

INCIDENCIA DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA GEOTECNIA

NINI JOHANNA GARCÍA OVALLE
Estudiante Maestría en Administración
Universidad de Antioquia
ninijoga@gmail.com

JUAN PABLO OSORIO SALAS
Estudiante Maestría en Administración
Universidad EAFIT
josorios@eafit.edu.co

JUAN FELIPE HERRERA VARGAS
Asesor – Universidad de Antioquia

MÓNICA HENAO CÁLAD
Asesora Temática – Universidad EAFIT

BEATRIZ AMPARO URIBE CORREA
Asesora Metodológica – Universidad EAFIT

RESUMEN

En geotecnia, la gestión del riesgo se ha hecho de manera reactiva, a partir de la materialización de los riesgos y el análisis de las fallas originadas por éstos. La evidencia muestra que más del 80% de las fallas provienen de factores humanos, organizacionales y de conocimiento. A partir de una revisión bibliográfica tipo narrativa (1989 – 2014), se analiza la incidencia de la gestión del conocimiento en la gestión del riesgo en la geotecnia, se estudia la integración de la gestión del conocimiento y gestión del riesgo en diversas industrias, en donde obtuvieron beneficios en términos de priorización de riesgos, y se sugieren los elementos para elaborar una propuesta con un enfoque multimodelo para la gestión de riesgos en geotecnia.

PALABRAS CLAVE

Riesgo, conocimiento, gestión del riesgo, gestión del conocimiento, geotecnia.

ABSTRACT

Geotechnical risk management has been conducted in a reactive manner after the materialization of risks and the analysis of failures. Evidence shows that over 80% of failures are due to human, organizational and knowledge factors. From a narrative literature review (1989 – 2014), the influence of knowledge management in geotechnical risk managing is analysed, various industries where knowledge management and risk management were integrated obtaining benefits in terms of risk prioritization are studied, and the elements to develop a proposal of a multi-model approach to geotechnical risk management are suggested.

KEY WORDS

Risk, knowledge, risk management, knowledge management, geotechnics.

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, se observa una tendencia en la cual los proyectos de ingeniería exceden los costos estimados originalmente, y toman más tiempo en construirse que el estimado inicialmente. Carlsson (2005), compiló diferentes proyectos a nivel mundial en los cuales los

problemas reportados se encuentran asociados a eventos geotécnicos, problemas que no se manejaron apropiadamente en las etapas de diseño y construcción. Dentro de las principales consecuencias en los proyectos analizados, se encuentran sobrecostos entre el 50 y el 100% en un 32% de los proyectos; sólo 1 de cada 8 proyectos fueron terminados en el tiempo estipulado contractualmente, mientras el tiempo promedio en exceso superaba el 40%.

Debido a problemas como los expuestos, el análisis, evaluación y mitigación de riesgos en la geotecnia, ha cobrado, cada vez, más importancia. Según Smith (2008), un grupo de 50 geoprofesionales adelantaron un taller para examinar las tendencias de la industria de la construcción, que podrían afectar el desarrollo de la geotecnia. Transversal a las tendencias examinadas, los geo-profesionales encontraron una demanda creciente por soluciones “mejores, más rápidas y económicas” a los problemas geotécnicos. De las recomendaciones propuestas, el uso de gestión de riesgos en geotecnia se consideró como la mejor opción para cumplir con las demandas de las diferentes tendencias examinadas en la industria de la construcción.

De acuerdo con Nadim (2009), en países con Índice de Desarrollo Humano (IDH) bajo y medio, aunque se observa una tendencia positiva a tomar medidas preventivas para la mitigación de georriesgos; existe aún gran necesidad de intensificar esfuerzos. La Tabla 1 presenta un resumen de las cifras de desastres, personas afectadas y muertos, según lo reportado por la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (IFRC – sigla en inglés), en 236 territorios entre 1993 y 2012. Como se puede observar, países con IDH bajo y medio se ven más afectados por desastres naturales que países con niveles de desarrollo alto o muy alto (IFRC, 2003, 2013).

Tabla 1: Número desastres, muertos y personas reportadas como afectadas entre 1993 y 2012, de acuerdo con la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (IFRC, 2003, 2013).

		World Disasters Report 2003 (1993 a 2002)	World Disasters Report 2013 (2003 a 2012)
Número de países atendidos		236	226
Número total de desastres		5402	6699
Número total de afectados (cifras redondeadas en la fuente original)		2.496'811.000	2.167'404.000
Número total de muertos		623.927	1'149.920
Porcentaje de ubicación de afectados de acuerdo con el nivel de desarrollo humano de las naciones	Bajo	54%	22%
	Medio	42%	42%
	Alto	4%	20%
	Muy Alto	Categoría no existente en el período	16%

Sowers (1993) y Bea (2006), publicaron dos estudios en los cuales, de forma separada, revisaron 1100 casos de falla en un período de aproximadamente 70 años. Los autores encontraron que las principales causas de fallas en proyectos de infraestructura relacionados con la geotecnia se deben, entre un 80% y un 88%, a factores humanos, organizacionales y de conocimiento.

Brechas similares a la expuesta en la geotecnia han sido evidenciadas en otras industrias, como la militar o la financiera. En estas industrias, se han desarrollado metodologías para integrar la gestión de conocimientos con el fin de mejorar los procesos de gestión de riesgos, y ya se han observado beneficios significativos en términos de priorización de riesgos y de reducción en la pérdida de conocimiento.

A partir de lo anterior, se plantea como objetivo general de este trabajo, “analizar cómo incide la gestión del conocimiento en la gestión del riesgo en la ingeniería geotécnica”. Para esto, se plantean cuatro objetivos específicos: (1) identificar bibliografía relevante en el área de la gestión de riesgos en geotecnia, (2) identificar bibliografía relevante en el área de la gestión de conocimiento, con énfasis en la gestión del riesgo, (3) realizar una revisión crítica de la bibliografía seleccionada y (4) Sintetizar en un documento las principales prácticas encontradas, resaltando la forma en que la gestión del conocimiento (o la falta de ésta) incide en la gestión del riesgo en geotecnia. Finalmente, se sugieren las líneas generales que se deben considerar en la elaboración de una propuesta para un enfoque multimodelo para realizar la gestión de riesgos en geotecnia, en la cual se consideran los factores humanos, organizacionales y de conocimiento.

2. TIPO DE REVISIÓN Y METODOLOGÍA

2.1 Tipo de revisión

Considerando que el estudio presentado tiene como objetivos identificar bibliografía relevante en múltiples áreas y sintetizar en un documento las principales prácticas encontradas; y que esto implica realizar un análisis interdisciplinar, la revisión bibliográfica seleccionada fue del tipo narrativa o tradicional de acuerdo con lo propuesto por Cronin et al (2008).

Adicionalmente, la revisión también se define del tipo exploratorio según Méndez Álvarez (2012), ya que se tienen pocos antecedentes teóricos y prácticos sobre el tema, y se busca hacer una recopilación de tipo teórico, que sirva de base para la realización de nuevas investigaciones, por otros autores.

2.2 Metodología

Por ser un estudio de carácter multidisciplinar, desde los objetivos se propuso realizar una búsqueda de información en diferentes tópicos, para elaborar un constructo teórico que permitiera comprender las interacciones que se dan entre los diferentes conceptos relacionados con el tema central. Es así como se seleccionan el método deductivo y el método de análisis (Méndez Álvarez, 2012). El método deductivo permitió, a partir de la revisión bibliográfica detallada, identificar y sintetizar los conceptos de cinco temas principales: (1) gestión del riesgo, (2) gestión del riesgo en construcción, (3) gestión del riesgo en geotecnia, (4) gestión del conocimiento, (5) gestión del conocimiento aplicada a la gestión del riesgo; así como otros temas de apoyo que se

consideraron necesarios (definición de geotecnia, metodología de investigación, estadísticas relevantes, etc). El método de análisis permitió identificar, de forma crítica, las relaciones causa-efecto entre los elementos de la gestión del conocimiento y la gestión del riesgo en diferentes industrias, así como sus posibles incidencias y aplicaciones en la geotecnia (Figura 1).

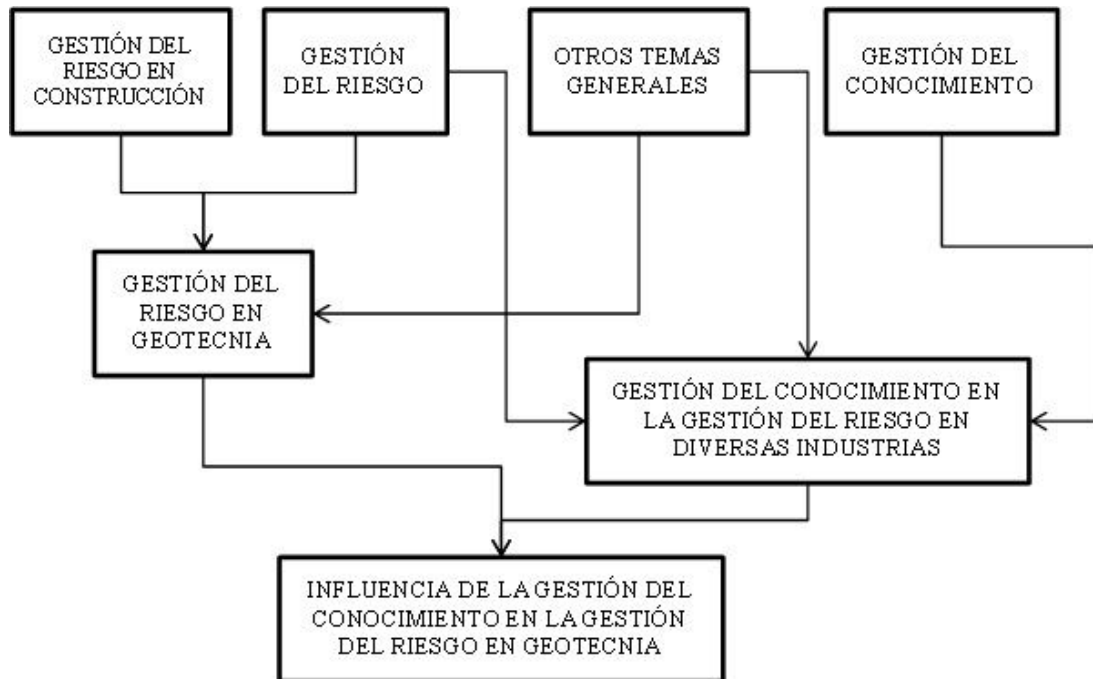


Figura 1: Interacción conceptual para abordar el tema objeto de estudio

Para el desarrollo del texto, se siguieron las sugerencias presentadas por Cronin et al (2008) en cuanto a la forma de presentar la revisión. En primer lugar, la revisión se dividió en dos grandes temas (1) gestión del riesgo en geotecnia y (2) gestión del conocimiento en la gestión del riesgo. A su vez, estos dos temas se dividieron en subtemas, los cuales se pueden ver en la Figura 1. Para el desarrollo de cada subtema, se decidió presentar la revisión de forma cronológica, de modo que el lector pueda seguir la forma como se han desarrollado los diferentes conceptos a través del tiempo. Finalmente, se realizó un análisis causa-efecto, a partir de las investigaciones teóricas, hallazgos empíricos pasados y las experiencias presentadas en los diferentes estudios, permitiendo esto, identificar la brecha existente entre la gestión del riesgo y la gestión del conocimiento en la geotecnia; lo que a su vez permite presentar los lineamientos generales que se sugieren seguir para cerrar estas brechas por medio de la futura formulación de un modelo.

