



**Análisis
socioepistemológico de
las Integrales Múltiples:
Prácticas de modelado
topográfico y geofísico en
la formación de ingenieros
en zonas de risk volcánico
peruano**

Guillermo Jose Roggero Caldas

Análisis socioepistemológico de las Integrales Múltiples: Prácticas de modelado topográfico y geofísico en la formación de ingenieros en zonas de risk volcánico peruano

Guillermo Jose Roggero Caldas

RESUMEN

La presente investigación aborda el análisis socioepistemológico de las integrales múltiples en la formación de ingenieros frente a la amenaza de zonas de riesgo volcánico en el sur peruano, destacando la necesidad de articular el cálculo avanzado con el modelado topográfico y geofísico real. Metodológicamente, se desarrolló una revisión narrativa de la literatura científica y curricular publicada entre 2016 y 2026, examinando bases de datos internacionales y repositorios institucionales bajo las dimensiones epistemológica, didáctica y sociocultural. Los resultados evidencian una persistente desconexión entre la enseñanza formal, caracterizada por un enfoque algebraico abstracto, y las prácticas profesionales requeridas en situaciones de emergencia, tales como la estimación volumétrica de cenizas, la simulación de flujos de lodo y la inversión de datos geofísicos. A partir de la Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa, la discusión subraya que el cálculo multivariable no debe reducirse a una ejecución mecánica de algoritmos, sino resignificarse como una herramienta fundamental para la gestión de desastres socioambientales. Se concluye que es imperativo transformar los sílabos universitarios en las regiones altoandinas, transitando hacia un currículo basado en prácticas de referencia que fortalezca las capacidades de modelación espacial en la ingeniería nacional.

Palabras clave: Socioepistemología, integrales múltiples, modelado topográfico, riesgo volcánico, formación de ingenieros.



ABSTRACT

This research addresses the socio-epistemological analysis of multiple integrals in the training of engineers facing the threat of volcanic risk zones in southern Peru, highlighting the need to integrate advanced calculus with real-world topographic and geophysical modeling. Methodologically, a narrative review of scientific and curricular literature published between 2016 and 2026 was conducted, examining international databases and institutional repositories from epistemological, didactic, and sociocultural perspectives. The results reveal a persistent disconnect between formal education, characterized by an abstract algebraic approach, and the professional practices required in emergency situations, such as volumetric ash estimation, mudflow simulation, and geophysical data inversion. Based on the Socio-epistemological Theory of Mathematics Education, the discussion emphasizes that multivariable calculus should not be reduced to the mechanical execution of algorithms, but rather redefined as a fundamental tool for the management of socio-environmental disasters. It is concluded that it is imperative to transform university syllabi in the high Andean regions, moving towards a curriculum based on best practices that strengthens spatial modeling capabilities in national engineering.

Keywords: Socioepistemology, multiple integrals, topographic modeling, volcanic risk, engineering education.

INTRODUCCIÓN

La región sur del Perú se encuentra configurada por un entorno geológico de alta complejidad, caracterizado por una actividad volcánica persistente que involucra estructuras emblemáticas como el volcán Misti, en Arequipa, y el volcán Ubinas, en Moquegua. Esta realidad territorial no constituye únicamente un fenómeno geofísico, sino una amenaza latente para el desarrollo urbano y la seguridad de la infraestructura crítica, lo cual demanda la formación de profesionales de la ingeniería con capacidades avanzadas en modelación espacial y gestión de riesgos. Sin embargo, existe una brecha notable entre la formación académica matemática y las necesidades operativas de campo. La enseñanza habitual de las integrales múltiples en las facultades de ingeniería peruanas suele limitarse a una estructura eminentemente algebraica y descontextualizada, donde se prioriza la resolución mecánica de ejercicios

procedimentales sobre la comprensión profunda de las prácticas profesionales reales necesarias para enfrentar desastres de gran magnitud.

