

# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*

*The paper was published in the proceedings of XVI Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVI PCSMGE) and was edited by Dr. Norma Patricia López Acosta, Eduardo Martínez Hernández and Alejandra L. Espinosa Santiago. The conference was held in Cancun, Mexico, on November 17-20, 2019.*

# Factor miedo: subjetividad como variable asociada a la gestión de factores de seguridad en el diseño de problemas geotécnicos

Oscar Hernán VARGAS VILLAMIZAR<sup>a</sup>, Juan Carlos RUGE CÁRDENAS<sup>b,1</sup> y Renato PINTO DA CUNHA<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Universidad El Bosque, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Bogotá, Colombia. [ovargasvi@unbosque.edu.co](mailto:ovargasvi@unbosque.edu.co)

<sup>b</sup>Universidad Militar Nueva Granada, Grupo de Investigación en Geotecnia. Bogotá Colombia. [juan.ruge@unimilitar.edu.co](mailto:juan.ruge@unimilitar.edu.co)

<sup>c</sup>Universidad de Brasilia, Brasilia, Brasil. [rpcunha@unb.br](mailto:rpcunha@unb.br)

**Resumen.** En el argot de la ingeniería civil existe un término denominado “factor de seguridad”, el cual viene siendo problematizado desde la academia debido a la complejidad de su definición en términos matemáticos. Específicamente en el área de la geotecnia, la determinación de este factor depende de múltiples variables vinculadas al contexto específico del sitio de aplicación, lo que dificulta la modelación matemática. Esta ponencia ofrece una discusión pedagógica respecto a los factores técnicos y humanos relacionados con la subjetividad inherente al marco teórico del factor de seguridad, apoyada en artículos académicos y opiniones de consultores e investigadores en geotecnia, con el fin de contar con una mejor comprensión de las decisiones éticas de un proyectista cuando elige y emplea factores de seguridad; y puede ser usado como punto de partida para el desarrollo de debates pedagógicos en cursos de pregrado de ingeniería civil.

**Palabras Clave.** Factor de seguridad; subjetividad, ingeniería geotécnica.

## 1. Introducción

Las actividades desarrolladas por un ingeniero civil están basadas en la toma de decisiones con base en modelos matemáticos y el seguimiento a las normativas nacionales, por lo que se interpreta a priori que su labor está sustentada en criterios objetivos. Sin embargo, en la aplicación práctica de los elementos técnicos de la ingeniería civil, y en especial en la geotecnia, una parte importante del conocimiento se obtiene y valida in situ, mediante la observación de secuencias de construcción y el análisis del comportamiento de los materiales, presentándose desviaciones en los parámetros que son solventados, según [1], con base en el uso prudente e informado del “criterio ingenieril”.

---

<sup>1</sup> J.C. Ruge Cárdenas, PhD en Geotecnia. Grupo de Investigación en Geotecnia, Universidad Militar Nueva Granada. Carrera 11 #101 80, Bogotá, Colombia; E-mail: [juan.ruge@unimilitar.edu.co](mailto:juan.ruge@unimilitar.edu.co)

Aunque la aplicación del criterio ingenieril es una práctica de amplio conocimiento entre los profesionales de la geotecnia, este concepto requiere de mayor discusión y problematización, debido al componente de subjetividad asociado a su condición contextual y a la imposibilidad de definición plena usando exclusivamente métodos matemáticos. Por lo anterior, esta ponencia, que está enmarcada en un proyecto de mayor envergadura asociado a la comprensión de la forma en que la subjetividad influye en el ejercicio de la geotecnia, se orienta a ofrecer elementos para comprender el concepto de factor de seguridad, entendido como la relación entre la vida estimada en el diseño y la vida de servicio real [2], problematizándolo a través de la articulación de bibliografía referente al tema y de las observaciones provenientes de entrevistas realizadas a cinco ingenieros civiles colombianos con experiencia en el campo académico y disciplinar. Esta ponencia es un aporte a la discusión respecto a la aplicación de conceptos teóricos en ámbitos reales, con interés en estimular discusiones pedagógicas respecto a la influencia de factores interpretativos en el ejercicio geotécnico.