Como el estudio realizado en el presente trabajo, abarca diferentes disciplinas y su interacción, el período de tiempo estudiado se seleccionó a partir del período de existencia de la disciplina más joven, que para el caso es la gestión del conocimiento. Jennex & Croasdell (2007) y Koenig (2008) presentan dos estudios en los cuales se observa un crecimiento sostenido del número de publicaciones sobre gestión de conocimiento entre 1990 y 2007. Adicionalmente, Santamarina &

Turkstra (1989) presentaron uno de los primeros estudios en los que se explora el efecto de los factores humanos en la geotecnia, por lo que el período de tiempo seleccionado para estudiar comprende los años 1989 a 2014.

La selección de las referencias siguió un proceso que combinó búsqueda electrónica, en bases de datos y motores de búsqueda, con búsqueda manual. Se seleccionaron un total de 87 referencias de diferente tipo (Tabla 2), las cuales se encontraron en 21 lugares distintos (Tabla 3). La mayoría de las referencias se encontraron de forma electrónica, sea en bases de datos o websites, sin embargo, un 22% de las referencias provienen de búsquedas manuales, principalmente identificación de otros trabajos que, a pesar de ser relevantes no se encontraron de forma electrónica. Los términos utilizados durante la búsqueda electrónica fueron: Geotechnical risk management, Risk management, Construction risk management, Knowledge management y Knowledge risk management.

Tabla 2: Cantidad de referencias por tipo.

NÚMERO	TIPO DE REFERENCIA	CANTIDAD	PORCENTAJE
1	Art. revista	33	38%
2	Art. conferencia	7	8%
3	Capítulos de libro	12	14%
4	Libros	18	21%
5	Normas	8	9%
6	Página web	3	3%
7	Reportes	4	5%
8	Tesis de maestría	1	1%
9	Tesis doctoral	1	1%
	TOTAL	87	100%

El proceso de selección bibliográfica se basó en los siguientes pasos:

1. Las referencias deben haber sido publicada en el período de tiempo estudiado.
2. Dichas referencias deben cubrir uno de los cinco temas seleccionados para la revisión.
3. Los artículos de revista, requerían aparecer en revistas de alto impacto, medido con dos escalas: los cuartiles de Scimago y la clasificación de Colciencias (Tabla 4).
4. Los artículos de conferencia, capítulos de libros, libros y tesis, fueron seleccionados a partir del proceso de búsqueda manual o identificación por su referenciación en otras fuentes.
5. Las normas fueron seleccionadas a partir de su amplio uso a nivel mundial, particularmente en la industria de la construcción.
6. Los reportes y páginas web se seleccionaron a partir de su relevancia temática y de la credibilidad del ente que los publicó.
7. Las publicaciones bien podrían estar en los idiomas inglés o español.

Tabla 3: Lugares de búsqueda.

NÚMERO	BASE DE DATOS O LUGAR DE CONSULTA	CANTIDAD	PORCENTAJE
1	Access Engineering	1	1%
2	ASCE	12	14%
3	Biblioteca	19	22%
4	Emerald Insight	6	7%
5	ENGnetBASE	5	6%
6	ICE Virtual Library	2	2%
7	INFORMS Pubs Online	1	1%
8	ISO	3	3%
9	JTOR	2	2%
10	NRC Research Press	2	2%
11	SciELO	1	1%
12	ScienceDirect	6	7%
13	Springer Link	2	2%
14	Taylor & Francis Online	2	2%
15	Websites conferencias	4	5%
16	Websites institucionales	8	9%
17	Websites propios de revistas	4	5%
18	Websites universitarios	4	5%
19	Wiley Online Library	1	1%
20	WIT Press	1	1%
21	World Academy of Science, Engineering and Technology	1	1%
	TOTAL	87	100%

Tabla 4: Revistas utilizadas para la revisión bibliográfica.

NÚMERO	JOURNAL	CUARTIL MÁXIMO	PUBLINDEX COLCIENCIAS	CANTIDAD	PORCENTAJE
1	British Journal of Nursing	Q2	A2	1	3%
2	Canadian Geotechnical Journal	Q1	A1	2	6%
3	Construction Management and Economics	Q1	A2	1	3%
4	Georisk: Assessment and Management...	Q1	A2	1	3%
5	Gestión y Ambiente	No medido	C	1	3%
6	Harvard Business Review	Q1	A1	2	6%
7	International Journal of Project Management	Q1	A1	2	6%
8	International Journal of Service Industry Management	Q1	A2	1	3%
9	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	Q1	A1	7	21%
	Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division				
	Journal of Geotechnical Engineering				
10	Journal of Knowledge Management	Q1	A1	3	9%
11	Long Range Planning	Q1	A1	1	3%
12	Management Decision	Q1	A1	1	3%
13	MIS Quarterly	Q1	A1	1	3%
14	Obras y Proyectos	No medido	A1	1	3%
15	Organization Science	Q1	A1	1	3%
16	Procedia - Social and Behavioral Sciences	No medido	A2	1	3%
17	Procedia Earth and Planetary Science	No medido	A2	1	3%
18	Proceedings of the ICE - Geotechnical Engineering	Q1	A2	1	3%
19	Risk Management	Q2	A2	1	3%
20	Soil Mechanics and Foundation Engineering	Q3	A2	1	3%
21	The Learning Organization	Q1	A2	1	3%
22	World Academy of Science, Engineering and Technology	Q4	A2	1	3%
	TOTAL			33	100%

3. GESTIÓN DEL RIESGO EN LA GEOTECNIA

3.1 Riesgo

La palabra riesgo ha sido definida de diferentes formas por diferentes autores, y en diferentes industrias. De forma general, se ha definido riesgo como la medida de la probabilidad y consecuencia de eventos futuros (Yoe, 2012). Normalmente, el término riesgo se asume con una connotación negativa, sin embargo, el riesgo simplemente representa un resultado incierto. Por lo tanto, el riesgo puede tener un resultado positivo o negativo (Cretu, Stewart, & Berends, 2011). Siguiendo esta línea, el Project Management Institute (PMI, 2013) define riesgo de la siguiente forma:

El riesgo de un proyecto es un evento o condición incierta que, de producirse, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto, tales como el alcance, el cronograma, el costo y la calidad. Un riesgo puede tener una o más causas y, de materializarse, uno o más impactos. Una causa puede ser un requisito especificado o potencial, un supuesto, una restricción o una condición que crea la posibilidad de consecuencias tanto negativas como positivas (p. 310).

El sesgo de tener el riesgo como algo negativo, normalmente, impide ver oportunidades potenciales. Así como las amenazas pueden resultar en desastres catastróficos, las oportunidades pueden resultar en beneficios espectaculares (Cretu et al., 2011).

En ingeniería civil, Singh, Jain & Tyagi (2007) definen el riesgo como la probabilidad de la falla de un sistema, el recíproco del tiempo esperado antes de que ocurra la falla de un sistema, o alguna medida del costo de falla. Para estos autores, el concepto de riesgo combina una medida probabilística de ocurrencia de un evento adverso con la medida de las consecuencias de la ocurrencia de dicho evento, y en ningún caso es visto en un sentido positivo.

Para la construcción, Lambeck & Eschemuller (2009) definen riesgo como un evento que puede afectar de forma adversa la habilidad del proyecto para alcanzar sus objetos definidos, que son: completar el proyecto a tiempo, dentro del presupuesto, con alta calidad y con un cliente satisfecho que estará dispuesto a entregar al director de construcción/contratista general nuevos negocios y una buena referencia. Para proyectos de construcción en países en vía de desarrollo, Wang, Dulaimi, & Aguria (2004) proponen que el riesgo es un concepto multifacético, definido como la probabilidad de ocurrencia de un evento/factor o combinación de eventos/factores que ocurren durante el proceso de construcción, en detrimento del proyecto. Serpella et al. (2014) adoptan esta definición para la gestión de riesgos en proyectos de construcción en Chile.

3.2 Gestión del riesgo

Se puede considerar la gestión del riesgo como un proceso sistemático de identificación y evaluación, con el posterior desarrollo, implementación y monitoreo de estrategias de mitigación de los riesgos a los cuales está expuesta una empresa o un proyecto, haciendo uso de los recursos organizacionales (físicos, financieros, sistemas de información, capital humano). Según Hollman & Forrest (1991), la gestión del riesgo es un proceso universal en su aplicación, y es lo suficientemente amplio para abarcar individuos y empresas de todo tipo, como lo son organizaciones de servicios y de manufactura.

La metodología Projects in Controlled Environments version 2 (PRINCE2), define la gestión del riesgo como “la aplicación sistemática de principios, enfoques y procesos a las tareas de identificar y evaluar los riesgos y luego de planificar e implementar las respuestas al riesgo” (PRINCE2, 2009). Por su parte, la International Organization for Standardization (ISO) y la International Electrotechnical Commission (IEC) definen la gestión del riesgo como “actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización con respecto al riesgo” (IEC/ISO, 2009; ISO, 2009a, 2009b).

Para el Washington State Department of Transportation (WSDOT, 2010), la gestión de riesgos de proyectos generan valor de la siguiente manera:

- ✓ Contribuye al éxito del proyecto.
- ✓ Reconoce incertidumbres y provee predicciones para posibles resultados.
- ✓ Produce mejores resultados empresariales a través de la toma de decisiones mejor informadas.
- ✓ Influye positivamente en el pensamiento creativo y la innovación.
- ✓ Ofrece mejor control – menos gastos generales y menos tiempo perdido, mayor enfoque en los beneficios.
- ✓ Ayuda a la dirección a entender que está pasando con el proyecto y cuáles son los retos que éste tiene que superar.

Para la ISO (2009a, 2009b) y la IEC/ISO (2009), el proceso para la gestión del riesgo es la aplicación sistemática de las políticas, los procedimientos y las prácticas de gestión a las actividades de comunicación, consulta, establecimiento de contexto, y de identificación, análisis, evaluación, tratamiento, monitoreo y revisión del riesgo. De acuerdo con el WSDOT (2010) y el PMI (2013), las actividades de gestión del riesgo de un proyecto incluyen los siguientes seis pasos:

- a) *Planificar la Gestión de los Riesgos*: Definir cómo realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto.
- b) *Identificar los Riesgos*: Determinar los riesgos que pueden afectar al proyecto y documentar sus características.

- c) *Analizar Cualitativamente los Riesgos*: Priorizar los riesgos para análisis o acción posterior, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos.
- d) *Analizar Cuantitativamente los Riesgos*: Analizar numéricamente el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto.
- e) *Planificar la Respuesta a los Riesgos*: Desarrollar opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto.
- f) *Controlar los Riesgos*: Implementar los planes de respuesta a los riesgos, dar seguimiento a los riesgos identificados, monitorear los riesgos residuales, identificar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a través del proyecto.

