de la orientación de las estructuras sedimentarias cuando se pliegan y la necesidad de tenerla en cuenta en el análisis de paleo-corrientes; en el caso de estratificación cruzada

plegada, analiza cómo varía el ángulo diedro que forman las láminas cruzadas con el techo de las capas en función del buzamiento para algunos mecanismos de plegamiento. También estudia, en otra publicación, los sistemas de pliegues conjugados (Ramsay, 1962a). En un nuevo artículo, aborda el problema de la formación de pliegues similares (Ramsay, 1962b); analizando la variación del espesor de las capas plegadas con la distancia al plano axial, llega a la conclusión de que los pliegues similares perfectos son raros y que pliegues próximos a similares pueden formarse por un aplastamiento de pliegues paralelos mediante una compresión perpendicular al plano axial. En el mismo año, ve la luz una magnífica publicación sobre los modelos de interferencia que se generan como consecuencia de la superposición de dos plegamientos sucesivos (Ramsay, 1962c), estableciendo tres tipos de estructuras de interferencia de gran complejidad geométrica. Ramsay culmina este periodo, en 1964, con una publicación sobre el uso de la proyección estereográfica en el análisis geométrico del plegamiento.

En los primeros años de la década de los sesenta, Ramsay aborda, además, el estudio de la geología alpina, publicando un excelente artículo sobre la estratigrafía, estructura y metamorfismo de los Alpes occidentales (Ramsay, 1963a). Muestra, una vez más, que su especialización en problemas estructurales no le impide actuar como un geólogo integral. Realiza una detallada descripción estratigráfica en la que muestra las variaciones de facies y el contexto paleogeográfico de las unidades, en una zona de gran complejidad estructural, con numerosos mantos y escamas. Asimismo, analiza la estructura y muestra cómo la deformación aumenta paralelamente al aumento del grado de metamorfismo regional. Como es habitual en él, todas las descripciones van acompañadas de una abundante documentación gráfica, con detallados mapas, esquemas y cortes geológicos, así como abundantes secciones estratigráficas, mostrando la gran cantidad de datos utilizados para sostener sus descripciones e interpretaciones, y el impresionante trabajo implicado en su realización.

En el mismo año, Ramsay publica un estudio sobre la historia estructural del área minera de Barberton (Sudáfrica) (Ramsay, 1963b). Se trata una vez más de un estudio geológico detallado, con una descripción estratigráfica y litológica de la región, y un largo capítulo dedicado a la reconstrucción de su evolución estructural polifásica. Se analiza, además, la deformación interna mediante medidas en oolitos deformados.

Pocos años después, aparece el volumen titulado *Folding and fracturing of rocks* (Ramsay, 1967a), la obra que mayor repercusión ha tenido en el mundo de la geología estructural, marcando un cambio de rumbo en dicha disciplina hacia una metodología de carácter más cuantitativo. No se trata simplemente de una revisión actualizada de los conocimientos en geología estructural en la fecha de su publicación, sino que es, más bien, una obra de vanguardia que presenta los resultados de la investigación del autor en dicha materia, por lo cual su contenido es muy novedoso. También es de destacar que consigue, sin sacrificar el rigor matemático y con procedimientos siempre de gran originalidad, mantener un nivel analítico muy accesible. Su difusión contó con su traducción al chino y al español (Fig. 1), y una reimpresión en 2003. La trascendencia de este libro ha sido tan grande que, en 2017, se celebró el 50 aniversario de su publicación con una sesión especial, titulada *Folding and fracturing of rocks – 50 Years of Research since the Seminal Text Book of J. G. Ramsay*, en el congreso de la *European Geosciences Union* (EGU) celebrado en Viena, que dio origen a un volumen especial, con el mismo título, de la Sociedad Geológica de Londres, publicado en 2020. Con estos antecedentes, es fácil adivinar que el contenido de esta obra de Ramsay continúa plenamente vigente. No es exagerado decir que ha sido y sigue siendo el libro de cabecera de muchos geólogos estructurales y es, desde luego, el más citado.

