OBITUARIO[1]
ALEXANDER GROTHENDIECK
(BERLÍN, 28/03/1928 – SAINT-GIRONS, 13/11/ 2014)

Fernando Zalamea
Universidad Nacional de Colombia
www.docentes.unal.edu.co/fzalameat/

La persona y la obra de Alexander Grothendieck han entrado ya en el aura mitológica de los grandes matemáticos de todos los tiempos. La potencia indomable de su personalidad y las características de su inagotable productividad –vaivén de extraordinaria finura técnica y originalísima profundidad conceptual– le sitúan como el mayor matemático del siglo XX, fuente de preguntas y desarrollos cruciales para la matemática de los siglos venideros. Mente dotada de una rapidez inusual y capaz de adentrarse directamente en el corazón de los cuestionamientos esenciales de su disciplina, cambió en solo dos décadas (1950-1970) el panorama entero de las matemáticas, al introducir nuevas nociones de número (*esquemas*), espacio (*topos*) e invariantes de la forma (*motivos*), cuya herencia ha ido esclareciendo una impresionante sucesión de Medallistas Fields (Atiyah, Mumford, Deligne, Connes, Drinfeld, Kontsevich, Voevodsky, entre otros).

La vida de Grothendieck [6, 7, 8] posee todos los ingredientes de una trágica narración novelesca. Hijo de Alexander (Sascha) Schapiro y Johanna (Hanka) Grothendieck, fotógrafo y escritora anarquistas, vive hasta los cinco años con ellos y con su hermana Maidi, nacida en matrimonio previo de Hanka, en un periodo pleno de armonía y riqueza emocional, tal como lo rememorará cincuenta años después en *Cosechas y siembras* [1985-86]. Sascha y Hanka deciden anteponer luego sus tareas revolucionarias a la crianza de los hijos, y parten en apoyo de la República en la Guerra Civil española, dejando a Alexander cerca de Hamburgo con la familia de un pastor protestante. Son años en los que el niño demuestra ya la característica *pasión* que gobernará todas sus acciones: se entusiasma con la rima y durante largos periodos habla

[1] Tomado de *Lecturas Matemáticas, 36*(1), 93-102, con la debida autorización de sus editores. Aunque este documento no corresponde al contenido de la conferencia inaugural, está estrechamente relacionado con ella. [N.E.]

Zalamea, F. (2015). Obituario Alexander Grothendieck (Berlín, 28/03/1928 – Saint-Girons, 13/11/ 2014). *Memorias del Encuentro de Geometría y sus Aplicaciones*, 22, 7-17.

solo en versos, resuelve e inventa crucigramas, escribe y exhibe, según uno de sus profesores, "un notable talento novelístico" [6, p. 110]. En 1939, después de la derrota de la República en la Guerra Civil, se reúne con sus padres en el sur de Francia, antes de que se desmiembre de nuevo la familia: el padre es internado en el campo de concentración Le Vernet y luego deportado a Auschwitz (asesinado en 1942), mientras Hanka y Alexander son enviados como "indeseables" al campo de Rieucros. Al disolverse Rieucros en 1942, Alexander termina sus estudios secundarios en el Liceo Cévénol en Le Chambon, donde confirma su temperamento rebelde y donde se apasiona por el latín y por el piano –signo de un temperamento musical que consumirá sus años doctorales en Nancy y que reaparecerá constantemente en su producción técnica y en su reflexión conceptual–. Entre 1945 y 1948 vive en Mairargues, un pequeño pueblo en medio de los viñedos, cerca de Montpellier donde realiza su Carrera de Matemáticas, en condiciones económicas difíciles, mientras ejerce de labriego en los campos. Autodidacta, afianza su independencia, y redescubre por sí solo la teoría de la medida de Lebesgue. No nota a sus profesores, ni es notado por ellos, hasta que un inspector del gobierno, André Magnier, detecta la genialidad del joven (a la sazón con veinte años) y le otorga una beca de estudios para París.