Para la industria de la construcción en particular, las definiciones y los pasos a seguir en el proceso de la gestión del riesgo, normalmente usados por diferentes autores o instituciones, han sido tomados o adaptados a partir de la literatura general en gestión de riesgos. Por ejemplo, Serpella et al. (2014) se basaron en la propuesta del ISO (2009a) y de Baloi & Price (2003). A su vez, Baloi & Price (2003) se basaron en la propuesta de Raftery (1994). Osipova & Eriksson (2013) se basaron en la propuesta del PMI (2000), mientras Cretu et al. (2011) basaron su propuesta en la del PMI (2008) aunque también hacen referencia a la del ISO (2009a). Por su parte, Wang et al. (2004) hacen un recuento de diferentes investigaciones realizadas en el área de gestión de riesgos en proyecto de construcción entre 1979 y 2001.

3.3 Riesgo y gestión del riesgo en geotecnia

La ingeniería geotécnica o simplemente la geotecnia, es la sub-disciplina de la ingeniería civil que estudia las propiedades y el comportamiento de los materiales naturales encontrados en la superficie de la tierra (suelos y rocas), y la aplicación de estos principios al diseño de cimentaciones, estructuras de retención y estructuras de tierra (Das, 2009).

En la geotecnia, así como en otras industrias, riesgo e incertidumbre son conceptos que se relacionan de forma cercana. Para Carlsson (2005), las incertidumbres en la geotecnia se deben primordialmente a falta de conocimiento, causada por información insuficiente o inadecuada, incluida en parámetros o modelos, falta de familiaridad con técnicas o lugares, falta de experiencia o competencias y cambios no previstos en alcances o prerrequisitos.

Como se mencionó en la sección 1, los países con Índice de Desarrollo Humano (IDH) bajo y medio son los más afectados por los desastres naturales y los georriesgos, especialmente en términos de pérdida de vidas humanas. Sin embargo, muchas vidas se podrían haber salvado si se hubieran conocido los riesgos, y si se hubieran aplicado medidas de mitigación. Por esto, es cada vez más aceptado que un enfoque proactivo en la gestión de riesgos es requerido para reducir la pérdida de vidas y los daños materiales asociados con los desastres naturales (Lacasse, Nadim, & Hoeg, 2012).

Debido a la importancia que ha cobrado la gestión de riesgos, la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (ISSMGE, por sus siglas en inglés) creó el Comité para la Evaluación y Gestión de Riesgos en la Ingeniería Práctica - TC304 (ISSMGE, 2012a), creado originalmente bajo la denominación TC32 en 1999. Dicho comité desarrolló un Glosario de Términos para la Evaluación de Riesgos (ISSMGE, 2004) con el fin de estandarizar 72 términos utilizados en la gestión de riesgos en geotecnia. El Glosario fue traducido al español y al chino en el año 2012 (ISSMGE, 2012b).

De acuerdo con el glosario propuesto, Riesgo se define como “la medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso para la vida, salud, propiedad o el ambiente. Cuantitativamente, Riesgo = Peligrosidad X Pérdida de Valor Potencial. El Riesgo, también, se puede expresar como la probabilidad de un evento adverso por las consecuencias si el evento ocurre” (ISSMGE, 2004, 2012b). Por su parte, la incertidumbre describe una situación sin certeza, esté o no descrita por una distribución de probabilidad. La incertidumbre puede ser causada por variación natural y/o conocimiento incompleto (ISSMGE, 2004).

Como se puede inferir de las definiciones anteriores, el Comité TC 304 consideró únicamente el sentido adverso de la palabra riesgo. Esto va en concordancia con el sentido general que han tomado muchos autores en la geotecnia (Baecher & Christian, 2003; Bea, 2006; Carlsson, 2005; Clayton, 2001a; Nikiforova, 2005; Silva, Lambe, & Marr, 2008), y con el sentido general que se ha tomado en la ingeniería civil, tal y como se describió en la sección 3.1.

Ahora, la gestión de riesgos en geotecnia es definida por el Comité TC 304 como: “La aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas a las tareas de identificar, analizar, evaluar, mitigar y monitorear riesgos” (ISSMGE, 2004, 2012b). Esta definición es aceptada por autores como Fell, Ho, Lacasse, & Leroi (2005) y Lacasse et al. (2012). Autores como Rodriguez-Lopez, Jimenez-Rodriguez, & Hruskovic (2006) concluyen que la gestión del riesgo en geotecnia, cuenta con tres pasos principales: definición de riesgos, análisis de riesgos y respuesta a los riesgos. Esta propuesta es idéntica a la hecha por Wang et al. (2004) para la industria de la construcción.

Fell et al. (2005), Aristizábal & Vargas (2008) y Sejnoha, Jaruskova, Spackova, & Novotna (2009), por mencionar sólo algunos, también describen modelos de gestión de riesgos implementados en diversas sub-áreas de la geotecnia. Sin embargo, van Staveren (2009) y Bea (2006), argumentan que en la actualidad no se toman en cuenta todas las fases de la gestión de riesgos. Bea (2006) considera que aspectos como el humano, organizacional y de conocimiento también deben incluirse en los análisis de confiabilidad y en las estrategias de mitigación. Por su parte, van Staveren (2009) considera que a la fecha no hay literatura que cubra el tema de cómo implementar estrategias de gestión de riesgo en geotecnia, sino que la gestión de riesgos se considera como el análisis y la evaluación de riesgos, mas no como la implementación rutinaria de estrategias a nivel de la gestión de riesgos en la gerencia del proyecto, y mucho menos a nivel organizacional.

4. GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA GESTIÓN DEL RIESGO

4.1 Conocimiento

Conocimiento es un concepto que ha sido estudiado por muchos autores, de diversas disciplinas y del cual se han presentado diferentes definiciones (Nissen & Jennex, 2007; Tiwana, 2002; von Krogh, Ichijo, & Nonaka, 2000). Por ejemplo, de acuerdo con Awad & Ghaziri (2004) conocimiento tiene diferentes significados, dependiendo de la disciplina donde es utilizado.

Nonaka (1994) adopta la definición epistemológica de conocimiento, en la que se define a este como una “creencia verdadera justificada”. Sin embargo, aclara el autor, para la teoría del conocimiento, el foco está puesto en la creencia con énfasis en la justificación, y no en la verdad como hace la epistemología tradicional; por lo que de esta manera, el conocimiento es visto como un proceso humano, dinámico, de justificación de creencias personales como parte de una aspiración a la verdad. Siguiendo la misma línea, Nonaka, Toyama, & Konno (2000) definen al conocimiento como “un proceso humano, dinámico, por medio del cual se justifican las creencias personales hacia la ‘verdad’”. Además de ser dinámico, el conocimiento, también, es específico a un contexto, ya que depende del tiempo y el espacio; si éste no se pone en contexto es, simplemente información. La información se convierte en conocimiento cuando es interpretada por individuos, se le da un contexto y es amarrada a las creencias y compromisos del individuo.

Para Davenport & Prusak (2000), conocimiento es una mezcla fluida de experiencia, valores, información contextualizada y perspectiva de experto que provee un marco para evaluar e incorporar nuevas experiencias e información. Se origina y es aplicado en la mente de conocedores. En organizaciones, normalmente se embebe no sólo en documentos o repositorio, sino también, en rutinas organizacionales, procesos, prácticas y normas. Esta definición es adoptada por Tiwana (2002).

Para Serradell López & Juan Pérez (2003), un importante atributo del conocimiento soportado por la gestión del conocimiento,

...es que es el único recurso que se incrementa con su uso: al contrario de lo que sucede con los recursos físicos (tierra, mano de obra y capital), los cuales se consumen con el uso y proporcionan rendimientos decrecientes con el tiempo, el conocimiento proporciona rendimientos crecientes con su uso. Cuanto más se usa, tanto más valioso es, y más ventaja competitiva proporciona.

Con respecto a los tipos de conocimiento, Tiwana (2002) esgrime que el conocimiento se puede clasificar en cuatro categorías diferentes: Según el tipo (tecnológico, de negocios y ambiental), según el foco (operacional o estratégico), según su complejidad (explícito o tácito) y según su duración (bajo o alto). De forma similar, Awad & Ghaziri (2004) presentan un resumen de cinco diferentes categorías para clasificar el conocimiento: (a) superficial o profundo, (b) según el

know-how, (c) conocimiento como sentido común, (d) procedimental, declarativo, semántico o episódico, (e) explícito o tácito.

Una clasificación de gran aceptación es la presentada por Nonaka (1991, 1994), según la cual existen dos tipos de conocimiento, explícito y tácito. “El conocimiento explícito es formal y sistemático. Por esta razón, se puede compartir y comunicar fácilmente, en especificaciones de producto o en una fórmula científica o en un programa computacional” (Nonaka, 1991). Por otra parte, “El conocimiento tácito está también profundamente arraigado en la acción y en el compromiso de una persona con un contexto específico: un oficio o profesión, una tecnología o mercado particular de producto o las actividades de un grupo de trabajo o equipo [...] Consiste en modelos mentales, creencias y perspectivas tan profundamente arraigados que las damos por sentados y, por ello, no podemos expresarlos fácilmente”. (Nonaka, 1991).

4.2 Gestión del conocimiento

De acuerdo con Awad & Ghaziri (2004), “la gestión de conocimiento es el proceso de capturar y hacer uso del conocimiento colectivo de una firma en cualquier lugar del negocio; en el papel, en documentos, en bases de datos (llamado conocimiento explícito), o en la mente de las personas (llamado conocimiento tácito)”.

Por su parte, Davenport & Marchand sugieren que “aunque la gestión del conocimiento involucra administración de la información, además de esto, tiene dos tareas distintivas: facilitar la creación de nuevo conocimiento y administrar la forma en que las personas lo comparten y aplican” (Davenport & Marchand, 1999 citado en Alwis & Hartmann, 2008).

Para Jennex (2005), la gestión de conocimiento es la práctica de aplicar conocimiento de experiencias previas en la toma de decisiones de forma selectiva, a actividades de toma de decisiones actuales y futuras, con el propósito expreso de mejorar la efectividad de la organización. Adicionalmente, para el autor, los sistemas de gestión de conocimiento fueron creados para facilitar la captura, almacenamiento, recuperación y reuso de conocimiento.

Otros autores, también han definido gestión de conocimiento. Awad & Ghaziri (2004), Jennex (2007) y Rodríguez (2010) hacen un recuento de las diferentes definiciones y puntos de vista de varios autores sobre el tema. A pesar de las múltiples definiciones que se pueden encontrar sobre gestión del conocimiento, en la literatura se observa poca discrepancia en los procesos asociados a la misma, y dicha discrepancia se presenta normalmente en el número y nombre de los procesos, más que en los conceptos que los subyacen (Alavi & Leidner, 2001). En la Tabla 5 se presenta un resumen de los procesos de la gestión de conocimiento, presentados por diferentes autores. A continuación, se hace una breve descripción de los cuatro procesos propuestos por Alavi & Leidner (2001)

- a) *Creación de conocimiento*: Involucra la creación de nuevos contenidos o el reemplazo de contenidos existentes dentro del conocimiento tácito o explícito de la organización.