En *Folding and fracturing of rocks* se introduce la mecánica del medio continuo en el campo de la geología

Fig. 1. Portada de la versión española del libro de Ramsay (1967), *Folding and fracturing of rocks*, publicada en 1977 por Ed. Blume.

estructural, con varios capítulos dedicados al análisis del esfuerzo, la deformación y la relación entre ambas magnitudes, pero su principal novedad es relacionar estas magnitudes con el desarrollo de estructuras. Así, establece una representación gráfica de la deformación bidimensional en la que define varios campos que representan estados de deformación a los cuales se asocia el desarrollo de diversos

tipos de estructuras, tales como pliegues y budines. Igualmente, asocia bandas con grietas de cizalla en *echelon* con deformación por cizalla simple, relaciona el clivaje y la esquistosidad con el elipsoide de deformación finita, etc. También desarrolla el concepto de deformación progresiva, ilustrando el impacto que tiene en la formación de estructuras. Por otro lado, presenta numerosas técnicas para medir la deformación en las rocas, y desarrolla métodos analíticos y gráficos (círculos de Mohr) para el tratamiento de los datos obtenidos mediante dichas medidas y determinar los principales parámetros que definen la deformación de la roca. En el capítulo dedicado a las relaciones entre el esfuerzo y la deformación, introduce conceptos de reología y mecánica de rocas, presentando la teoría de la fracturación y su aplicación al desarrollo de fallas.

Una mención especial merece el capítulo dedicado al plegamiento, en el que Ramsay elabora una nueva clasificación de pliegues, basada, entre otros criterios, en la variación del espesor de las capas plegadas en función del buzamiento; realiza una síntesis de la teoría del *buckling* y establece modelos de plegamiento basados en la distribución de la deformación dentro de las capas plegadas. Asimismo, presenta una sección dedicada al análisis de los pliegues *chevron* y *kink bands*. Finalmente, el libro contiene tres capítulos dedicados a lineaciones plegadas, superficies oblicuas plegadas y superposición de pliegues. Estos capítulos tienen sus antecedentes en artículos ya citados, pero en ellos se introducen mejoras substanciales. Así, en los capítulos dedicados a lineaciones y superficies oblicuas plegadas, se sistematiza el análisis, considerando todos los mecanismos descritos en el capítulo de plegamiento. Además, en el caso de superficies oblicuas plegadas, se introducen abundantes ejemplos a escala cartográfica, haciéndose especial hincapié en el caso de plegamientos de conjuntos de capas discordantes. El capítulo de superposición de pliegues amplía substancialmente el contenido del artículo previamente citado y especifica mejor las condiciones geométricas que deben reunir los dos conjuntos de pliegues que se superponen para que se formen los tres tipos de modelos de interferencia posibles. Aunque Ramsay analiza la superposición de pliegues asumiendo un mecanismo que solo puede producir pliegues similares, hay que destacar la concordancia entre las figuras de interferencia predichas por los modelos teóricos y las figuras que se observan en los afloramientos.

Con posterioridad a la publicación de su libro, Ramsay escribió varios artículos en los que continuó insistiendo en el análisis de la deformación, desarrollando nuevas ideas sobre la deformación progresiva, la deformación heterogénea, el cambio de volumen con la deformación y la deformación discontinua, y discutiendo los problemas implicados en la medida de los desplazamientos y acortamientos implicados en los orógenos (Ramsay, 1967b, 1969, 1976; Ramsay y Graham, 1970; Ramsay y Wood, 1973). Asimismo, insistió en los métodos de medida de la deformación de las rocas, introduciendo, en colaboración con D.W. Durney, técnicas para determinar la deformación incremental a partir de las fibras minerales crecidas en sombras de presión (Durney y Ramsay, 1973). En colaboración con el citado autor, analizó también el significado de las fibras minerales desarrolladas sobre superficies de falla para obtener información sobre el desplazamiento a lo largo de estas fracturas. En esta misma línea, participó en la elaboración de un artículo en el que los autores determinaron la deformación interna finita e incremental en minerales fibrosos crecidos entre *boudins* de estructuras en tableta de chocolate de dos localidades distintas (Valais, Suiza, y Anglesey, Gran Bretaña) (Casey *et al*., 1983). Los resultados fueron diferentes. En el caso de Anglesey, las medidas fueron complementadas por un modelo numérico para simular tabletas de chocolate, lo cual permitió encontrar tres posibles historias de deformación alternativas para la estructura.