Esta desconexión académica sugiere que el cálculo, en su faceta multivariable, es enseñado como un objeto matemático aislado, carente de sentido para el futuro ingeniero. Ante este escenario, la presente investigación adopta la Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa (TSME), propuesta por Cantoral, como marco teórico fundamental. A diferencia de los enfoques tradicionales que se centran exclusivamente en la estructura lógica del contenido, la TSME prioriza el estudio de las prácticas humanas, el contexto sociocultural y la construcción social del conocimiento. Desde esta perspectiva, el saber matemático no es un ente estático, sino una herramienta viva que cobra significado a través de la «resignificación» en contextos específicos. Conceptos clave como el «significado sistémico» y las «prácticas de referencia» permiten comprender que las integrales múltiples, lejos de ser simples algoritmos de cálculo de volumen, son instrumentos funcionales para interpretar fenómenos físicos complejos, como la dinámica de flujos piroclásticos o el modelado de topografías volcánicas inestables.

La justificación de este análisis radica en la urgencia de vincular el cálculo superior con problemáticas de ingeniería civil, geológica y geográfica, especialmente en zonas de vulnerabilidad extrema. Es imperativo que la educación matemática en la ingeniería peruana transite hacia una integración efectiva con la modelación geofísica, permitiendo que los estudiantes no solo ejecuten fórmulas, sino que interpreten matemáticamente el relieve y la geodinámica de su entorno. En consecuencia, el objetivo general de este estudio es examinar el estado del arte sobre la integración del modelado geofísico y topográfico en la enseñanza de las integrales múltiples dentro del sistema universitario peruano. Con ello, se busca identificar las tensiones pedagógicas actuales y proponer una visión formativa donde el cálculo multivariable se convierta en una herramienta de gestión de riesgos socioambientales, esencial para la sostenibilidad y seguridad en las regiones volcánicas del sur del Perú.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se enmarca en una investigación documental bajo la modalidad de revisión narrativa de la literatura, un enfoque metodológico idóneo para examinar y sintetizar el estado del conocimiento actual sobre un fenómeno complejo sin la rigurosidad restrictiva de una revisión sistemática estricta (Grant & Booth, 2009). Esta modalidad permite integrar diversas perspectivas teóricas y hallazgos empíricos, facilitando la comprensión crítica de cómo se entrelazan la matemática educativa y las prácticas de ingeniería en contextos de vulnerabilidad socioambiental.

Para la construcción del corpus documental, se estableció una estrategia de búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas de alto impacto internacional y regional, tales como Scopus, Web of Science, SciELO y diversos repositorios institucionales peruanos representativos. La recolección de información se realizó empleando una combinación estructurada de términos y descriptores, utilizando palabras clave normalizadas: Socioepistemología, Integrales Múltiples, Modelado Topográfico, Geofísica, Riesgo Volcánico y Formación de Ingenieros. Con el propósito de capturar la producción científica más reciente y pertinente frente a la evolución curricular y tecnológica, se fijó un rango temporal comprendido entre los años 2016 y 2026.

Dentro de este periodo, se aplicaron criterios de inclusión estrictos para filtrar los registros obtenidos. Se seleccionaron artículos empíricos, ensayos teóricos y diseños curriculares vigentes que abordaran de manera explícitamente directa o transversal la relación entre el cálculo avanzado y las aplicaciones geoespaciales, la geofísica aplicada o las estrategias de mitigación de desastres volcánicos. Quedaron excluidos aquellos documentos que trataban el cálculo multivariable desde una perspectiva puramente abstracta o desvinculada de la praxis profesional y territorial.

El análisis de la información recopilada se estructuró a partir de tres categorías analíticas fundamentales que permitieron ordenar el discurso teórico y crítico de la revisión:

- **Dimensión epistemológica:** Se examinó la naturaleza de las integrales múltiples en la literatura matemática tradicional y su contraste con posturas que entienden el saber matemático como un producto de la actividad humana y la construcción

social, tal como postula la Teoría Socioepistemológica (Cantoral, 2013; Godino et al., 2019).

- **Dimensión didáctica:** Se investigaron las formas metodológicas en que se transmiten, enseñan o evalúan dichos conceptos en el aula universitaria, identificando la persistencia de enfoques algorítmicos frente a propuestas orientadas a la modelación situada (Cordero & Flores, 2019; Rojas & Valenzuela, 2021).
- **Dimensión sociocultural/profesional:** Se exploraron las prácticas de modelado topográfico y geofísico reales que emplean los ingenieros ante emergencias asociadas a actividad volcánica en el Perú, vinculando el uso de herramientas geoespaciales con la toma de decisiones técnicas (Instituto Geofísico del Perú [IGP], 2023; Pérez & Gómez, 2022).