## 2. Metodología

El sentido común representa para [3] lo que se considera natural en una realidad social y opera sin necesidad de razonamiento adicional, lo que se refleja en expresiones del tipo “Todo el mundo sabe...” o “Es obvio que...”; y en el campo de las ciencias exactas, desde la perspectiva de los autores de esta ponencia, se presenta un sesgo, anclado en el sentido común, de considerar que toda variable es susceptible de ser representada e incluida en un modelo cuantitativo. Por ejemplo, [4] analizan la incertidumbre en geotecnia, entendida como la inhabilidad de una técnica de diseño para representar el comportamiento del sistema, e identifican que autores como Einstein y Nadim limitan las fuentes de incertidumbre a aspectos “duros” asociados a los datos y a los modelos. No obstante, los mismos autores plantean que otros investigadores como Baecher y Christian incluyen factores “blandos” tales como la incertidumbre en el conocimiento.

El planteamiento de asociar la incertidumbre con el proceso de creación del conocimiento es relevante en el ejercicio de la geotecnia, puesto que en la epistemología occidental tradicional, según [5] persiste la visión del conocimiento visto como “absoluto, estático y no-humano”, que riñe con una concepción más “relativa, dinámica y humanista”; que se ajusta más al ejercicio real de la geotécnica, en que se presenta, según [4], errores en medición, heterogeneidad y manipulación de los datos, y limitaciones de tiempo, espacio y de recursos económicos al realizar los muestreos. Ante esto, la toma de decisiones en geotecnia se muestra como una acción asociada al contexto, por lo que el cuerpo del conocimiento se ajusta a la definición de conocimiento de [5], visto como un proceso humano dinámico, en que se justifica la creencia personal en busca de la “verdad”.

Para [6], un método debe reconocer que el conocimiento reside en las personas, no en los textos o las máquinas; y [7] acude al concepto de comunidades de práctica para explicar la forma en que se desarrolla el conocimiento mediante la interacción con otros, en un ambiente en que el conocimiento es promovido y fomentado; y en el que la búsqueda de sentido se lleva a cabo mediante la interacción de dos procesos, según lo exponen [8]: uno de participación, en el que se captura el carácter social del concepto con base en la experiencia vital, y otro de cosificación, en el que la experiencia abstracta es plasmada mediante la producción de formas concretas. Asociado a lo anterior, en esta ponencia se expone un ejercicio de reflexión bajo un enfoque interpretativo que, según

[9], es aquel que se concentra en el análisis de los significados subjetivos e individuales como forma para profundizar en la comprensión de información altamente dependiente del contexto. Para ello, se combinan conceptos provenientes de artículos académicos en que se trata la naturaleza del factor de seguridad en ingeniería civil, y en particular en la geotécnica, con conocimiento empírico recopilado mediante entrevistas no estructuradas realizadas entre junio de 2016 y septiembre de 2017 a cinco expertos que comparten las siguientes características: Ingenieros civiles colombianos entre 30 y 50 años con experiencia profesional y docente en el área de la geotecnia.

Por la naturaleza del tipo de entrevista, esta se desarrolló a manera de conversación entre el entrevistado y un experto en la temática (Ph.D. en Geotecnia), en forma anónima y sin preguntas de respuesta obligatoria. La siguiente discusión se organiza con base en tres aspectos referentes a la interpretación de la naturaleza del factor de seguridad, y cuyos resultados hacen parte de un proyecto orientado a contar con una mayor comprensión acerca de la influencia de la subjetividad en el ejercicio y la enseñanza de la geotecnia.

### 3. Discusión

#### 3.1. Abordaje metafórico

En un artículo escrito por un filósofo y un ingeniero sueco, [2] proponen una visión holística del factor de seguridad como asociado a factores de incertidumbre, siendo un concepto usado en áreas tan disímiles como la ingeniería geotécnica, la ecotoxicología y la radioterapia. Asimismo, estos autores plantean el uso de “reservas de seguridad” para denotar márgenes que no han sido definidos como funciones de incertidumbre explícitas y que tienen origen en la decisión humana; por lo que un factor de seguridad solo puede ser comprendido en relación al contexto de la estructura y la práctica de diseño en que está involucrado; y por esto se emplean otros términos para describirlo tales como factor de incertidumbre, margen de seguridad, factor de contingencia, factor de cálculo y factor de ignorancia.