Ramsay dedicó varios artículos a la revisión y análisis de diversos tipos de estructuras. En uno de ellos analiza la geometría y cinemática de los pliegues *chevron* (Ramsay, 1974), lo cual le condujo a predecir la existencia de diversas estructuras asociadas a ellos; la frecuente presencia de estas en el campo confirma estas predicciones. También analiza con detalle las zonas de cizalla (Ramsay y Graham, 1970; Ramsay, 1980a; Ramsay y Allison, 1983), clasificándolas según la naturaleza de la deformación implicada y su geometría, y analizando su deformación interna y las estructuras que las caracterizan. Muy posteriormente, en colaboración con S. Mohanty, analiza el problema de la partición de la deformación en zonas de cizalla dúctiles (Mohanty y Ramsay, 1994). Otro tipo de estructuras que ocupó la atención de Ramsay fueron las venas formadas en fracturas de extensión (Ramsay, 1980b), en las que describió un mecanismo de formación, denominado *crack-seal*, consistente en una sucesión de eventos de fracturación, cada uno de los cuales lleva asociado un evento de precipitación y desarrollo de mineralización. En 1982, junto con O.A. Pfiffner, aborda el interesante problema de conocer la velocidad de deformación geológica; a partir de medidas de la deformación longitudinal en rocas y, de acuerdo con la duración del periodo en el que esta se produjo, obtienen valores entre 10^{-13} y 10^{-15} s^{-1}. Muy posteriormente, en el 2000, Ramsay publica un excelente y breve artículo sobre los nuevos avances en la medida de la velocidad de deformación geológica. En 1983, analiza, en un atractivo artículo, el desarrollo de estructuras en el contexto de una cordillera, comparando zonas externas e internas, y basamento y cobertera; constata cómo el contraste de competencia puede estimarse a partir de clivaje, pliegues y budines, lo que le permite establecer listas de rocas en función de su competencia. En 1992, Ramsay publica un artículo crítico sobre el modelo de cabalgamientos con rampas y zonas planas y el desarrollo y la geometría de los pliegues asociados; en él, muestra la posibilidad de modelos alternativos a los usualmente usados, que deberían ser tenidos en cuenta a la hora de establecer la geometría de estas estructuras.

Los trabajos de enfoque regional continuaron formando parte de la trayectoria científica de Ramsay en estos años. Colaboró en un trabajo sobre la historia estructural y metamórfica de rocas precámbricas de las Highlands escocesas (Tobisch *et al*., 1970); sin embargo, su llegada al ETH de Zúrich le indujo a centrar una buena parte de su

trabajo regional en los Alpes, y sobre todo en los mantos helvéticos (Ramsay, 1981, 1989a; Ramsay *et al*. 1983). En estos trabajos establece la geometría de dichos mantos y determina la deformación y su variación espacial, relacionándola con la litología, el metamorfismo y el desarrollo de clivaje; destaca además el importante papel que tuvo la cizalla simple en el desarrollo de los pliegues.

En esta misma línea de trabajos de geología regional, Ramsay publicó, en 1989b, un artículo sobre la geometría y el emplazamiento del batolito de Chindamora (Zimbabue). Se trata de un granitoide con una foliación y una deformación variables, que interpretó asociadas al ascenso diapírico mediante un mecanismo de inflación (tectónica de globo). Asimismo, cabe citar la participación de Ramsay en algunos trabajos sobre la estructura y el metamorfismo de diversas áreas del Himalaya (Bossart *et al*., 1988; Tonarini *et al*., 1993).

En uno de sus últimos trabajos, publicado en 1997, Ramsay vuelve a las Highlands escocesas y analiza la deformación caledoniana del basamento precámbrico y la cobertera cámbrica, discordantes entre sí, observando que no hay diferencias de ductilidad importantes entre ambos conjuntos. En ellos se producen primero pliegues con esquistosidad y después cabalgamientos, mostrando un buen ejemplo de cómo las direcciones axiales son diferentes en el basamento y la cobertera, como consecuencia de la distinta orientación inicial de ambas secuencias.