La vida matemática de Grothendieck cambia radicalmente con su llegada, en 1949, al Seminario Cartan en la *École normale supérieure*. Como el mismo Grothendieck señala [1985-86, parte 1, pp. 18-19], no había oído hablar hasta entonces (!) de espacios topológicos, grupos, anillos, módulos, homología, etc. La fenomenal capacidad de Grothendieck se revela en el gigantesco salto matemático realizado entre su inocente ignorancia de 1949 (París) y su espectacular acumen técnico de 1953 (Nancy), cuando al terminar su Tesis Doctoral sobre **espacios nucleares** [1953a] se ve convertido, en palabras de Schwartz, en "el primer especialista mundial" [8, cap. 3, p. 12] en la teoría de los **espacios vectoriales topológicos**, y, según Dieudonné, en el autor de una obra "solo comparable con Banac" [4, p. 2]. Son famosas las anécdotas, corroboradas en años y lugares distintos por sus dos directores de tesis, de cómo Dieudonné, con su característico ímpetu, habría botado a la basura la larga reconstrucción de Lebesgue realizada por Grothendieck en Montpellier, para proponerle en cambio "problemas difíciles" [6, p. 182]: una serie de catorce preguntas abiertas (alrededor de las cuales Schwartz estaría recibiendo en 1950 la Medalla Fields, buen indicador de la profundidad del tema), mitad de las cuales el joven resuelve en pocas semanas y todas ellas en un par de años más, dando lugar a “seis memorias, cada una de las cuales habría conformado una buena tesis” [4, p. 2]. El periodo “analítico” de Nancy continúa en la Universidad de Sao Paulo, donde el apátrida Grothendieck consigue un trabajo postdoctoral entre 1953 y 1955. Realiza allí su monografía sobre espacios vectoriales topológicos [1953b] y escribe su fenomenal *Résumé* [1953c], un verdadero *tour de force* donde, a partir de un meticuloso estudio reticular-topológico-algebraico-categórico de (¡las únicas!) 14 normas naturales sobre **productos tensoriales de espacios de Banach**, resuelve el problema de Banach-Mazur (caracterización de los espacios de Hilbert como L-subespacios y C-cocientes), propone el problema de aproximación (resuelto por Enflo en 1972), y presenta la famosa **desigualdad de Grothendieck**, cuyas enormes consecuencias (en los campos más disímiles: C*-álgebras, geometría no conmutativa, mecánica cuántica, teoría de grafos, problema P=NP) renovarán cincuenta años después el estudio fino local de los espacios de Banach.

El año 1955 “marca un giro crucial” en su trabajo matemático: “el paso del «análisis» a la «geometría»” [1985-86, parte 0, p. 26]. De hecho, en menos de un semestre, en la Universidad de Kansas, a los 27 años, Grothendieck escribe las ideas principales de su extenso tratado sobre las **categorías abelianas** [1957a, el denominado *Tôhoku*], donde según MacLane aparece entonces la “noción de teoría de categorías como un tema propio de estudio” bajo la influencia de Grothendieck [5, p. 158]. Allí *unifica* la cohomología a coeficientes en un **haz** y la serie de **funtores derivados** de funtores de módulos, y resuelve en abstracto la existencia de suficientes **proyectivos e inyectivos** (procedentes de su Tesis y del *Résumé*) mediante la primera aparición de **axiomas infinitarios** en la teoría de categorías. Por otro lado, empieza a trabajar en su versión generalizada del teorema de **Riemann-Roch** [1957b, 1958a], una labor profunda de enlace entre lo lineal (dimensión vectorial de espacios de funciones meromorfas) y lo geométrico (género de curvas) que da lugar a la **K-teoría**, base del teorema del índice de Atiyah-Singer, uno de los resultados centrales de la matemática del siglo XX. Si tuviésemos tal vez que sintetizar la obra de Grothendieck, esta debería explicarse como una *suavización abstracta general del entronque entre Galois y Riemann* [10]. En efecto, aunque Betti y Poincaré realizaron las primeras unificaciones de los dos grandes Maestros del XIX, estas se quedan cortas con respecto a la amplitud del programa grothendickiano (nítidamente expresado en su conferencia plenaria del Congreso Internacional de Matemáticas [1958b]), cuya nueva fundamentación del número (esquemas) y del espacio (topos) procederá de sus trabajos iniciales en teoría de categorías y geometría algebraica. Es también la época de su intensa conexión con Jean-Pierre Serre [2], su *alter ego* y "educador" matemático, de quien diría "todo lo que aprendí en «geometría» (en un sentido muy amplio, que engloba la geometría algebraica o analítica [i. e. de la variable compleja, ver 1960], la topología y la aritmética), lo aprendí de Serre, cuando no lo estudié por mí mismo" [1985-6, parte 3, pp. 555-556].