Ante esto, los investigadores en geotecnia acuden a la metáfora como recurso para explicar la naturaleza del concepto, tal como hace el entrevistado 3 (E3) al apoyarse en el trabajo del profesor Steve Olsen del Royal Institute of Technology de Suecia, quien clasifica a la incertidumbre como medible y no medible, planteando las metáforas del “casino” y la “jungla”:

*E3: “... el casino es la (incertidumbre) que yo puedo medir, un espacio en el que tengo diferentes posibilidades; y la jungla es lo que yo desconozco totalmente, no hay manera de aproximarse a eso, y la ingeniería se enfrenta a ese tipo de escenarios en el desarrollo de cualquier artefacto tecnológico, incluidos edificios, infraestructura física y demás. Entonces, los factores de seguridad de alguna manera involucran o tienen en cuenta todos los elementos de incertidumbre que no pueden ser conocidos específicamente en el desarrollo tecnológico y, especialmente, en el uso que se da a ese artefacto tecnológico.”*

En aplicaciones geotécnicas, [4] proponen la división de la incertidumbre de los factores “blandos”, es decir, aquellos asociados al conocimiento, en tres subcategorías: incertidumbre en la caracterización del sitio, incertidumbre en los modelos e

incertidumbre en los parámetros. Esto hace que el uso del factor en la disciplina sea más complejo que en otras ramas de la ingeniería civil, tal como lo plantean los entrevistados:

*Entrevistado 4 (E4): “ Como todos sabemos, los suelos son materiales naturales, no tienen un proceso homogéneo de formación, entonces se puede presentar cierta dispersión o cierta variabilidad con respecto a cada uno de los parámetros que en este caso gobiernan la resistencia del suelo ... en geotecnia nosotros vamos a encontrar que, básicamente, los factores de seguridad son mucho más altos, pues simplemente por esa incertidumbre con respecto al conocimiento de los datos y parámetros intrínsecos del suelo.”*

Otro aspecto relevante, expuesto por [1], es que, en la práctica geotécnica tradicional, el factor de seguridad es definido con base en la experiencia, apoyándose en la tradición o en la regulación vigente; por lo que el mismo factor de seguridad se emplea en condiciones muy disímiles, en lo que el autor cataloga como un enfoque de “talla única” (*one size fits all*), siendo un reto enfrentado por el proyectista:

*E2: “...si uno considera diferentes mecanismos de falla o diferentes condiciones límite que uno esté contemplando, pues habría diferentes factores de seguridad, y normalmente si uno mira normas o mira códigos los que hay son muy limitados, sí, es algo como muy limitado y de uso que a veces se vuelve como muy irreflexivo: simplemente aplicar unas cifras y ya. Por ejemplo, en cimentaciones “tres” y ya, pero se olvida lo que se está haciendo.”*

Así, la imposibilidad de medir la totalidad de la incertidumbre, explícita e implícita, genera preocupación en el proyectista, expresada a través de la metáfora del factor de seguridad entendido como manifestación de “miedo”:

*E1: “... Pues se lo enseñan (en la universidad) a uno como el “factor miedo” (...) bajarle tanto a los diseños no es bueno, porque el que corre el riesgo es uno, o empieza uno a poner en riesgo las estructuras.”*

*E2: “Ahora, si no hubiera un factor de seguridad definido en alguna parte para algo que tiene que hacer, pues es como más angustioso.”*