- b) *Almacenamiento/recuperación de conocimiento*: Proceso de administrar la memoria organizacional, dado que así como las organizaciones crean conocimiento, también pueden olvidarlo.
- c) *Transferencia de conocimiento*: Puede ocurrir en varios niveles: entre individuos, de individuos a fuentes explícitas, de individuos a grupos, entre grupos, a través de grupos, y de un grupo a la organización.
- d) *Aplicación de conocimiento*: Según los autores, la ventaja competitiva reside en la aplicación del conocimiento más que en el conocimiento en sí mismo. Dicha aplicación se puede presentar de tres formas: por medio de directrices, rutinas organizacionales o por grupos de tareas especiales auto-contenidos (estos últimos aparecen cuando hay tareas que no se pueden resolver con directrices o con rutinas organizacionales preestablecidas).

Tabla 5: Procesos de la gestión de conocimiento presentados por diferentes autores. Adaptado de Rodríguez (2010).

Procesos	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> • Generación de conocimiento • Codificación y coordinación del conocimiento • Transferencia del conocimiento • Roles y habilidades de conocimiento 	Davenport & Prusak (2000)
<ul style="list-style-type: none"> • Creación de conocimiento • Almacenamiento/recuperación de conocimiento • Transferencia de conocimiento • Aplicación de conocimiento 	Alavi & Leidner (2001)
<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de conocimiento • Selección de conocimiento • Internalización del conocimiento • Uso del conocimiento • Generación de conocimiento • Externalización del conocimiento 	Holsapple & Joshi (2002)
<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de conocimiento • Compartir conocimiento • Uso del conocimiento 	Tiwana (2002)
<ul style="list-style-type: none"> • Planeación de conocimiento • Creación de conocimiento • Integración de conocimiento • Organización de conocimiento • Transferencia de conocimiento • Mantener el conocimiento • Evaluar el conocimiento 	Rollett (2003)
<ul style="list-style-type: none"> • Creación de conocimiento • Almacenamiento/recuperación de conocimiento • Transferencia de conocimiento • Aplicación de conocimiento • Roles y habilidades de conocimiento 	Peachey, Hall, & Cegielski (2005)
<ul style="list-style-type: none"> • Aprendizaje organizacional • Gestión del conocimiento • Memoria organizacional 	Jennex (2007)

A partir de las diferentes formas en que los autores proponen aplicar y enfatizar los procesos antes mencionados, nacen los diversos modelos que han sido propuestos, como por ejemplo los de Jennex & Olfman (2007), Nonaka et al. (2000) y Tiwana (2002).

4.3 Influencia de la gestión del conocimiento en la gestión del riesgo, y modelos propuestos en diversas industrias

Tradicionalmente, la gestión del riesgo y la gestión del conocimiento se han considerado como dos conceptos diferentes dentro de las organizaciones. Sin embargo, diferentes autores han reconocido la importancia de integrar la gestión del riesgo y la gestión del conocimiento en diferentes áreas. Dicha integración, en la actualidad, ha llegado al punto en que autores como Neef (2005), Massingham (2010) y Jafari et al. (2011) reconocen una nueva área de investigación en la *Gestión del Riesgo de Conocimiento (Knowledge Risk Management)*.

La integración de ambos conceptos, normalmente, se realiza a partir de integrar los procesos de gestión del conocimiento (sección 4.2) con los procesos de la gestión del riesgo (sección 3.2), de forma que los primeros sirvan para mejorar los segundos.

Smallman (1999), hace una propuesta inicial en la que considera que, enfocándose en la gestión del riesgo, el valor de la gestión del conocimiento está en la representación, disseminación y creación de conocimiento de las amenazas y sus riesgos asociados. Es de anotar que, normalmente, la generación de conocimiento sobre el riesgo se da posteriormente a una falla; sin embargo, el valor de la propuesta de Smallman (1999) está en tratar de aprender sobre las amenazas, antes de que éstas ocurran. El autor presenta casos en los que se muestran las bondades de la gestión del conocimiento en reducir los riesgos en la transacción de títulos valores, en diferentes firmas comisionistas.

Sin embargo, y a pesar de la importancia que tiene reconocer la influencia de la gestión del conocimiento en la gestión del riesgo; la propuesta de Smallman (1999) no va más allá de proponer utilizar la espiral de conocimiento de Nonaka & Takeuchi (1995) en las empresas, sin un plan claro de cómo implementar ambos procesos (gestión de riesgos y gestión de conocimiento) en la empresa.

Posteriormente, Neef (2005) hace una propuesta de gestión integrada de conocimiento y riesgo, en la que reconoce que gestión del riesgo *es* gestión del conocimiento, considerando que “la clave para una gestión del riesgo proactiva recae sobre la habilidad de la compañía de movilizar el conocimiento y la experticia de sus empleados, de modo que los líderes organizacionales puedan asegurar que reciben información precisa y en tiempos adecuados sobre potenciales incidentes peligrosos”. Para lograr este objetivo, propone implementar un sistema de gestión del conocimiento que cuenta con 8 pasos, a saber:

1. Hacer un *mapa de conocimiento*, en el que se determine “quién sabe que” en la empresa.

2. Permitir la formación de *comunidades de práctica*, las cuales son redes que se forman naturalmente entre empleados con intereses o experiencias similares.
3. Hacer una *marcación de expertos*, proceso por medio del cual se combinará el mapeo del conocimiento con un programa formal de mentores.
4. *Aprender*: Uno de los principios más importante de la gestión del conocimiento es el compartir conocimientos y experiencias entre los empleados, de modo que haya un proceso continuo y dinámico de transmisión de conocimiento.
5. *Fomentar una cultura en la que se promueva compartir el conocimiento*.
6. Establecer una forma de *monitorear, medir y reportar el desempeño* del sistema.
7. Este proceso de gestión del conocimiento no se debe realizar solamente al interior de la organización, sino que también debe *involucrarse a la comunidad y a los accionistas*.
8. *Desarrollar capacidad de investigación y análisis*, de modo que pueda buscar, organizar y distribuir información de fuentes internas y externas a la organización.

Por su parte, Rodriguez & Edwards (2009) presentaron un estudio sobre la potencial aplicación de la gestión del conocimiento a la gestión del riesgo empresarial, en empresas que prestan servicios financieros. El objetivo del estudio era entender el valor del riesgo percibido por la interacción entre personas y el soporte tecnológico, de forma que se involucren múltiples disciplinas, perfiles y grupos de personas con diferentes conocimientos y experiencias. Para este análisis, se plantearon cinco hipótesis, las cuales se evaluaron por medio de encuestas, realizadas a 121 gerentes de riesgo en empresas de servicios financieros. Los resultados de su evaluación se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Resumen de los resultados de la evaluación de las hipótesis propuestas por Rodriguez & Edwards (2009).

HIPÓTESIS	TIPO DE VARIABLE	RESULTADO
La calidad, de la capacidad de red para conectar personas, está positivamente asociada con el valor percibido en la implementación de una estrategia de gestión de riesgo empresarial.	Tecnológica	No soportada
La calidad, percibida de la transmisión del conocimiento de los riesgos, esta positivamente asociada con el valor percibido de la implementación de una estrategia de gestión de riesgo empresarial.	Personas	Soportada
La calidad, percibida en la comunicación entre grupos, está positivamente asociada con el valor percibido de la implementación de una estrategia de gestión de riesgo empresarial.	Personas	Soportada
Los sistemas de información de gestión del riesgo son positivamente asociados con el valor percibido de la implementación de una estrategia de gestión de riesgo empresarial.	Tecnológica	No soportada
La integración, percibida en los sistemas de información, está positivamente asociada con el valor percibido de la implementación de una estrategia de gestión de riesgo empresarial.	Tecnológica	No soportada

A partir de los resultados obtenidos, Rodriguez & Edwards (2009) encontraron que las variables que representan interacción entre personas tienen efecto en la percepción del valor de la implementación de una estrategia de la gestión de riesgo empresarial, mientras que aquellas

variables que representan factores tecnológicos no lo tienen. Es de anotar que, se encontró que la variable más importante es la comunicación entre grupos de personas.

Basado en algunas de las investigaciones previas, antes mencionadas, Massingham (2010) abordó el problema de la incidencia de la gestión del conocimiento en la gestión del riesgo con un nuevo enfoque, llamándolo *Gestión del Riesgo de Conocimiento (GRC)*. El autor argumenta que los investigadores en el tema se han enfocado en la perspectiva de informar a los líderes organizacionales, con el fin de proporcionar una información adecuada a la hora de tomar decisiones. Sin embargo, los investigadores aún no abordan en profundidad los dos principales problemas de la GRC: la incertidumbre ambiental y las restricciones cognitivas.

La primera se debe a la complejidad del ambiente donde se desarrollan las actividades, mientras que las segundas son causadas por la subjetividad en los individuos, la cual se manifiesta de dos maneras: (1) los individuos no perciben el riesgo en la lógica precisa de los árboles de decisión, y (2) la variación de la percepción de la realidad de los individuos.

Massingham (2010) presenta el caso del Royal Australian Navy (RAN), quienes tenían un modelo de gestión del riesgo, así: (1) se identifican los riesgos utilizando el Hazard Risk Index (HRI), estimando la probabilidad y consecuencias de qué un riesgo ocurra a partir de árboles de decisión tradicionales; (2) el riesgo es gestionado por individuos acreditados, conocidos como Autoridades Competentes (CAs), garantizando que las personas que toman decisiones tengan el conocimiento y capacidades necesarias para anticipar y responder al riesgo.

Sin embargo, el alto volumen de decisiones técnicas, hacía difícil para los CAs priorizar riesgos, debido a que el HRI presentaba una aglomeración de resultados, en el que todas las actividades eran calificadas de forma similar; porque, según Massingham (2010), en el método de los árboles de decisión, las personas tienden a correlacionar el riesgo con la percepción y valoración que tengan de su trabajo; es decir, existe un sesgo cognitivo inherente a la percepción de los individuos sobre la importancia del riesgo de la actividad, donde le asignaban mayor riesgo a las actividades centrales realizadas por la organización que las actividades no centrales.

Para corregir dicho sesgo, el autor propone un modelo conceptual que consta de tres pasos: (1) calcular el nivel de riesgo asociado a cada actividad, utilizando el método del árbol de decisión; (2) calcular el nivel de riesgo asociado al conocimiento necesario para manejar los factores de riesgo por cada actividad y (3) priorizar los riesgos por cada acción, considerando los resultados del paso uno y del paso dos, en forma separada y luego de forma combinada.

El modelo presentado propone mejorar el método de los árboles de decisión, atendiendo las restricciones cognitivas del mismo. Esta mejora se basa en el uso de tres constructos de la gestión de conocimiento, a saber: características individuales, de conocimiento y organizacionales.

Las primeras características se enfocaron en atender el riesgo de reclutamiento y un entrenamiento ineficiente. Las segundas, en reducir las barreras para transferir conocimiento

dentro de la organización (tácito y explícito). Las últimas, en atender la capacidad de absorción, la cual consiste en la capacidad para valorar, asimilar y aplicar el nuevo conocimiento.