Grothendieck emprende entonces su titánica tarea de reconstrucción de la geometría algebraica *a la manera categórica*, con una **inversión metodológica** de hondas consecuencias para el desarrollo posterior del pensamiento matemático: no definir *un* objeto y explorar *una* estructura interna sobre el objeto, sino definir la categoría de *todos* los objetos similares y explorar (axiomáticamente) la estructura *interna* de la categoría; no entender un objeto *en sí*, sino un objeto *en múltiple* (a través de su **funtor representable** asociado). Este es el sentido de la famosa metáfora de la "marea subiente", donde se sumerge una nuez en un líquido que la cubra enteramente, para poder así disolver *naturalmente* su cáscara (sin destrozarla con un "martillo") y dejar emerger *suavemente* su fruto interior [1985-86, parte 3, p. 553]. De la obra de Grothendieck –desde sus altos lineamientos generales, hasta sus concreciones técnicas más particulares– se desprende un paradigma fundamental, que podríamos denominar la práctica de una **matemática relativa** (asociada al "lenguaje módulo C" de Serre y a las categorías cociente [1957a, p. 137]). Las estrategias de Grothendieck pueden entenderse, de hecho, en un sentido conceptual, como cercanas a las modulaciones relativas introducidas por Einstein en la física. Tanto Einstein como Grothendieck manejan, de manera técnica, el marco del observador y las dinámicas parciales del agente en el conocimiento. En particular, en el hacer de Grothendieck, puede observarse, primero, una introducción de una red de incesantes *traslados, traslaciones, traducciones* de conceptos y objetos ("tipos") entre regiones aparentemente distantes de la matemática, y, segundo, una búsqueda igualmente incesante de *invariantes, proto-conceptos y proto-objetos* ("arquetipos") detrás de esa red de movimientos. En particular, los haces (objetos paradigmáticos para Grothendieck, desde su Tesis Complementaria para el Doctorado) permiten encarnar, en sus definiciones técnicas, asociadas a la continuación analítica y al **paso de lo local a lo global**, tanto el flujo, como el reposo.