### 3.2. Consideraciones éticas

La falta de certidumbre es usualmente categorizada, según lo planteado por [2], mediante los términos de “incertidumbre” para los casos de tipo no cuantificable y “riesgo” para los casos cuantificables. Ante esto, los autores plantean que en la literatura ingenieril más reciente el término “riesgo” es reemplazado por “probabilidad”, así que la distinción más habitual evade el concepto de riesgo y se centra en la relación entre probabilidad e incertidumbre; por lo que estos autores consideran que es un asunto filosófico en discusión si la incertidumbre (entendida como falta de información o duda subjetiva) puede ser representada mediante valores numéricos; lo que es especialmente significativo en la disciplina bajo discusión:

*E1: "... sobre todo de geotécnica, las ecuaciones son empíricas, se han desarrollado racionalmente pero con base en observaciones; han ido cuadrando los parámetros, entonces no hay una verdad absoluta, lo importante es tener un orden de magnitud, algo lógico."*

La carencia de técnicas analíticas para justificar los factores de seguridad, de acuerdo con [10], es considerado como insatisfactorio por parte de muchos ingenieros, por lo que se intenta conectar los factores de seguridad con análisis no determinísticos, en lugar de reconocer la incertidumbre intrínseca a su uso; siendo una discusión que se plantea en la academia colombiana:

*E4: "Si ha trabajado, por ejemplo, en una zona específica durante mucho tiempo se sabe cuánto puede variar el parámetro y qué tanto no. Es diferente cuando se llega a una zona diferente en la que no se puede decir: "Voy a llegar al límite más bajo del factor de seguridad o de la probabilidad de falla" porque simplemente voy a tener una mayor incertidumbre con respecto a la información. Entonces, es curioso llegar a encontrar que dentro de mi disciplina sí hay ciertas divergencias respecto al concepto."*

Estas últimas observaciones de los entrevistados enfatizan en la naturaleza social de la ingeniería, que influye también en el ejercicio técnico, puesto que, finalmente, la elección de factores de seguridad tiene implicaciones en la vida real de las personas:

*E4.: "Por ejemplo, en el caso de la geotecnia, sabiendo que es alta la incertidumbre, con respecto a eso, que utiliza uno un factor de seguridad elevado comparado con otras disciplinas o con otras áreas, influye mucho en los costos. Entonces es necesario contemplarlos, sin embargo, se podría categorizar en cierto punto como un parámetro ético, realmente."*

La determinación de funciones de incertidumbre, según [2], consiste en el balanceo de valores sociales que compiten entre sí, lo que se asocia con la discusión planteada por [1] acerca de la distinción entre fallas "catastróficas" y "resultados insatisfactorios"; puesto que si el producto de la probabilidad de falla por el costo de la misma genera una cantidad pequeña, se justifica el uso de factores de seguridad menores; aunque los autores enfatizan que deben tenerse muy claras las consecuencias reales de la decisión, evitando que el uso del concepto de "probabilidad de falla" invisibilice los efectos de la palabra "falla", por lo que la definición de lo que consideramos como factores de seguridad aceptables va más allá de una determinación técnica:

*E3: "De alguna manera es la sociedad como tal, y su aceptación cultural, lo que permite la formulación de los factores de seguridad. Desde mi perspectiva, lo que culturalmente aceptamos, incluso fuera de la ingeniería, lo que aceptamos como correcto o no correcto, al final se traduce en un número, pero involucra lo que la sociedad acepta como pérdidas humanas o de infraestructura, también."*

Al respecto, en el ámbito social se entra en la paradoja entre la generación de sobrecostos para incrementar la protección y la preservación de la viabilidad económica de un proyecto; pues, y concordando con lo planteado por [2], es difícil la determinación de un precio a una vida humana:

*E3: “Obviamente que cuando yo tengo elementos que pueden afectar vidas humanas y demás, los procesos de incertidumbre están asociados a un conocimiento o a una aceptación social de la problemática, y puedo tener factores de seguridad altos, a diferencia de otros artefactos tecnológicos en los cuales su uso no tiene impacto sobre la vida de las personas o la vida en general. Entonces, a partir de allí cada aplicación tiene factores de seguridad o puede tener factores de seguridad diferenciados (...) En la medida que una sociedad valora más la vida de sus individuos puede tener factores de seguridad mucho mayores, de pronto, a una sociedad en el pasado en la cual, tal vez, la vida no era tan valorada.”*