Finalmente, Massingham (2010) concluye que la inclusión de los constructos de gestión del conocimiento ofrecen una visión más profunda de la real naturaleza del riesgo organizacional, ayudando a tener una verdadera diferenciación entre los factores de riesgo, al tiempo que permite un diálogo social entre expertos, aislado de los sesgos cognitivos de los eventos de riesgo en sí mismo, al introducir una valoración más objetiva y amplia de todos los riesgos organizacionales.

Considerando otro problema práctico, como es la pérdida de conocimiento debido a la pérdida de personal en organizaciones basadas en proyectos, Jafari et al. (2011) presentaron un modelo que muestra cuales serían las amenazas de perder el conocimiento crítico de empleados que están a punto de retirarse, cambiarse o irse de la organización. Dicho modelo de gestión del conocimiento está basado en un enfoque de evaluación de riesgos. Adicionalmente, los autores propusieron fórmulas para gestionar el conocimiento de dichos empleados, y reducir el riesgo de perder su conocimiento.

El modelo presentado está basado en el marco operativo de reducción de conocimiento propuesto por el Tennessee Valley Authority (TVA, 2008), en el modelo de gestión de conocimiento propuesto por el Instituto Fraunhofer IPK (Mertins, Heisig, & Vorbeck, 2003) y en el modelo para gestión de riesgos del PMI en su cuarta edición (PMI, 2008). El modelo integrado está dividido en seis pasos o etapas, tal y como se puede ver en la Figura 2.

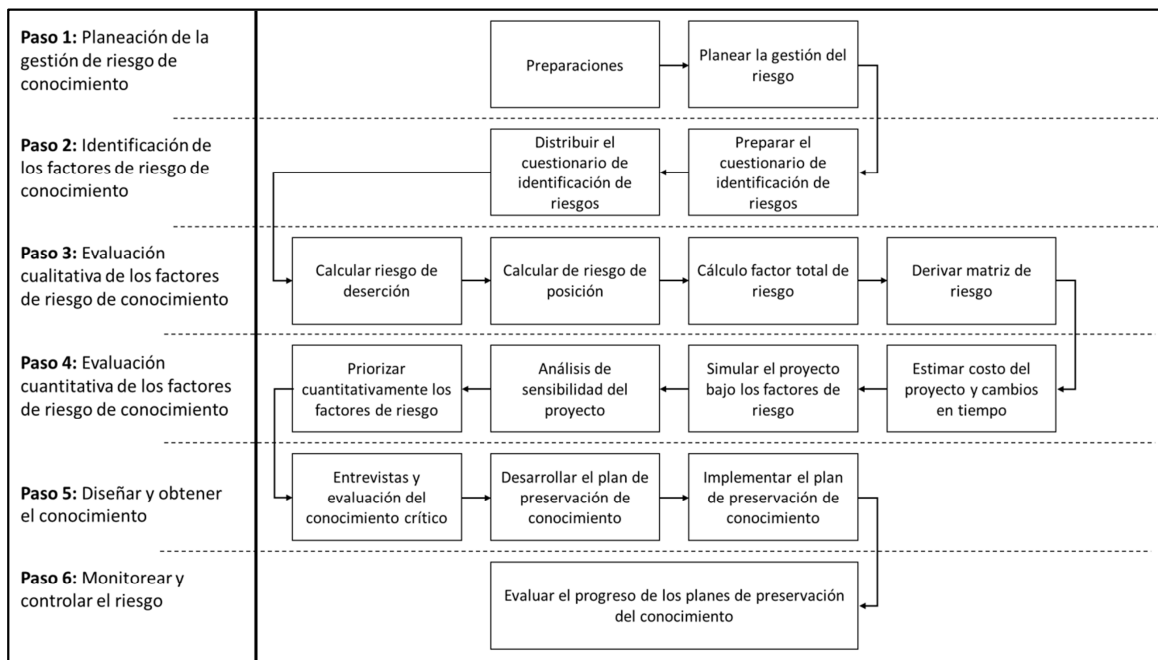


Figura 2: Modelo Integrado de gestión de conocimiento y gestión del riesgo (Jafari et al., 2011).

El modelo propuesto fue aplicado en una agencia federal iraní de Investigación y Desarrollo. Los resultados mostraron una mejora en la preservación del conocimiento, al identificar y gestionar el conocimiento del personal crítico. Se observó que un año después de implementar el modelo, el número de posiciones en condición crítica de pérdida de conocimiento decreció en un 88%.

Es importante anotar que Jafari et al. (2011) estudiaron la aplicabilidad del modelo presentado por Massingham (2010), y encontraron que dicho modelo tan sólo es aplicable a organizaciones basadas en procesos y no en proyectos, además que no considera el análisis de riesgo cuantitativo por pérdida de conocimiento.

5. GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA GESTIÓN DEL RIESGO EN GEOTECNIA

En la presente sección, inicialmente se identifica el tipo de proceso en el cual se enmarca la geotecnia: artístico o científico; con el fin de determinar la influencia que pueden tener los procesos de gestión de conocimiento en la geotecnia y, en particular, en la gestión del riesgo. Posteriormente, se revisan los hallazgos de diversos autores con respecto a la influencia que tienen los factores humanos, organizacionales y de conocimiento en la geotecnia, a lo largo de 7 décadas y, finalmente, se sugieren los elementos a considerar para elaborar una propuesta de un enfoque multimodelo para la gestión de riesgos en geotecnia

5.1 Ingeniería geotécnica: ¿arte o ciencia?

Antes de identificar la influencia que puede tener la gestión de conocimiento en la gestión del riesgo en la geotecnia, es importante identificar, de forma general, el proceso que se debe adelantar en cada proyecto geotécnico. Santamarina & Turkstra (1989) definieron el proceso que se realiza en cualquier proyecto de ingeniería de cimentaciones (una subespecialidad de la geotecnia), el cual puede ser generalizado a las diferentes áreas de la geotecnia. Dicho proceso se puede subdividir en los siguientes cinco pasos:

- Investigación de campo y laboratorio
- Selección y diseño del tipo de estructura
- Construcción y reparación de las instalaciones
- Monitoreo del desempeño
- Análisis de fallas

De acuerdo con Santamarina & Turkstra (1989):

La ingeniería de cimentaciones es aún un arte, a pesar del extenso cuerpo de material científico disponible. Se encuentra en la interface entre la incierta geología conocida y una estructura que se construirá. Los ingenieros de

cimentaciones deben confiar en su experiencia e interactuar no sólo con propietarios, sino también con diseñadores y contratistas. Deben ser conscientes de las estructuras vecinas y las restricciones ambientales, así como de nuevas teorías, materiales y procedimientos constructivos. Estas condiciones caracterizan situaciones donde los factores humanos frecuentemente juegan un papel decisivo.

Scarborough (2011) considera que la ingeniería geotécnica tiene tanto de arte como de ciencia. La considera ciencia, porque aplica principios racionales para resolver problemas prácticos en los que se trabaja sobre materiales térricos o con ellos; pero también, la clasifica como arte, porque considera que la ingeniería geotécnica es la figura creada por la fusión entre lo conocido y lo desconocido.

Hall & Johnson (2009) presentaron una metodología para identificar entre procesos científicos y procesos artísticos en cualquier industria, además de una metodología para administrar procesos artísticos. De acuerdo con los autores, lo que se conoce como arte es “trabajo basado en criterio”, “trabajo artesanal” o “trabajo profesional”, en el que el factor común es la variabilidad en el proceso, sus entradas y sus salidas. Para los autores, un proceso artístico se hace necesario cuando se tiene: (1) un ambiente cambiante y (2) cuando los clientes valoran un producto de salida distintivo o único. Si ambas condiciones no se encuentran presentes, la solución no es un proceso artístico, sino un proceso científico de producción en masa o de personalización masiva.

Revisando el proceso de diseño y construcción en proyectos que involucran ingeniería geotécnica, a la luz de la propuesta de Hall & Johnson (2009), se encuentra lo siguiente:

1. *Ambiente cambiante*: Los procesos geológicos de formación de rocas y suelos generan una gran variabilidad y ambientes geotécnicos particulares en cada proyecto.
2. *Valoración de un producto distintivo o único*: El diseño y la construcción de cada estructura geotécnica se realiza bajo condiciones particulares al sitio, al presupuesto, con condiciones climáticas e hidrológicas variables, lo que hace que cada producto sea único y así valorado por los constructores y propietarios de las estructuras.

A partir del análisis anterior, se pueden clasificar los procesos de diseño y construcción en la ingeniería geotécnica como procesos artísticos, en los cuales se debe utilizar una metodología de administración diferente a la del proceso científico enfocado en estandarización. Hall & Johnson (2009) proponen un método de tres pasos para administrar dichos procesos, el cual no se discutirá en detalle en este trabajo.

Dentro de la metodología propuesta, Hall & Johnson (2009) argumentan que sin importar la industria, se debe construir un programa de entrenamiento efectivo, en el que más allá de dominar las habilidades necesarias, el artista debe desarrollar un fuerte entendimiento de las necesidades del cliente, el criterio necesario para actuar sin información perfecta, y la habilidad y disposición para aprender de los resultados positivos y adversos. Los autores mencionan que algunos de los

métodos de entrenamiento más utilizados por las compañías son: relación maestro-aprendiz, narrar historias de éxito, y pasar largos períodos con el cliente aprendiendo sus necesidades. Estos métodos de entrenamiento son los mismos que describe Nonaka (1991), los cuales han utilizado de forma exitosa, diferentes compañías japonesas para convertir conocimiento tácito en conocimiento explícito; el cual es diseminado con los demás empleados de la compañía para ser interiorizado como conocimiento tácito, generando así la espiral de conocimiento.

5.2 Influencia de la gestión de conocimiento en la gestión del riesgo en geotecnia

Santamarina & Turkstra (1989) presentaron un estudio de los diferentes factores humanos que afectan los cinco pasos a seguir en un proyecto de ingeniería de cimentaciones, descritos en el numeral anterior. Dichos factores fueron:

- ✓ Sesgos y limitaciones en la toma de decisiones
- ✓ Comunicaciones entre individuos, dentro de la organización y entre organizaciones
- ✓ Toma de decisiones grupales
- ✓ Comunicación sub-formal: Decisiones de campo

En su estudio, Santamarina & Turkstra (1989) revisaron los avances del momento, en áreas del conocimiento no-ingenieriles (psicología cognitiva, teoría organizacional, entre otras), y luego estudiaron el efecto de los factores humanos en casos historia seleccionados. De este estudio, la mayoría de las conclusiones y sugerencias para limitar el efecto de los factores humanos en el diseño y construcción siguen siendo válidas 26 años después, algunas de las más importantes son:

- ✓ Mejorar el entrenamiento de personal clave, utilizando el estudio de casos historia para sensibilizar a los individuos con el fenómeno estudiado.
- ✓ Renovar el interés por mejorar los procesos de educación en ingeniería.
- ✓ Tener presente que: conciencia, responsabilidad, reducción de burocracia e intereses comunes son esenciales para una comunicación efectiva.