Después de la notable década de los cincuenta, se abren los famosos seminarios que tornarán al *Institut des Hautes Études Scientifiques* (IHES) en el primer centro mundial de la investigación matemática, y que terminarán de asegurar la **Medalla Fields** (1966) para Grothendieck (ver el recuento de su obra por Dieudonné [4], en Moscú, adonde Grothendieck no viajó en protesta por la barbarie soviética). El IHES, abierto para Dieudonné, quien, con su enorme generosidad, había condicionado su contratación a la de Grothendieck, se convierte de hecho en el lugar soñado para la década mayor de la invención grothendickiana. Gracias a su colaboración con Dieudonné emerge el gigantesco *Elementos de Geometría Algebraica* (EGA) [1960-67], y gracias a la colaboración con alumnos y colegas brillantes (Demazure, Artin, Verdier, Deligne, etc.) se construye el aún más monumental *Seminario de Geometría Algebraica* (SGA) [1960-69]. Situándose dentro de lo que luego llamaría Thom la "aporía fundadora de las matemáticas" [9] –es decir, dentro de la *irresoluble dialéctica contradictoria* discreto/continuo–, Grothendieck inventa sus **esquemas** (aparición en 1960) como una herramienta muy potente para intentar resolver las **conjeturas de Weil** (1949). Por un lado, las conjeturas –lazos precisos entre lo discreto y lo continuo– intentan contar el número de puntos en ciertas variedades algebraicas sobre campos finitos, mediante funciones generadoras del tipo de las funciones zeta, provenientes de la intuición continua complejo-topológica de Riemann. Por otro lado, los esquemas, definidos como haces de anillos locales sobre el espectro topológico (ideales primos con topología de Zariski) de un anillo conmutativo arbitrario, entroncan la visión de Riemann (anillos de meromorfas) y aquella de Galois-Dedekind (anillos de números algebraicos). Dwork (1960) demuestra la racionalidad de las funciones zeta, Grothendieck (1966) la ecuación funcional que las gobierna y Deligne (1974), el mayor alumno de Grothendieck [3], la adecuada distribución de sus ceros (lo que da lugar al conteo combinatorio de los puntos en la variedad). El resultado de Deligne es un verdadero *tour de force* técnico que le valdrá la Medalla Fields. La *matemática moderna*, en la primera mitad del siglo XX, culminaba con la sorprendente prospección de Weil; impulsado por una muy fina intuición concreta y por una inusual capacidad para develar analogías en el cruce entre variedades algebraicas y topología, Weil había logrado *enunciar* con gran precisión sus conjeturas. La *matemática contemporánea*, en la segunda mitad del siglo XX, emerge en la obra de Grothendieck, y crea todo el aparataje de geometría algebraica que permite en cambio *resolver* esas conjeturas. Mientras que las topologías de Zariski sirven de mediaciones en el cruce (variedades algebraicas / topologías), y permiten enunciar las conjeturas, las **cohomologías** ("**étale**", ***l*-ádica**) de Grothendieck y de su escuela sirven de mediaciones en el cruce (esquemas / topos), permitiendo ahora resolverlas. Al extender las variedades algebraicas al ámbito de los esquemas, la riqueza de la *invención genérica* grothendickiana no procede gratuitamente. De hecho, la generalización nunca se realiza sin adecuadas particularizaciones en mente (algo que se le ha criticado a Grothendieck, con total desconocimiento de causa), y se trata en realidad de un complejo proceso de *ascenso y descenso* que resulta estar siempre gobernado por consecuencias concretas del más alto valor matemático (son testigos los numerosos **ejemplos** de la década del 50, en análisis funcional, álgebra y variable compleja).

Más allá de los haces como objetos singulares, la *proto-topología* que subyace a ciertas *categorías* de haces da lugar a los **topos de Grothendieck** (aparición en 1962, ver [1]). En categorías con buenas propiedades de composicionalidad y cubrimiento, una topología abstracta (**topología de Grothendieck**) puede definirse mediante (sub)colecciones de morfismos que "empaten" bien las unas con las otras. Las categorías de **prehaces** (categorías de funtores a valores en la categoría de conjuntos) verifican esas buenas propiedades de composicionalidad y cubrimiento, y pueden definirse allí topologías de Grothendieck. Los topos proceden entonces de categorías de prehaces que se "sitúan" alrededor de una topología de Grothendieck (entornos categóricos llamados **sitios** – una simplificación posterior de los topos de Grothendieck son los *topos elementales* de Lawvere (1970), donde las topologías abstractas pueden ser descritas, mediante el lema de Yoneda, gracias a *un solo* endomorfismo del clasificador de subobjetos, que calca las propiedades algebraicas de un operador de clausura). Suerte de *universos paralelos* para el desarrollo de las matemáticas, los topos son nuevos espacios categóricos, lo suficientemente amplios para poder desarrollar toda una tecnología sofisticada de lo relativo. Generalizando la acción de ciertos grupoides sobre las fibras de un haz, Grothendieck *mueve los topos* (ya no solo entornos conjuntistas, sino topológicos, algebraicos, diferenciales, combinatorios, etc.) y estudia en forma genérica las acciones de variados funtores sobre clases muy amplias de topos. Los resultados no se dejan esperar, y *en el ámbito geométrico genérico de los topos es donde ciertas obstrucciones cohomológicas desaparecen*: donde Grothendieck y su escuela pueden desarrollar la cohomología apropiada del sitio "étale" –de "liso", plano, sin ramificaciones, acercando una vez más la separabilidad de la teoría de Galois y la uniformización de las superficies de Riemann– que le permitirá a Deligne resolver las conjeturas de Weil.