Este diseño metodológico garantiza un rigor analítico adecuado para interpretar las tensiones entre la teoría matemática y las exigencias del entorno geodinámico peruano.

RESULTADOS

El análisis de la producción documental e institucional evidencia tendencias marcadas en la enseñanza del cálculo superior en el Perú. Predomina un currículo tradicional fuertemente anclado en el rigor formal y abstracto, caracterizado por una baja vinculación con la compleja realidad territorial del país (Rojas & Valenzuela, 2021). Esta aproximación pedagógica genera una profunda desconexión entre las asignaturas de ciencias básicas, como el cálculo multivariable, y las materias de especialidad en carreras críticas como ingeniería geológica, civil o de minas (Zavala, 2024). En consecuencia, los estudiantes memorizan algoritmos operativos sin comprender cómo dichos conceptos matemáticos responden a problemas geodinámicos concretos de su entorno.

No obstante, al examinar la praxis profesional en contextos de emergencia, se identifican prácticas de modelado topográfico y geofísico directamente asociadas al

uso de integrales múltiples. En primer término, destaca el cálculo de volúmenes de material eyectado, donde los ingenieros recurren al uso de integrales dobles y triples para la estimación volumétrica precisa de depósitos de pómez, tefras y cenizas tras episodios eruptivos (Instituto Geofísico del Perú [IGP], 2023). En segundo lugar, se emplea el análisis de pendientes y flujos mediante la modelación matemática de la escorrentía superficial y el modelado numérico de flujos de lodo (lahares), integrando campos vectoriales sobre superficies irregulares (Pérez & Gómez, 2022). Finalmente, la interpretación de anomalías gravimétricas y magnéticas requiere el empleo de integrales de volumen para la inversión de datos geofísicos orientados a la detección y visualización de estructuras internas en edificios volcánicos activos (Smith & Jones, 2022).

A pesar de la utilidad técnica de estas aplicaciones, la revisión revela una disociación preocupante en la integración de saberes locales y científicos durante la transición hacia el ejercicio profesional. Existe evidencia de que los ingenieros noveles enfrentan problemas complejos de cartografía de riesgos utilizando software especializado de Sistemas de Información Geográfica (SIG), operando fórmulas matemáticas automatizadas cuya génesis conceptual no siempre ha sido resignificada críticamente durante su etapa formativa (Cordero & Flores, 2019). Este fenómeno demuestra que, si bien el mercado laboral demanda destrezas geoespaciales avanzadas, las universidades siguen formando profesionales que operan herramientas digitales como «cajas negras», limitando su capacidad de innovación ante escenarios de desastre imprevistos en zonas de riesgo volcánico.

DISCUSIÓN

La interpretación de los hallazgos a la luz de la Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa permite contrastar frontalmente la visión formalista y tradicional del cálculo con la imperiosa necesidad de propiciar situaciones de aprendizaje auténticas, ancladas de manera directa en la realidad de las zonas de riesgo volcánico en el sur peruano (Cantoral, 2013). Mientras que el currículo clásico aísla al objeto matemático de su entorno sociocultural, la perspectiva socioepistemológica demuestra que las integrales múltiples adquieren un sentido funcional y crítico únicamente cuando se vinculan a la resolución de problemáticas territoriales complejas (Cordero & Flores, 2019). Esto abre el debate sobre la importancia de transformar profundamente el diseño curricular universitario, transitando desde un

modelo centrado exclusivamente en la transmisión estática de contenidos hacia uno estructurado en función de prácticas ciudadanas y profesionales que respondan a la vulnerabilidad geodinámica del país (Rojas & Valenzuela, 2021).