Entre 1983 y 2000, Ramsay publica, en colaboración M.I. Huber y R.J. Lisle, una nueva obra maestra, en tres volúmenes, titulada *The techniques of modern structural geology*. Los dos primeros volúmenes (Ramsay y Huber, 1983, 1987), dedicados al análisis de la deformación interna (Vol. 1) y a los pliegues y fracturas (Vol. 2), muestran una estructura marcadamente didáctica. Cada capítulo presenta una parte introductoria, donde se expone una base teórica, seguida de una serie de ejercicios, generalmente separados en dos niveles de dificultad, que son después resueltos y ampliamente comentados. Ambos volúmenes presentan, en su parte final, diversos apéndices en donde se desarrollan unos principios teóricos complementarios. Estos volúmenes representan una puesta al día, y en algunos tópicos una ampliación, de los conceptos desarrollados en el libro clásico de 1967. El tercer volumen (Ramsay y Lisle, 2000) está dedicado a la presentación de las aplicaciones de la mecánica del continuo en geología estructural, y requiere un bagaje matemático mayor que los volúmenes previos. Introduce el análisis del esfuerzo y la deformación heterogéneos en dos y tres dimensiones, así como la teoría de la elasticidad y la viscosidad lineales, y expone los métodos numéricos disponibles para resolver problemas bidimensionales en cuerpos con dichos comportamientos: el de las diferencias finitas y el de los elementos finitos. Otro rasgo importante de este volumen es la elaboración de modelos geométricos para predecir las características de las estructuras que se observan en el campo.

Tras su jubilación en 1992, su trabajo en geología dejó paso en parte a otras actividades, en buena medida relativas a su pasión por la música; constancia de ello son los cuatro cuartetos de cuerda compuestos por él y disponibles comercialmente desde 2012 en una grabación del prestigioso *Fitzwilliam Quartet*. No obstante, Ramsay siguió participando en numerosas actividades geológicas, entre ellas, en varias publicaciones ya citadas. En uno de sus últimos artículos (Ramsay, 2009), publicado a raíz del *International Meeting of Young Researchers in Structural Geology and Tectonics* (YORSGET-08) celebrado en Oviedo (Fig.2), presenta una interesante reflexión sobre los objetivos futuros de la geología estructural, sin olvidar su pasado. Destaca la importancia del trabajo de campo como la base de la investigación geológica, implicando numerosas medidas y mapas geológicos bien elaborados; destaca también la necesidad de combinar los análisis cinemáticos y mecánicos con el trabajo de campo.

Fig. 2. John Ramsay observando las pizarras de Luarca en la excursión celebrada en el *International Meeting of Young Researchers in Structural Geology and Tectonics* (YORSGET-08) (playa de Luarca, Asturias).

Resumiendo, podemos decir que los artículos y libros de Ramsay que abordan temas generales de geología representan lecciones de lectura obligada para todo geólogo estructural; sus predicciones teóricas siempre están contrastadas con ejemplos naturales, que dan un valor añadido a sus trabajos. Sus artículos con una vertiente hacia la geología regional son ejemplos de una metodología rigurosa y contienen interpretaciones brillantes, sólidamente basadas en datos y observaciones, y habitualmente acompañadas de mapas y cortes geológicos cuidadosamente elaborados; de él puede decirse que sus interpretaciones nunca excedieron lo que sus datos permitían. En esta línea más regional, sus trabajos no solo son un ejemplo de buen hacer en geología estructural, sino que deben tomarse también como ejemplos de trabajos de geología bien hechos en el sentido integral de esta ciencia.

La labor de John G. Ramsay tuvo numerosos reconocimientos. Recibió, entre otras, la medalla Clough (1962) de la Sociedad Geológica de Escocia, las Bigsby (1973) and Wollaston (1986) de la Sociedad Geológica de Londres, la Arthur Holmes (1984) de la *European Union of Geosciences*, la de la Universidad de Lieja (1988) y la Prestwich (1989) de la Sociedad Geológica de Francia. También fue nombrado Comendador de la Excelentísima Orden del Im-

perio Británico en 1992. Cabe destacar además que la más alta distinción que concede el Grupo de Estudios Tectónicos de la Sociedad Geológica de Londres es la 'Ramsay Medal'.