Asimismo, la naturaleza social de la ingeniería civil implica el diálogo entre profesiones, lo que vuelve más compleja la definición de factores de seguridad, al involucrarse factores subjetivos adicionales dentro del proceso de toma de decisiones:

*E2: “Cuando ya se tiene que hablar con personas que no son de ingeniería, pues a veces es difícil de explicar ese tipo de cosas, ¿no?, pues a veces les parece que no se está logrando el compromiso óptimo entre seguridad y economía.”*

*E3: “... el diálogo se vuelve bastante difícil, sobre todo, con las disciplinas concentradas en balances económicos y en gestión de proyectos desde la perspectiva de un beneficio económico principalmente, porque, de alguna manera, un cambio pequeño en un factor de seguridad en un proyecto de infraestructura muy grande puede generar cambios de inversión muy grandes, y ganar mucho más dinero si tengo factores de seguridad muchos más pequeños. Ya con conceptos legales, digamos, puede ser un poco más fácil el diálogo en el sentido en que si el factor de seguridad está dentro de un reglamento que está asociado a elementos legales, pues ahí no hay discusión; pero sí puede haber discusión a largo plazo en el sentido de cómo esas políticas pueden cambiar en el tiempo: muchos desarrollos tecnológicos están en el sentido de aumentar el conocimiento en elementos de incertidumbre y, a partir de allí, lograr disminución del factor de seguridad y ganar más dinero.”*

### 3.3. Formación del criterio ingenieril en la academia

La epistemología occidental, de acuerdo con [5], concibe al conocimiento como explícito, siendo necesario cambiar de perspectiva para comprender que la creación de conocimiento depende de la interacción entre el conocimiento explícito y tácito; este último proveniente de la experiencia práctica, alojado en la mente de las personas y de naturaleza subjetiva. Ante esto, [11] considera que comprender la práctica y la teoría de la ética en la ingeniería será tan importante para la formación de los nuevos ingenieros como la comprensión de conocimientos matemáticos; y la adquisición de habilidades éticas les permitirá razonar sobre problemas morales y entender las consecuencias de sus acciones ante la sociedad. Esto genera el desafío para las facultades de ingeniería civil de formar a los nuevos ingenieros en procesos de toma de decisiones ante situaciones que el estudiante no ha experimentado y que solo podrá desarrollar mediante la experiencia, como primer paso en la construcción de su criterio de ingeniero.

E2: *“Digamos que el criterio ingenieril es algo a veces muy subjetivo y depende del entorno, por ejemplo, en el caso de geotecnia, el entorno en que ha tenido experiencia los ingenieros, el entorno geológico, pues, y geotécnico en particular. Pero digamos que yo lo definiría como comparar el problema actual con la experiencia previa para tratar de encontrar una solución antes de arrancar con los análisis y diseños detallados.”*

Entrevistado 5 (E5): *“... cuando uno intenta, digamos, tener un criterio ingenieril, o sea, dar un concepto, pues en el fondo lo que uno está haciendo es calculando, así no sea numéricamente sino, digamos, subjetivamente, un factor de seguridad de una estructura o un material.”*

Entrevistador: Ya en lo que se refiere a la manera en la que usted enseña sobre los factores de seguridad, ¿Cómo se lo explica a sus alumnos?

E5: *“... hay formas de entender que son muy visuales, hay formas que son muy conceptuales, y cada persona entiende los conceptos de una manera diferente, y entonces explicar un mismo concepto a diferentes personas, digamos, que no es fácil.”*

E2: *“En pregrado la verdad la noción que le dan es como muy difusa. Creo que fue sobre la mitad de la carrera, ¿no?, cuando se empiezan a ver las materias aplicadas, pero la noción era que como había incertidumbre, como había que cuidarse que había limitaciones en los datos con los que se estaba trabajando, por ejemplo, en la resistencia de los materiales, entonces se dividía por un factor de seguridad para tener un margen, digamos, para cuidarse de estar en una condición límite o sobrepasarla.”*