Por su parte, Sowers (1993) presentó el estudio de 500 casos de fallas en obras de ingeniería civil, principalmente debidas a condiciones geotécnicas, en el curso de 50 años. En este estudio, el autor considera que existen tres tipos de incertidumbres:

- ✓ Ausencia de la tecnología apropiada
- ✓ Ignorancia de las prácticas actuales
- ✓ Rechazo de la tecnología actual

La incertidumbre por ausencia de la tecnología apropiada es un concepto que comprende la ausencia de datos. Sin embargo, en esta categoría, Sowers (1993) sólo consideró ausencia de datos debido a que la tecnología del momento no era adecuada para obtenerla, y no aquellos casos en que se tomó la decisión que dicha información no era necesaria o era muy costosa para ser obtenida. Estos últimos casos se ubican en la categoría de ignorancia o rechazo, respectivamente.

La incertidumbre por ignorancia de las prácticas actuales se debe a decisiones erróneas, tomadas por personas que no tienen el conocimiento adecuado para tomar la decisión. Esto se puede deber a dos razones: (1) se da por la profundidad de conocimiento (se carece del conocimiento especializado en la situación), (2) la falla se presenta, porque la decisión involucra un conocimiento multidisciplinario del que carece el profesional.

La incertidumbre por rechazo de la tecnología actual se aplica en situaciones en las cuales el ingeniero entiende la tecnología actual, pero falla al aplicar ese conocimiento a la situación que generó la falla. Sowers (1993) argumenta que existen tres razones para esto: (1) una comunicación defectuosa, (2) por falta de coordinación y (3) por sobre-respuesta a las presiones (comunicación maliciosa). Sin embargo, aclara el autor que el diagnóstico de éstas es altamente subjetivo, pero que este tipo de fallas son más de la mitad de todas las fallas estudiadas, y que adicionalmente, se encuentran como trasfondo en las fallas que involucran ausencia de la tecnología o ignorancia de las prácticas actuales.

De los 500 casos de falla, estudiados por Sowers (1993), el autor concluyó que el 12% de los casos se deben a la incertidumbre por ausencia de tecnología, el 33% de los casos a incertidumbre por ignorancia de las prácticas actuales y el 55% por rechazo de la tecnología actual. De esto, se observa que el 88% de las fallas se deben a errores humanos, ya sea por no entender la tecnología del momento o no utilizarla, cuando se comprende.

De otro lado, Bea (2006) y Hamedifar et al (2014) realizaron un estudio de largo plazo, entre 1988 y 2005, de más de 600 fallas y accidentes en sistemas en ingeniería civil, y lograron identificar que en un proyecto geotécnico, los riesgos que se pueden presentar provienen de cuatro tipos de incertidumbres:

Tipo I – Incertidumbre inherente o natural: es aleatoria, y se encuentra primordialmente asociada a la complejidad del suelo como material de ingeniería. El suelo se forma por una combinación de procesos geológicos, ambientales, físicos y químicos. Muchos de estos procesos aún continúan modificando el suelo in situ. Debido a estos procesos naturales, todas las propiedades del suelo varían espacialmente, tanto de forma vertical como horizontal (Phoon & Kulhawy, 1999a, 1999b).

Tipo II – Incertidumbre en el modelo: es epistémica, y se encuentra asociada con limitaciones en los modelos analíticos; por ejemplo, utilizar un modelo bidimensional para evaluar un desempeño tridimensional (Hamedifar et al., 2014). La incertidumbre del modelo es difícil de estimar, pero se puede evaluar comparando con la literatura, con modelos determinísticos relevantes, con la opinión de expertos, y si existen, con casos historia (Lacasse & Nadim, 1998).

Tipo III – Desempeño humano y organizacional: son incertidumbres que según Bea (2006) se encuentran asociadas, principalmente, a fallos en la comunicación dentro de la organización y con otras organizaciones, fallas de interface (administrativo-operacional), errores culturales (reducción de costos excesiva, tercerización y presiones de producción), planeamiento y

preparaciones irreales, y violación a normativas o a prácticas aceptadas (intencionales y no intencionales).

Tipo IV – Desarrollo y utilización del conocimiento: es una incertidumbre relacionada con el acceso y el desarrollo de conocimiento. De acuerdo con Bea (2006) y van Staveren (2006), este tipo de incertidumbre tiene dos categorías, *desconocidos cognoscibles* y *desconocidos incognoscibles*. En la primera categoría la información existe pero es ignorada, no utilizada, no accedida o usada de forma incorrecta; mientras que en la segunda no se es consciente respecto a lo que se desconoce, es decir se está en el límite de lo conocable.

Distincuir y evaluar entre estas cuatro categorías de incertidumbre sin ambigüedades, no es posible; sin embargo, los autores desarrollaron estas clasificaciones como un esfuerzo para entender y administrar mejor la incertidumbre. La definición de estas categorías no se realizó con una base filosófica, sino puramente heurística (Bea, 2006).

Luego de revisar las 600 fallas y accidentes, Bea (2006) concluyó que, éstos mostraron claramente que los factores causantes de las fallas en la mayoría de los casos (80% o más) involucraron incertidumbres humanas, organizacionales o de conocimiento; mientras que el 20% restante de los factores causantes involucran incertidumbres naturales o de modelo.

Es interesante observar que entre Sowers (1993) y Bea (2006), estudiaron 1100 casos de falla en un período de aproximadamente 70 años; el primero entre mediados de los años 40 y mediados de los años 90 y el segundo entre 1988 y 2005. De ambos estudios se puede concluir que, a pesar de los grandes avances de las 7 décadas revisadas, en teorías y metodologías de diseño, en software y hardware, en maquinaria de exploración y construcción; entre el 80% y el 88% de los casos, las fallas se presentaron por factores humanos, de comunicación, organizacionales o de conocimiento.

Parte del problema lo explica Clayton (2001b) a partir de la forma en que se educa a los ingenieros civiles en el área de la geotecnia, ya que el proceso de enseñanza de la práctica de la geotecnia es casi igual al que propuso Terzaghi, a mediados de los años 30 (Terzaghi, 1936); hace ya 80 años.

Una forma de mejorar los procesos educativos en ingeniería fue sugerida por Santamarina & Turkstra (1989), basándose en las prácticas de profesiones como la medicina o el derecho, en las cuales se ha observado que el estudio de un gran número de casos es uno de los enfoques más eficientes para desarrollar experiencia.

Con un enfoque desde la gerencia de proyectos, van Staveren (2006) presentó un modelo de gestión de riesgos en geotecnia, llamado GeoQ, basado en tres pilares fundamentales: personas o factor humano, aspecto técnico-organizacional o de proceso, y experiencia en geotecnia y construcción. El autor ha continuado desarrollando el modelo durante la última década,

llevándolo tanto a la práctica como a las universidades (Van Staveren et al., 2013; van Staveren & van der Meer, 2007; van Staveren, 2006, 2007, 2009).

Adicionalmente, van Staveren (2009) presentó los resultados de una investigación de la literatura, de campo y entrevistas con siete expertos a nivel mundial, en la que se identificaron siete barreras para la implementación de un modelo de gestión de riesgos en geotecnia. En la Tabla 7 se presentan dichas barreras y se clasifican tres en diferentes categorías. De forma similar a lo obtenido por Sowers (1993) y Bea (2006), cinco de las siete barreras son debidas a factores humanos (motivación o entrenamiento) mientras que las dos restantes son debidas a herramientas que facilitarían la ejecución de la gestión.

Tabla 7: Barreras clave para aplicar la gestión de riesgos en geotecnia (van Staveren, 2009).

No.	Categoría	Descripción
1	Motivación	Falta de conciencia de la gestión de riesgos en geotecnia
2	Motivación	Falta de beneficios de la gestión de riesgos en geotecnia
3	Motivación	Miedo por la transparencia de los riesgos geotécnicos
4	Motivación	Dificultad para aplicar la gestión de riesgos en geotecnia
5	Entrenamiento	Falta de entendimiento de la gestión de riesgos en geotecnia
6	Herramientas	Falta de métodos, protocolos, software, guías para la gestión de riesgos en geotecnia
7	Herramientas	Falta de puntos de referencia para la gestión de riesgos en geotecnia

5.3 Elementos a considerar para elaborar una propuesta de un enfoque multimodelo para la gestión de riesgos en geotecnia

Partiendo de los cuatro tipos de incertidumbre identificados por Hamedifar et al (2014), a continuación se esbozan las líneas generales de una propuesta para un enfoque multimodelo para realizar la gestión de riesgos en geotecnia, en la cual se consideran los factores humanos, organizacionales y de conocimiento. Dicho enfoque consiste en atacar cada una de las incertidumbres utilizando modelos propuestos por diferentes autores, los cuales normalmente encaran uno o dos tipos de incertidumbres.

Incertidumbres Tipo I – inherente o natural y Tipo II – del modelo: En conjunto, estos dos tipos de incertidumbre han sido las más estudiadas en la ingeniería geotécnica, y el enfoque principal se ha dado en aplicar análisis estadísticos y probabilísticos para evaluar la variación de las propiedades geotécnicas e identificar valores extremos, que son los que usualmente causan las fallas, así como en evaluar las capacidades de los modelos para predecir el comportamiento real de las estructuras geotécnicas.

Este tipo de análisis se conoce como *diseño por confiabilidad*, y su uso ha sido promovido desde mediados de los años 60 (Casagrande, 1965). Sin embargo, el avance en modelos y métodos de cálculo se ha desarrollado de forma importante desde finales de los años 90 (Baecher &

Christian, 2003; Briš, Soares, & Martorell, 2009; Forrest & Orr, 2010; Lacasse & Nadim, 1998; Phoon & Kulhawy, 1999a, 1999b; Phoon, 2008; Prada, Ramos, Solaque, & Caicedo, 2011; Travis, Schmeeckle, & Sebert, 2011a, 2011b; Whitman, 1984).

Incertidumbres Tipo III – Desempeño humano y organizacional y Tipo IV – de conocimiento: Los ingenieros geotecnistas no han trabajado en este tipo de incertidumbres con tanta profundidad como lo han hecho con las incertidumbres tipo I y II, a pesar de que la mayoría de las fallas se presentan debido a factores humanos, tal y como se evidenció en la sección anterior. Sin embargo, sí existen propuestas para evaluar cualitativa y cuantitativamente los efectos que pueden tener los factores humanos en los proyectos.

Una de dichas propuesta es la de van Staveren (2006, 2007, 2009), quien presentó un modelo de gestión de riesgos en geotecnia, con sugerencias para su implementación. En este modelo, el autor identificó tres niveles para implementar la gestión de riesgos interrelacionados entre sí: (1) el nivel disciplinar, (2) el nivel del proyecto, y (3) el nivel organizacional. van Staveren (2009) explica que a nivel de disciplina se tienen los riesgos asociados a la ingeniería geotécnica, y cuando a este nivel ya se aplica la gestión de riesgo de forma rutinaria, se debe pasar a aplicar a nivel de proyecto. Cuando ya se tiene la costumbre de aplicar la gestión de riesgos en cada proyecto, se procede aplicar la gestión de riesgos a nivel organizacional, nivel en el cual la gestión de riesgos se hace al portafolio de proyectos de la firma. De tal forma, la gestión de riesgos en geotecnia debe estar embebida en la gestión de riesgos de cada proyecto, y si es posible, debe estar relacionada con la gestión de riesgos del portafolio de la firma, aunque en este caso, es más una responsabilidad de la gerencia que de los ingenieros geotecnistas.