La desaparición de John G. Ramsay representa la pérdida de un gran maestro, como científico y como docente, y la del indiscutible fundador de la geología estructural moderna, cuyo impacto en los investigadores de esta disciplina ha sido y continuará siendo muy grande. Su obra ocupará un lugar destacado en la historia de las ciencias de la Tierra.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Joaquina Álvarez-Marrón y a Francisco González Lodeiro las correcciones y sugerencias introducidas en el manuscrito original, que han contribuido notablemente a la mejora del presente artículo.

Bibliografía fundamental de John G. Ramsay (citada en el texto)

Bossart, P., Dietrich, D., Ramsay, J.G., 1988. The tectonic structure of the Hazara-Kashmir Syntaxis, Southern Himalayas, Pakistan. *Tectonics*, 7: 273-297.

Casey, M., Dietrich, D., Ramsay, J.G., 1983. Methods for determining deformation history for chocolate tablet boudinage with fibrous crystals. *Tectonophysics*, 92: 211-239.

Clifford, P., Fleuty, M.J., Ramsay, J.G., Sutton, J., Watson, J., 1957. The development of lineation in complex fold systems. *Geological Magazine*, 94: 1-24.

Durney, D.W., Ramsay, J.G., 1973. Incremental strains measured by syntectonic crystal growths. In: De Jong, K.A., Scholten, R. (eds). *Gravity and Tectonics*. Wiley, New York, 67-96.

Mohanty, S., Ramsay, J.G., 1994. Strain partitioning in ductile shear zones: an example from a Lower Pennine nappe of Switzerland. *Journal of Structural Geology*, 16: 663-676.

Pfiffner, O.A., Ramsay, J.G., 1982. Constraints on geological strain rates: Arguments from finite strain states of naturally deformed rocks. *Journal of Geophysical Research*, 87: 311-321.

Ramsay, J.G., 1955. A Camptonitic dyke suite at Monar, Rossshire and Inverness-shire. *Geological Magazine*, 92: 297-309.

Ramsay, J.G., 1956. The supposed Moinian basal conglomerate at Glen Strathfarrar, Inverness-shire. *Geological Magazine*, 93: 32-40.

Ramsay, J.G., 1957a. Moine-Lewisian relations at Glenelg, Inverness-shire. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 113: 487-524.

Ramsay, J.G., 1957b. Superimposed folding at Loch Monar, Inverness-Shire and Ross-Shire. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 113: 271-308.

Ramsay, J.G., 1960. The deformation of early linear structures in areas of repeated folding. *The Journal of Geology*, 68: 75-93.

Ramsay, J.G., 1961. The effects of folding upon the orientation of sedimentation structures. *The Journal of Geology*, 69: 84-100

Ramsay, J.G., 1962a. The geometry of conjugate fold systems. *Geological Magazine*, 99: 516-526.

Ramsay, J.G., 1962b. The geometry and mechanics of formation of "similar" type folds. *The Journal of Geology*, 70: 309-327.

Ramsay, J.G., 1962c. Interference patterns produced by the superposition of folds of similar type. *The Journal of Geology*, 70: 466-481.

Ramsay, J.G., 1963a. Stratigraphy, structure and metamorphism in the Western Alps. *Proceedings of the Geologists' Association*, 74: 357-391,

Ramsay, J.G., 1963b. Structural investigations in the Barberton Mountain land, Eastern Transvaal. *Transactions of the Geological Society of South Africa*, 66: 353-401.

Ramsay, J.G., 1964. The uses and limitations of beta-diagrams and pi-diagrams in the geometrical analysis of folds. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 120: 435-452.

Ramsay, J.G., 1967a. Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill, Nueva York, 568 p.

Ramsay, J.G., 1967b. A geologist's approach to rock deformation. *Inaugural Lectures, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London*, 131–143.