E5: *“Hasta ese momento los muchachos solo han visto cursos de física y de mecánica básica que es la estática, y aquí en el curso de resistencia de materiales los empezamos a introducir en los conceptos que los materiales pueden fallar, unos resisten, otros se rompen, o fluyen, o así, y para introducir ese concepto pues utilizamos ese concepto de factor de seguridad, para decirles que las estructuras deben estar siempre diseñadas considerando esa seguridad, que nunca deben estar diseñadas en sus puntos extremos, hasta que lleguen a su esfuerzo máximo, a su esfuerzo de fractura, a su esfuerzo de fluencia, sino que debe tener algún rango, digamos, de capacidad.”*

E2: *“(Hay que) tratar que los estudiantes hagan lecturas y discutan el tema y que sea algo que sepan o que uno crea que quedó claro, que no se anuncie como un tema ya sabido o como un tema como misterioso, que es como lo que uno ve a veces.”*

#### **4. A manera de conclusión**

El epicentro del misterio humano es la percepción de este mundo.  
De allí procede cada pensamiento, cada arte.  
Marilynne Robinson.



Un reto clave en la formación de los futuros ingenieros respecto al factor de seguridad es la búsqueda de formas novedosas de abordar la temática, con un grado mayor de sofisticación en la discusión conceptual, que no soslaye los factores no cuantificables y las implicaciones éticas de la toma de decisiones en contextos reales.

*E3: “(...) a pesar que yo estoy de acuerdo con los factores de seguridad como están en la reglamentación, si creo que carecen de todo el contexto académico y cultural que implican para poder realizar cambios o críticas en el sentido de aumentarlos, por ejemplo en ciertas situaciones, o disminuirlos en ciertas otras, dependiendo mucho del avance tecnológico que tenga la ingeniería.”*

Entrevistador: Usted dijo que un profesor le mencionó el “factor miedo”. ¿Usted utilizaría el mismo término con sus estudiantes? *“E1: Pues sí. Para mí si es importante que haya un miedo hacia lo que uno hace. Entrevistador: ¿A qué debe tenerle uno miedo?: A jugar con las vidas humanas, a jugar con la casa de la gente. Es lo que a uno debe tener miedo; es mi concepción.”*

## Referencias

- [1] Duncan, J. M. (2000). “Factors of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(4): 307-316.
- [2] Clausen, J. & Damkilde, L. (2006). “Slope Safety Factor Calculations With Non-Linear Yield Criterion Using Finite Elements”, *Sixth European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, Graz, (6): 491-496.
- [3] Spoelstra, S. (2007). *What is Organization*, Lund University Press, Lund, 180 p.
- [4] Hidalgo, C.A. & Pacheco de Assis, A. (2011). “Herramientas para análisis por confiabilidad en geotecnia: Aplicación”, *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(18): 79-86.
- [5] Nonaka, I., Toyama, R. & Konno, N. (2000). “SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Dynamic Knowledge Creation”, *Long Range Planning*, 33(1): 5-34.
- [6] Hildreth, P. M. & Kimble, C. (2002). “The duality of knowledge”, *Information Research*, 8(1): 1-18.
- [7] Wenger, E. (1998). “Communities of practice: Learning, meaning and identity”, *Journal of Mathematics Teaching Education*, 6(2): 185-194.
- [8] Cordero, S. & Dumrauf, A. (2013). “Repertorio compartido y cosificación en una comunidad de practicas universitaria de enseñanza de física”, *Actas III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*, La Plata, (1): 1-12.
- [9] Alvesson, M. & Sköldberg, K. (2000). *Reflexive Methodology*, Sage, London, 456 p.
- [10] Elishakoff, I. & Ferracuti, B. (2006). “Fuzzy sets based interpretation of the safety factor”, *Fuzzy Sets and Systems*, 157(18): 2495-2512.
- [11] Vega-González, L. B. (2013). “La educación en ingeniería en el contexto global: propuesta para la formación de ingenieros en el primer cuarto del siglo XXI”, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XIV(2): 177-190.