Similar a las barreras para implementar la gestión de riesgos, van Staveren (2009) presentó las condiciones clave para aplicar dicha gestión. La Tabla 8 muestra las 10 condiciones clave, así como las categorías en que el autor clasificó cada una de ellas. Cabe anotar que 9 de las 10 condiciones claves que se deben tener para implementar la gestión del riesgo en geotecnia, en cualquier empresa, son condiciones que involucran factores humanos (motivación o entrenamiento).

Bea (2006) realizó otra propuesta para evaluar cualitativa y cuantitativamente el efecto de los cuatro tipos de incertidumbre. Explicar la metodología se encuentra fuera del alcance del presente trabajo; sin embargo, una revisión de las motivaciones del autor es importante para entender qué procesos son los que se pretende atacar.

- ✓ La motivación principal es ofrecer un marco de referencia para examinar cómo los cuatro tipos de incertidumbre afectarán el ciclo de vida de los sistemas ingenieriles. Se desea determinar cómo se pueden emplear mejor los recursos.
- ✓ Pretende detectar errores o fallas críticas potenciales, antes de que ocurran accidentes mayores. La detección y corrección es más importante que realizar cálculos o cumplir metas específicas.

- ✓ No pretende que la metodología se aplique a todos los sistemas de ingeniería, sino a aquellos importantes o críticos en los cuales una falla tendría ramificaciones o implicaciones importantes.
- ✓ Otra motivación es la de encontrar formas efectivas para que las personas responsables de sistemas de ingeniería geotécnica, entiendan cómo alcanzar niveles deseables y aceptables de calidad en dichos sistemas.

Tabla 8: Condiciones clave para aplicar la gestión de riesgos en geotecnia (van Staveren, 2009).

No.	Categoría	Descripción
1	Motivación	Objetivos y metas claros para aplicar la gestión de riesgos en geotecnia
2	Motivación	Conciencia de las consecuencias de los riesgos geotécnicos
3	Motivación	Acuerdos de responsabilidades contractuales para asignar las responsabilidades por los riesgos geotécnicos
4	Motivación	Relación clara entre los riesgos geotécnicos y los riesgos del proyecto
5	Motivación	Involucrar a todos los interesados en aplicar la gestión de riesgos geotécnicos
6	Motivación	Disponibilidad de recursos (dinero y tiempo) para aplicar la gestión de riesgos geotécnicos
7	Entrenamiento	Entendimiento de la gestión de riesgos en geotecnia por parte de los ingenieros geotecnistas
8	Entrenamiento	Entendimiento de la gestión de riesgos en equipos por parte de los profesionales de la geotecnia
9	Entrenamiento	Entendimiento de la gestión de riesgos y la cultura por parte de los directores geotécnicos
10	Herramientas	Ajustar las metodologías de la gestión de riesgos geotécnicos con los objetivos del proyecto

6. CONCLUSIONES

- ✓ En diferentes industrias se han desarrollado modelos integrados de gestión del riesgo con gestión del conocimiento. La integración de ambos conceptos se realiza a partir de integrar los procesos de gestión del conocimiento con los procesos de la gestión del riesgo, de forma que los primeros sirvan para mejorar los segundos.
- ✓ La integración de la gestión del conocimiento con la gestión del riesgo ha mostrado beneficios significativos en términos de priorización de riesgos y de reducción en la pérdida de conocimiento, en las diferentes industrias en las cuales se ha implementado.
- ✓ De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se ha evidenciado que en la geotecnia, la gestión del riesgo se ha hecho de manera reactiva, a partir de la materialización de los riesgos y el análisis de las fallas originadas por éstos.
- ✓ A partir de las fallas estudiadas y la revisión de literatura, se puede decir que la mayoría de fallas que se han presentado en más de 7 décadas, se deben entre un 80% y un 88% a factores humanos, de comunicación, organizacionales o de conocimiento.

- ✓ Existen diferentes tipos de incertidumbres que pueden afectar los proyectos geotécnicos: inherente o natural, en los modelos, factores humanos, organizacionales y de conocimiento.
- ✓ Las incertidumbres que han sido estudiadas, en su mayoría, por los ingenieros geotecnistas son la inherente y la del modelo; a pesar que la mayoría de las fallas se deben a incertidumbres por factores humanos, organizacionales o de conocimiento.
- ✓ En el campo de la geotecnia, se evidenció que, actualmente, no se realiza gestión del conocimiento, y mucho menos, la integración de la gestión del conocimiento con la gestión del riesgo.
- ✓ Los procesos de diseño y construcción en la ingeniería geotécnica se clasifican como procesos artísticos, en los cuales se debe utilizar una metodología de administración diferente a la de procesos enfocados en estandarización. Es por esto que los procesos de entrenamiento y gestión del conocimiento son particularmente importantes para el desarrollo de los profesionales en geotecnia.
- ✓ La forma en que se educa a los ingenieros civiles en el área de la geotecnia, en la actualidad, es casi igual a la que propuso Terzaghi a mediados de los años 30, hace ya 80 años, por lo que se requiere un cambio radical en la forma de enseñanza.
- ✓ Varios autores han sugerido que el estudio de casos durante los procesos de formación universitaria y actualización en empresas, mejoraría considerablemente el desarrollo de experiencia y pericia en los ingenieros geotecnistas.
- ✓ Existen diferentes modelos para mitigar los efectos de cada una de las incertidumbres, los cuales pueden ser utilizados en varias combinaciones, de modo que se genere un enfoque multimodelo para realizar la gestión de riesgos geotécnicos en proyectos.
- ✓ El uso de los procesos de gestión de conocimiento, integrados con la gestión de riesgos en geotecnia, tiene el potencial de mejorar, no sólo los procesos de entrenamiento y creación de conocimiento al interior de las empresas; sino también de monitorear, controlar y reducir los riesgos asociados a los diferentes tipos de incertidumbres en la ingeniería geotécnica.

7. OPORTUNIDADES DE INVESTIGACIÓN

- ✓ Investigar cómo las empresas del sector de la geotecnia y la construcción, en Colombia, realizan los procesos de gestión del riesgo y gestión del conocimiento.

- ✓ Desarrollar el diseño definitivo del enfoque multimodelo, a partir de la selección de los modelos utilizar, para cada tipo de incertidumbre.
- ✓ Realizar pruebas de campo, al modelo desarrollado, en diferentes empresas; y evaluar la aplicación de estos modelos al mercado colombiano.
- ✓ Estudiar el caso opuesto al presentado en este trabajo, es decir, cómo se puede utilizar la gestión del riesgo para mitigar la pérdida de conocimiento en la geotecnia.
- ✓ Desarrollar investigaciones en cuanto a nuevos modelos educativos y curriculares para el aprendizaje de la geotecnia, en universidades y empresas.

8. REFERENCIAS

- Alavi, M., & Leidner, D. E. (2001). Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues. *MIS Quarterly*, 25(1), 107–136. doi:10.2307/3250961
- Alwis, R. S., & Hartmann, E. (2008). The use of tacit knowledge within innovative companies: knowledge management in innovative enterprises. *Journal of Knowledge Management*, 12(1), 133–147. doi:10.1108/13673270810852449
- Aristizábal, E., & Vargas, R. (2008). Diagnóstico y propuesta para una gestión integral del riesgo en el valle de aburra: Red Riesgos. *Gestión y Ambiente*, 11(2), 107–122.
- Awad, E. M., & Ghaziri, H. M. (2004). *Knowledge management* (p. 456). New Jersey: Pearson Education.
- Baecher, G. B., & Christian, J. T. (2003). *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Baloi, D., & Price, A. D. F. (2003). Modelling global risk factors affecting construction cost performance. *International Journal of Project Management*, 21(4), 261–269. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00017-0
- Bea, R. (2006). Reliability and Human Factors in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(5), 631–643. doi:http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:5(631)
- Briš, R., Soares, C. G., & Martorell, S. (Eds.). (2009). Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications. *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference* (p. 2480). CRC Press.

- Carlsson, M. (2005). *Management of geotechnical risks in infrastructure projects: An introductory study (Licentiate-MSc Thesis)*. Royal Institute of Technology, Department of Civil and Architectural Engineering.
- Casagrande, A. (1965). Role of the “Calculated Risk” in Earthwork and Foundation Engineering. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 91(4), 1–40.
- Clayton, C. R. I. (2001a). *Managing geotechnical risk: improving productivity in UK building and construction* (p. 80). Thomas Telford.
- Clayton, C. R. I. (2001b). Managing geotechnical risk: time for change? *Proceedings of the ICE - Geotechnical Engineering*, 149(1), 3–11. doi:10.1680/geng.2001.149.1.3
- Cretu, O., Stewart, R., & Berends, T. (2011). *Risk management for design and construction*. John Wiley & Sons.
- Cronin, P., Ryan, F., & Coughlan, M. (2008). Undertaking a literature review: a step-by-step approach. *British Journal of Nursing*, 17(1), 38–43.
- Das, B. (2009). *Principles of Geotechnical Engineering: SI Edition* (p. 666). Cengage Learning.
- Davenport, T. H., & Prusak, L. (2000). *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know* (p. 199). Boston: Harvard Business School Press.
- Fell, R., Ho, K. K. S., Lacasse, S., & Leroi, E. (2005). A framework for landslide risk assessment and management. In O. Hungr, R. Fell, R. Couture, & E. Eberhardt (Eds.), *Landslide Risk Management* (pp. 3–25). Leiden.
- Forrest, W. S., & Orr, T. L. L. (2010). Reliability of shallow foundations designed to Eurocode 7. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 4(4), 186–207. doi:10.1080/17499511003646484
- Hall, J. M., & Johnson, M. E. (2009). When Should a Process Be Art, Not Science? *Harvard Business Review*, March, 58–65.
- Hamedifar, H., Bea, R. G., Pestana-Nascimento, J. M., & Roe, E. M. (2014). Role of Probabilistic Methods in Sustainable Geotechnical Slope Stability Analysis. *Procedia Earth and Planetary Science*, 9, 132–142. doi:10.1016/j.proeps.2014.06.009
- Hollman, K. W., & Forrest, J. E. (1991). Risk Management in a Service Business. *International Journal of Service Industry Management*, 2(2), 49–65. doi:10.1108/09564239110144993
- IEC/ISO. (2009). IEC/ISO 31010:2009, Risk management -- Risk assessment techniques. Geneva: International Organization for Standardization.
- IFRC. (2003). *World Disasters Report 2003: Focus on Ethics and Aid* (p. 243). Geneva.