La atención grothendickiana al movimiento de los conceptos y objetos matemáticos va acompañada de una búsqueda oscilante de **arquetipos** para la razón y la imaginación matemática. Entre lo *uno* (la forma) y lo *múltiple* (las estructuras: esquemas, topos, etc.), Grothendieck descubre e inventa –dualidad fundamental de la filosofía matemática, magníficamente explorada en *Cosechas y siembras* [1985-86]– nuevas cohomologías como apropiados invariantes de la forma. Aunque los grupos de homología y cohomología para la topología algebraica tienden a verificar ciertas condiciones de univocidad, al pasar a la geometría algebraica las posibilidades de invarianzas cohomológicas se multiplican (Hodge, de Rham, cristalina, "étale", *l*-ádica, etc.), y Grothendieck propone entonces sus **motivos** [1965-70] como hondas estructuras genéricas subyacentes a las distintas cohomologías: el tema de los motivos

> es como el *corazón* o el alma, la parte más escondida, la que se sustrae más a la mirada, dentro del tema de los esquemas, que se encuentra a su vez en el corazón mismo de mi nueva visión (...) Con el término de *motivo*, entiendo sugerir que se trata del «motivo común» (o de la «*razón* común») subyacente a esa multitud de invariantes cohomológicos diferentes (...) [que] serían como suertes de desarrollos temáticos diferentes –cada uno en el «*tempo*», en la «llave» y en el «modo» («mayor» o «menor») que le fuese propio– de un mismo «motivo de base» [1985-86, parte 0, pp. 45-46]

(obsérvense el fondo propio del Romanticismo, la musicalidad omnipresente y el uso consistente de la matemática relativa). Considerada por un tiempo como dudosamente especulativa, la **teoría motívica** de Grothendieck ha adquirido sin embargo una firme base teoremática en las manos de Voevodsky, otro más de los Medallistas Fields descendientes de Grothendieck, quien ha propuesto (1990-2000) nuevas formas de *cirugía en una variedad algebraica*, asociadas a nuevas estructuras topológicas para los objetos algebraicos (topologías finas de Grothendieck sobre sitios de esquemas) [10], y quien se erige en estos momentos como fundamentador alternativo de las matemáticas, con su *teoría homotópica de tipos* (HoTT, 2005-2015), inspirada en gran parte en ideas iniciales de Grothendieck. Debe aquí observarse la espectacular influencia de Grothendieck en la *escuela rusa* (Gelfand, Manin, Drinfeld, Bloch, Kontsevich, Voevodsky, etc.), que –como el Panorama Fields demuestra y a la par de la escuela francesa derivada también en buena medida de Grothendieck– merece considerarse como máxima expresión de la matemática en los últimos cuarenta años.

El Mayo 68 francés revivió en Grothendieck las ansias libertarias de sus padres, pero, curiosamente, la situación se había invertido para entonces, y el enorme matemático, en su reducto del IHES, llegó a ser considerado como un "mandarín" reaccionario por parte de los estudiantes y fue duramente criticado en algunos debates de la época. Los cuestionamientos de la comunidad confluyeron sin duda con los suyos propios, y la sensibilidad de Grothendieck debió alcanzar un límite difícil de manejar. Después de *veinte años ininterrumpidos de trabajo insensato* (dentro de los mitos de la época, se aseguraba que Grothendieck manejaba un ciclo vital de 27 horas sin dormir), Grothendieck tuvo que haber llegado a una saturación física y emocional que le desequilibró. Su renuncia al IHES en 1970 y su disparatada intervención en el Congreso Internacional de Matemáticas de Niza en el mismo año (organizado por un frustrado Dieudonné) le alejaron de la comunidad matemática. El hecho de que el IHES hubiese recibido apoyos económicos por parte del Ministerio de Defensa, comprometiendo la integridad y la libertad de sus profesores, parece haber sido solo la excusa final para la ruptura que el cuerpo y la mente le exigían a Grothendieck (para un análisis extenso de la situación véase [7, pp. 934-936]). La década 1970-1980 constituye entonces un *nuevo renacer*, donde Grothendieck se abre a los movimientos ecologistas (cofundador de *Survivre et vivre*, 1970-1975), a modos de existencia alternativos (vida en una comuna, donde tiene un hijo con su última compañera – en la época del IHES ya había tenido tres hijos con su esposa Mireille Dufour), a la acción humanitaria (viajes a Vietnam), a la filosofía oriental (conversión al Budismo). El mismo Grothendieck llama a estos años su periodo de "madurez", "un reencuentro con el «estado de infancia»", "una armonía del «yin» y del «yang» en mi ser" [1985-86, parte 3, p. 466]. Desde entonces, Grothendieck realza la importancia de un profundo vaivén **yin-yang** en el quehacer matemático, donde se combinan, en los momentos de emergencia creativa, una componente femenina *yin* (ligada al descubrimiento y al *corazón* de las cosas), y, en los momentos de construcción arquitectónica, una componente masculina *yang* (más ligada a la invención y a la *razón*) [1985-86, parte 3, pp. 470-471].