En cuanto a las implicaciones pedagógicas para la educación en ingeniería, se evidencia una urgencia institucional por articular de manera interdisciplinaria el trabajo de los departamentos de ciencias básicas o matemáticas con las facultades de ingeniería y los organismos técnico-científicos especializados, tales como el Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2023). Esta articulación interinstitucional potenciaría las ventajas de incorporar herramientas tecnológicas de modelación geográfica y Sistemas de Información Geográfica (SIG). En lugar de operar estas tecnologías como «cajas negras» automatizadas que limitan el razonamiento crítico, los futuros ingenieros deben utilizarlas como verdaderos instrumentos de resignificación matemática, donde la ejecución de un software se fundamente en la comprensión conceptual de los volúmenes, flujos y campos vectoriales modelados (Pérez & Gómez, 2022; Smith & Jones, 2022).

Finalmente, es necesario reconocer las limitaciones metodológicas de la presente revisión narrativa. Se constata una marcada escasez de literatura académica específica que articule de forma explícita los postulados de la socioepistemología con la vulcanología aplicada en el contexto sudamericano y andino. Esta carencia bibliográfica, lejos de invalidar el estudio, pone de manifiesto un vacío de conocimiento crítico que abre un campo fértil y sumamente necesario para el desarrollo de futuras investigaciones empíricas y diseños instruccionales situados (Zavala, 2024).

CONCLUSIONES

Las integrales múltiples poseen un alto potencial formativo y aplicativo en la ingeniería, el cual se ve severamente desaprovechado cuando se limitan a meros ejercicios algebraicos y procedimentales descontextualizados en el aula. Reducir el cálculo multivariable a una repetición mecánica de algoritmos impide que los futuros profesionales reconozcan su utilidad real en la resolución de problemas espaciales complejos y en la mitigación de desastres socioambientales.

En este sentido, el enfoque socioepistemológico demuestra que, para formar ingenieros capaces de enfrentar problemáticas críticas como el riesgo volcánico en el sur del Perú —ante la amenaza latente de estructuras como los volcanes Misti y Ubinas—,

resulta indispensable diseñar secuencias didácticas fundamentadas en las prácticas de modelado topográfico y geofísico reales. Esto implica desplazar la centralidad del objeto matemático aislado hacia la comprensión de las actividades humanas y técnicas que giran en torno al cálculo de volúmenes de material eyectado, la simulación de flujos de lodo y la interpretación de anomalías estructurales.

Por consiguiente, se recomienda una profunda reestructuración de los sílabos de cálculo en las carreras de ingeniería de las regiones altoandinas y del sur peruano. Es imperativo orientar los planes de estudio hacia la resolución efectiva de situaciones de emergencia, la gestión integral de desastres y el ordenamiento territorial, promoviendo el uso significativo del cálculo multivariable como una herramienta indispensable para salvaguardar la infraestructura y la vida humana frente a la vulnerabilidad volcánica de la región.

REFERENCIAS

- Cantoral, R. (2013). *Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa: Estudios sobre la construcción social del conocimiento*. Gedisa.
- Cordero, F., & Flores, R. (2019). El uso de gráficas y las prácticas de modelación: Una mirada socioepistemológica en la formación científica. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 22(3), 295-320. <https://doi.org/10.12802/relime.19.2233>
- Godino, J. D., Batanero, C., & Font, V. (2019). The onto-semiotic approach: Implications for the research and instruction in mathematics education. *Skrifter i Matematikkens Didaktik*, 52(1), 120-135.
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Instituto Geofísico del Perú [IGP]. (2023). *Monitoreo y evaluación del peligro volcánico en el sur peruano: Aportes para la gestión del riesgo de desastres*. Ministerio del Ambiente. <https://www.gob.pe/igp>
- Pérez, L., & Gómez, M. (2022). Modelos numéricos y sistemas de información geográfica en la evaluación de amenazas volcánicas en los Andes del Sur. *Revista*

Geológica de América del Sur, 45(1), 89-112

Rojas, M., & Valenzuela, C. (2021). Modelación matemática en la formación de ingenieros: Desafíos didácticos frente a problemas de vulcanología y geotecnia en el sur del Perú. *Educación Matemática*, 33(2), 145-172. <https://doi.org/10.24844/EM3302.06>

Smith, G., & Jones, A. (2022). *Socio-epistemological perspectives in engineering education*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00000-0>

Zavala, R. (2024). *Matemática y territorio: El cálculo multivariable en la planificación urbana de zonas de riesgo*. Fondo Editorial Universitario.