- IFRC. (2013). *World Disasters Report 2013: Focus on technology and the future of humanitarian action* (p. 284). Geneva.
- ISO. (2009a). ISO 31000:2009, Risk management – Principles and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO. (2009b). ISO Guide 73:2009, Risk management -- Vocabulary. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISSMGE. (2004). *Glossary of Risk Assessment Terms*. London, U.K.: Technical Committee on Risk Assessment and Management (TC32) - International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). Retrieved from http://140.112.12.21/issmge/2004Glossary_Draft1.pdf
- ISSMGE. (2012a). Engineering Practice of Risk Assessment & Management Committee (TC304). Retrieved December 6, 2012, from <http://140.112.12.21/issmge/tc304.htm>
- ISSMGE. (2012b). *Glossary of Risk Assessment Terms (Chinese and Spanish)*. London, U.K.: Engineering Practice of Risk Assessment & Management Committee (TC304) - International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). Retrieved from http://140.112.12.21/issmge/2012Glossary_Chinese_Spanish.pdf
- Jafari, M., Rezaeenour, J., Mazdeh, M. M., & Hooshmandi, A. (2011). Development and evaluation of a knowledge risk management model for project-based organizations: A multi-stage study. *Management Decision*, 49(3), 309–329. doi:10.1108/00251741111120725
- Jennex, M. E. (2005). What is Knowledge Management? (M. E. Jennex, Ed.) *International Journal of Knowledge Management*, 1(4), i–iv. Retrieved from [http://www.igi-global.com/Files/Ancillary/IJKM_Preface_1\(4\).pdf](http://www.igi-global.com/Files/Ancillary/IJKM_Preface_1(4).pdf)
- Jennex, M. E. (2007). What is Knowledge Management? In M. E. Jennex (Ed.), *Knowledge Management in Modern Organizations* (pp. 1–9). Hershey: Idea Group Inc.
- Jennex, M. E., & Croasdell, D. (2007). Knowledge Management as a Discipline. *Knowledge Management in Modern Organizations* (pp. 10–17). Hershey: Idea Group Inc.
- Jennex, M. E., & Olfman, L. (2007). Knowledge Management Success Factors and Models. In M. E. Jennex (Ed.), *Knowledge Management in Modern Organizations* (pp. 190–210). Hershey: Idea Group Inc.
- Koenig, M. E. D. (2008). KM is Here to Stay. In T. K. Srikantaiah & M. E. D. Koenig (Eds.), *Knowledge Management in Practice: Connections and Context* (pp. 5–8). New Jersey: Information Today Inc.

- Lacasse, S., & Nadim, F. (1998). Risk and Reliability in Geotechnical Engineering. *Fourth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering* (pp. 1172–1192). St. Louis.
- Lacasse, S., Nadim, F., & Hoeg, K. (2012). Risk Assessment and Mitigation in Geo-Practice. In K. Rollins & D. Zekkos (Eds.), *Geotechnical Engineering State of the Art and Practice: Keynote Lectures from GeoCongress 2012* (pp. 729–764). American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/9780784412138.0026
- Lambeck, R., & Eschemuller, J. (2009). *Urban Construction Project Management*. New York: McGraw-Hill.
- Massingham, P. (2010). Knowledge risk management: a framework. *Journal of Knowledge Management*, 14(3), 464–485. doi:10.1108/13673271011050166
- Méndez Álvarez, C. E. (2012). *Metodología: diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales* (p. 357). México D.F.: Limusa.
- Mertins, K., Heisig, P., & Vorbeck, J. (Eds.). (2003). *Knowledge Management: Concepts and Best Practices* (2nd ed.). New York: Springer.
- Nadim, F. (2009). Risk assessment and management for geohazards. *Geotechnical Risk and Safety* (pp. 13–25). Leiden: CRC Press/Balkema.
- Neef, D. (2005). Managing corporate risk through better knowledge management. *The Learning Organization*, 12(2), 112–124. doi:10.1108/09696470510583502
- Nikiforova, N. S. (2005). Reduction of Geotechnical Risk for Deep Excavations in Urban Settings. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 42(5), 162–171.
- Nissen, M., & Jennex, M. E. (2007). Toward the Multidimensional Conceptualization of Knowledge. In M. E. Jennex (Ed.), *Knowledge Management in Modern Organizations* (pp. 278–284). Hershey: Idea Group Inc.
- Nonaka, I. (1991). The knowledge-creating company. *Harvard Business Review*, 69(6), 96–104.
- Nonaka, I. (1994). A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation. *Organization Science*, 5(1), 14–37. doi:10.2307/2635068
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press.
- 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. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0024-6301(99)00115-6

- Osipova, E., & Eriksson, P. E. (2013). Balancing control and flexibility in joint risk management: Lessons learned from two construction projects. *International Journal of Project Management*, 31(3), 391–399. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.09.007>
- Phoon, K.-K. (Ed.). (2008). *Reliability-Based Design in Geotechnical Engineering: Computations and Applications* (p. 532). Oxon: Taylor & Francis.
- Phoon, K.-K., & Kulhawy, F. H. (1999a). Characterization of geotechnical variability. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(4), 612–624. doi:10.1139/t99-038
- Phoon, K.-K., & Kulhawy, F. H. (1999b). Evaluation of geotechnical property variability. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(4), 625–639. doi:10.1139/t99-039
- PMI. (2000). *A guide to the project management body of knowledge - PMBOK Guide* (2nd ed.). Newtown Square: Project Management Institute.
- PMI. (2008). *A guide to the project management body of knowledge - PMBOK Guide* (4th ed.). Newtown Square: Project Management Institute.
- PMI. (2013). *A guide to the project management body of knowledge - PMBOK Guide* (5th ed.). Newtown Square: Project Management Institute.
- Prada, F., Ramos, A., Solaque, D., & Caicedo, B. (2011). Confiabilidad aplicada al diseño geotécnico de un muro de contención. *Obras y Proyectos*, (9), 49–58.
- PRINCE2. (2009). PRINCE2:2009 – Glossary of Terms (English-Spanish). London: AXELOS Limited.
- Raftery, J. (1994). *Risk analysis in project management* (p. 160). London: Spon Press.
- Rodriguez, E. (2010). *Knowledge management applied to enterprise risk management (PhD Thesis)*. Aston University. Retrieved from <http://eprints.aston.ac.uk/15785/>
- Rodriguez, E., & Edwards, J. S. (2009). Knowledge management and enterprise risk management implementation in financial services. *2009 Enterprise Risk Mnagement Symposium*. Chicago.
- Rodriguez-Lopez, F., Jimenez-Rodriguez, R., & Hruskovic, P. (2006). Geotechnical Risk Management As A Basis For Quality Assurance. In V. POPOV & C. A. Brebbia (Eds.), *Risk Analysis V: Simulation and Hazard Mitigation* (Vol. 91, pp. 79–86). Boston: Wessex Institute of Technology. doi:10.2495/RISK060081
- Santamarina, J. C., & Turkstra, C. J. (1989). Human Factors and Communication Problems in Foundation Engineering. In F. H. Kulhawy (Ed.), *Foundation Engineering: Current Principles and Practices - Geotechnical Special Publication (GSP) No. 22* (pp. 857–868). New York: American Society of Civil Engineers.

- Scarborough, J. A. (2011). Communicating and Managing Risk in Geotechnical Engineering Practice. In C. H. Juang, K. K. Phoon, A. J. Puppala, R. A. Green, & G. A. (Eds.), *GEORISK 2011: Geotechnical Risk Assessment and Management - Geotechnical Special Publication (GSP) No. 224* (pp. 560–567). Reston: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/41183(418)55
- Sejnoha, J., Jaruskova, D., Spackova, O., & Novotna, E. (2009). Risk Quantification for Tunnel Excavation Process. *World Academy of Science, Engineering & Technology*, 3(10), 387–395.
- Serpella, A. F., Ferrada, X., Howard, R., & Rubio, L. (2014). Risk Management in Construction Projects: A Knowledge-based Approach. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 653–662. doi:10.1016/j.sbspro.2014.03.073
- Serradell López, E., & Juan Pérez, Á. A. (2003). La gestión del conocimiento en la nueva economía. Retrieved March 5, 2013, from <http://www.uoc.edu/dt/20133/index.html#bibliografia>
- Silva, F., Lambe, W. T., & Marr, W. A. (2008). Probability and Risk of Slope Failure. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(12), 1691–1699.
- Singh, V. P., Jain, S. K., & Tyagi, A. (2007). *Risk and Reliability Analysis A Handbook for Civil and Environmental Engineers* (p. 796). Reston: ASCE Press.
- Smallman, C. (1999). Knowledge Management as Risk Management: A Need for Open Governance? *Risk Management*, 1(4), 7–20. doi:10.2307/3867864
- Smith, R. E. (2008). An evolving view of geotechnical engineering: A focus on geo-risk management. In K. R. Reddy, M. V. Khire, & A. N. Alshawabkeh (Eds.), *GeoCongress 2008: The Challenge of Sustainability in the Geoenvironment* (pp. 231–238). Reston: ASCE.
- Sowers, G. (1993). Human Factors in Civil and Geotechnical Engineering Failures. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119(2), 238–256. doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1993)119:2(238)
- Terzaghi, K. (1936). Relation between soil mechanics and foundation engineering. *Proceedings of the 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (pp. 13–18). Harvard.
- Tiwana, A. (2002). *The Knowledge Management Toolkit: orchestrating IT, Strategy, and knowledge platforms* (2nd ed., p. 383). New York: Prentice Hall.
- Travis, Q. B., Schmeckle, M. W., & Sebert, D. M. (2011a). Meta-Analysis of 301 Slope Failure Calculations. I: Database Description. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(5), 453–470. doi:http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000461

- Travis, Q. B., Schmeeckle, M. W., & Sebert, D. M. (2011b). Meta-Analysis of 301 Slope Failure Calculations. II: Database Analysis. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(5), 471–482. doi:[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000463](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000463)
- TVA. (2008). Knowledge Retention: Preventing Knowledge From Walking Out the Door. Knoxville: Tennessee Valley Authority. Retrieved from <http://www.tva.gov/knowledgeretention/pdf/overview.pdf>
- Van Staveren, M. T. (2006). *Uncertainty and Ground Conditions: A Risk Management Approach* (p. 321). Oxford: Elsevier.
- Van Staveren, M. T. (2007). Extending to Geotechnical Risk Management. *First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk*. Shanghai, China: Tongji University.
- Van Staveren, M. T. (2009). Suggestions for implementing geotechnical risk management. In Y. Honjo, M. Suzuki, T. Hara, & F. Zhang (Eds.), *Geotechnical Risk and Safety*. London: Taylor & Francis.
- Van Staveren, M. T., Litjens, P. P. T., & Cools, P. M. C. B. M. (2013). Embedding Geo Risk Management. The Geo-Impuls Approach. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (pp. 1847–1850). Paris, France.
- Van Staveren, M. T., & Van der Meer, M. T. (2007). Educating Geotechnical Risk Management. *First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk* (pp. 811–822). Shanghai, China.
- Von Krogh, G., Ichijo, K., & Nonaka, I. (2000). *Enabling Knowledge Creation: How to unlock the mystery of tacit knowledge and release the power of innovation* (p. 292). New York: Oxford University Press.
- Wang, S. Q., Dulaimi, M. F., & Aguria, M. Y. (2004). Risk management framework for construction projects in developing countries. *Construction Management and Economics*, 22(3), 237–252. doi:10.1080/0144619032000124689
- Whitman, R. V. (1984). Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical Engineering*, 110(2), 143–188.
- WSDOT. (2010). Project Risk Management Guidance for WSDOT Projects. Olympia: Washington State Department of Transportation.
- Yoe, C. (2012). *Primer on risk analysis: decision making under uncertainty*. Boca Raton: CRC Press.