Después del "gran giro" de 1970, y después de algunos intentos fracasados por trabajar en el CNRS y en el *Collège de France* (donde se le ofrece una cátedra de matemáticas, que debe sin embargo abandonar al dedicarla a consideraciones ecologistas), Grothendieck regresa a la Universidad de Montpellier y ejerce allí una opaca e inconstante labor de profesor entre 1973 y 1988.

Vendrán cuarenta años de trabajos en reclusión, en pequeños pueblos de los Pirineos, antes de su muerte. Dada la ingente actividad de Grothendieck (que no disminuye en su alejamiento de la comunidad) y dado el enorme lapso de tiempo transcurrido (¡cuarenta años son muchos para cualquiera y son *muchísimos* para Grothendieck!), es de esperarse que las cajas de manuscritos encontradas en su residencia constituyan un *verdadero tesoro* para las generaciones futuras (bajo la coordinación de Leila Schneps, la página www.grothendieckcircle.org sigue atentamente la herencia del matemático). Varios de esos manuscritos alcanzaron a ser circulados y conforman notables aportes tanto a la matemática [1981, 1983a, 1983b], como a la *reflexión* (de y sobre la) matemática [1985-86, 1987]. Entre esos trabajos, *Cosechas y siembras* deberá sin duda ser considerado como una de las más profundas disquisiciones que un matemático de estirpe nos haya jamás regalado sobre la constitución de su obra, en particular, y sobre la constitución de las matemáticas, en general. La **topología moderada** (eliminación de artificiales obstrucciones conjuntistas y suavización de contraejemplos en topología), los **dibujos de niños** (descripciones combinatorias de superficies de Riemann), los **∞-campos** y los **derivadores** (formas de una nueva álgebra topológica), el **grupo de Grothendieck-Teichmüller** (descripción combinatoria del grupo de Galois de la clausura algebraica de los racionales), frutos de la inventividad de Grothendieck en los años 80, recelan aún muchos misterios para el siglo XXI.

En la inusual *combinación de lo más abstracto y lo más concreto* radica la excepcionalidad de Grothendieck. Cinco de las fuerzas transversales y pendulares mayores en su obra (*multiplicación, abstracción, naturalización, transición, suavización*) recorren el vasto mundo de los campos matemáticos donde Grothendieck renovó completamente nuestra visión: espacios vectoriales topológicos y espacios de Banach, variable compleja y teoría de Riemann-Roch, teoría de categorías y álgebra homológica, esquemas y geometría algebraica, topos y herramientas finas de cohomología, motivos y operadores derivados, grupos de Galois y superficies de Riemann, formas combinatorias y torres de espacios de funciones meromorfas, etc. La *unidad y la multiplicidad* del pensamiento de Grothendieck han generado, en lo más alto, (1) una verdadera acción dialéctica que recorre toda la amplitud de las matemáticas, y, en lo más concreto, (2) algunas de las invenciones más originales de la segunda mitad del siglo XX. Grothendieck nos acerca así a la creatividad matemática en sus más áureas cimas y renueva una vez más el lema de Jacobi, "en honor del espíritu humano".

BIBLIOGRAFÍA

Primaria

[1953a] Alexander Grothendieck, *Produits tensoriels topologiques et espaces nucléaires*, American Mathematical Society Memoirs 16, 1955 (Tesis Doctoral, Nancy, 1953).

[1953b] Alexander Grothendieck, *Topological Vector Spaces*, New York: Gordon and Breach, 1973 (Seminario, Sao Paulo, 1953).