Ramsay, J.G., 1969. The measurement of strain and displacement in orogenic belts. *Geological Society, London, Special Publications*, 3: 43-79.

Ramsay, J.G., 1974. Development of chevron folds. *Geological Society of America Bulletin*, 85: 1741-1754.

Ramsay, J.G., 1976. Displacement and strain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* A, 283: 3-25.

Ramsay, J.G., 1980a. Shear zone geometry: a review. *Journal of Structural Geology*, 2: 83-89.

Ramsay, J.G., 1980b. The crack-seal mechanism of rock deformation. *Nature*, 284: 135-139.

Ramsay, J.G., 1981. Tectonics of the Helvetic Nappes. In: McClay, K.R., Price, N.J. (eds.), *Thrust and Nappe Tectonics*, The Geological Society of London & Blackwell Scientific Publications, Oxford, 293-309.

Ramsay, J.G., 1983. Rock ductility and its influence on the development of tectonic structures in mountain belts. In: Hsü, K.J. (ed.), *Mountain building Processes*. Academic Press, Londres, 111-127.

Ramsay, J.G., 1989a. Fold and fault geometry in the western Helvetic nappes of Switzerland and France and its implication for the evolution of the arc of the western Alps. In: Coward, M.P., Dietrich, D., Park, R.G. (eds.). *Alpine Tectonics*, Geological Society Special Publication, 45: 33-45.

Ramsay, J.G., 1889b. Emplacement kinematics of a granite diapir: the Chindamora batholith, Zimbabwe. *Journal of Structural Geology*, 11: 191-209.

Ramsay, J.G., 1992. Some geometric problems of ramp-flat thrust models. In: McClay, K.R. (ed.), *Thrust Tectonics*, Chapman & Hall, Londres, 191-200.

Ramsay, J.G., 1997. The geometry of a deformed unconformity in the Caledonides of NW Scotland. In: Sengupta, S. (ed.), *Evolution of Geological Structures in Micro- to Macro-scales*. Chapman & Hall, Londres, 445-472.

Ramsay, J.G., 2000. A strained Earth, past and present. *Science*, 288: 2139-2140.

Ramsay, J.G., 2009. Structural Geology: where have we come from and where might we be going next? *Trabajos de Geología*, 29: 42-44.

Ramsay, J.G., Allison, I., 1979. Structural analysis of shear zones in an alpinised Hercynian granite (Maggia Lappen, Pennine Zone, Central Alps). *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 59: 251-279.

Ramsay, J.G., Graham, R.H., 1970. Strain variation in shear belt. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 7: 786-813.

Ramsay, J.G., Huber, M.I., 1983. *The techniques of modern structural geology, 1: Strain analysis*, Academic Press, Londres, 1-308.

Ramsay, J.G., Huber, M.I., 1987. *The techniques of modern structural geology, 2: Folds and fractures.* Academic Press, Londres, 309-700.

Ramsay, J.G., Lisle, R.J., 2000. *The techniques of modern structural geology, 3: Applications of continuum mechanics in structural geology.* Academic Press, Londres, 701-1062.

Ramsay, J.G., Wood, D.S., 1973. The geometric effects of volume change during deformation processes. *Tectonophysics*, 16: 263-277.

Ramsay, J.G., Casey, M., Kligfield, R., 1983. Role of shear in development of the Helvetic fold-thrust belt of Switzerland. *Geology*, 11: 439-442.

Tobisch, O.T., Fleuty, M.J., Merh, S.S., Mukhopadhyay, D., Ramsay, J.G., 1970. Deformational and metamorphic history of Moinian and Lewisian rocks between Strathconon and Glen Affric. *Scottish Journal of Geology*, 6: 243-265.

Tonarini, S., Villa, I.M., Oberli, F., Meier, M., Spencer, D.A., Pognante, U., Ramsay, J.G., 1993. Eocene age of eclogite metamorphism in Pakistan Himalaya: implications for India-Eurasia collision. *Terra Nova*, 5: 13-20.

MANUSCRITO RECIBIDO EL: 24-02-2021
RECIBIDA LA REVISIÓN EL: 12-03-2021
ACEPTADO EL MANUSCRITO REVISADO EL: 15-03-2021