[1953c] Alexander Grothendieck, "Résumé de la théorie métrique des produits tensoriels topologiques", *Bol. Soc. Mat. Sao Paulo* 8 (1956): 1-79 (escrito en 1953).

[1957a] Alexander Grothendieck, "Sur quelques points d'algèbre homologique", *Tohoku Math. Journal* 9 (1957): 119-221 (comenzado a escribir en 1955).

[1957b] Alexander Grothendieck, "Classes de faisceaux et théorème de Riemann-Roch" (escrito en 1957, publicado en [1960-1969, vol. 6, pp. 20-71]).

[1958a] Armand Borel y Jean-Pierre Serre, "Le théorème de Riemann-Roch (d'après des résultats inédits de A. Grothendieck)", *Bull. Soc. Math. France* 86 (1958): 97-136.

[1958b] Alexander Grothendieck, "The cohomology theory of abstract algebraic varieties", en: *Proceedings International Congress of Mathematics Edinburgh 1958*, Cambridge: Cambridge University Press, 1960, pp. 103-118.

[1960] Alexander Grothendieck, "Techniques de construction en géométrie analytique I-X", *Séminaire Henri Cartan*, tomo 13, París: Secrétariat Mathématique, 1960-61.

[1960-67] Alexander Grothendieck (con Jean Dieudonné), *Éléments de Géométrie Algébrique*, IV volúmenes (8 partes), París: IHES, 1960-1967.

[1960-69] Alexander Grothendieck (con diversos autores), *Séminaire de Géométrie Algébrique du Bois-Marie*, VII volúmenes (12 partes), Berlín: Springer, 1970-1973 (fascículos originales multicopiados, 1960-1969).

[1965-70] Alexander Grothendieck, *Motifs* ("Motivos"), manuscrito, 24 pp.

[1981] Alexander Grothendieck, *La Longue Marche à travers la Théorie de Galois* ("La larga marcha a través de la Teoría de Galois"), manuscrito, 1600 pp.

[1983a] Alexander Grothendieck, *Esquisse d'un programme* ("Esbozo de un programa"), manuscrito, 57 pp.

[1983b] Alexander Grothendieck, *Pursuing stacks* (“Persiguiendo campos”), manuscrito, 629 pp.

[1985-86] Alexander Grothendieck, *Récoltes et Semailles* (“Cosechas y siembras”), manuscrito, 1252 pp.

[1987] Alexander Grothendieck, *La Clef des Songes* (“La llave de los sueños”), manuscrito, 315 pp.

Secundaria

[1] Mathieu Bélanger, *Grothendieck et les topos: rupture et continuité dans les modes d'analyse du concept d'espace topologique*, Ph. D. Thesis, Université de Montreal, 2010.

[2] Pierre Colmez y Jean-Pierre Serre, *Correspondance Grothendieck-Serre*, París: Société Mathématique de France, 2011.

[3] Pierre Deligne, “Quelques idées maîtresses de l'oeuvre de A. Grothendieck”, en: *Matériaux pour l'histoire des mathématiques au XXe siècle*, París: Société Mathématique de France, 1998, pp. 11-19.

[4] Jean Dieudonné, “De l’analyse fonctionnelle aux fondements de la géométrie algébrique" (presentación de la Medalla Fields 1966 a Grothendieck), en: P. Cartier et. al. *The Grothendieck Festschrift*, Boston: Birkäuser, 1990, vol. 1, pp. 1-14.

[5] Ralf Krömer, *Tool and Object. A History and Philosophy of Category Theory*, Basel: Birkäuser, 2007.

[6] Winfried Scharlau, *Who is Alexander Grothendieck? A Biography. Part 1: Anarchy*, 2011.

[7] Winfried Scharlau, “Who is Alexander Grothendieck?”, *Notices AMS* 55 (2008): 930-941.

[8] Leila Schneps, *Grothendieck: a Biography, Part 2: Mathematics*, 4 capítulos disponibles, www.grothendieckcircle.org.

[9] René Thom, “L’aporia fondatrice delle matematiche”, *Enciclopedia Einaudi*, Torino: Einaudi, 1982, pp. 1133-1146.

[10] Fernando Zalamea, *Filosofía sintética de las matemáticas contemporáneas*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2009.