Transformación Digital y Conocimiento /julio-diciembre 2026/ Vol. 4, - No. 2
Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

Protocolo de validación para integrar parámetros geotécnicos de laboratorio en modelos bim aplicado al diseño de cimentaciones en Santo Domingo de los Tsáchilas

Validation Protocol for Integrating Geotechnical Laboratory Parameters into BIM Models for Foundation Design in Santo Domingo de los Tsáchilas

RESUMEN

El sector de la construcción en Santo Domingo de los Tsáchilas enfrenta un problema técnico recurrente y costoso: la transferencia manual de parámetros de laboratorio geotécnico a modelos BIM (Building Information Modeling) genera errores de interpretación y desconexiones con la norma NEC-SE-GC. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar y validar un protocolo de integración BIM-geotecnia aplicado al diseño de cimentaciones, con metas de reducción de al menos el 30 % en el tiempo de validación y del 50 % en los errores de interpretación. Se aplicó un enfoque de métodos mixtos con diseño cuasiexperimental pre-post y grupos de comparación no equivalentes en cuatro empresas constructoras medianas de la provincia, con seis proyectos piloto y doce profesionales participantes. El protocolo integró una plantilla maestra de Excel parametrizada, quince familias de Revit y siete rutinas de validación de Dynamo 2.17, auditadas mediante una matriz de cuarenta y seis parámetros. Los resultados mostraron reducciones sustanciales: el tiempo total del ciclo de validación disminuyó de 280 a 113 minutos (−59,6 %; r = 0,65) y los errores de interpretación bajaron de 11,3 a 2,1 por proyecto (−81,4 %; r = 0,65). La precisión global de la transferencia de datos aumentó del 67,4 % al 94,8 %, los ciclos de iteración interdisciplinaria disminuyeron de 6,7 a 2,3 (−65,7 %) y la usabilidad SUS alcanzó 84,7 puntos. Se concluye que el protocolo aporta evidencia preliminar de mejora en la trazabilidad y la eficiencia de la transferencia geotécnica; por su carácter piloto (seis proyectos, cuatro observaciones por grupo) y su concentración territorial, su transferibilidad deberá comprobarse en muestras más amplias.

PALABRAS CLAVE: BIM, geotecnia, cimentaciones, NEC-SE-GC, validación, Dynamo.

ABSTRACT

The construction sector in Santo Domingo de los Tsáchilas faces a recurring and costly technical problem: the manual transfer of geotechnical laboratory parameters into Building Information Modeling (BIM) models generates interpretation errors and inconsistencies with the NEC-SE-GC standard. This study aimed to develop and validate a BIM-geotechnical integration protocol for foundation design, targeting at least a 30 % reduction in validation time and a 50 % reduction in interpretation errors. A mixed-methods approach with a quasi-experimental pre-post design and non-equivalent comparison groups was applied in four medium-sized construction firms in the province, covering six pilot projects and twelve participating professionals. The protocol integrated one parameterized master Excel workbook, fifteen Revit families and seven Dynamo 2.17 validation routines, audited through a forty-six-parameter verification matrix. Results showed substantial reductions: total validation cycle time decreased from 280 to 113 minutes (−59.6 %; r = 0.65) and interpretation errors dropped from 11.3 to 2.1 per project (−81.4 %; r = 0.65). Overall data-transfer accuracy rose from 67.4 % to 94.8 %, interdisciplinary iteration cycles fell from 6.7 to 2.3 (−65.7 %), and SUS usability reached 84.7 points. It is concluded that the protocol provides preliminary evidence of improved traceability and efficiency in geotechnical data transfer; given its pilot nature (six projects, four observations per group) and territorial concentration, its transferability must be confirmed in larger samples.

KEYWORDS: BIM, geotechnics, foundations, NEC-SE-GC, validation, Dynamo.

TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y CONOCIMIENTO

Recepción: *20/09/2026*
Aceptación: *22/09/2026*
Publicación: *31/12/2026*

AUTOR/ES

Flores-Flores Libni Salomón
Narváez-Chamorro Luis Sebastián
Arroyo-Orozco Jorge José
Maliza-Cruz Wellington Isaac

lsfloresf@ube.edu.ec / lflores997@pucesd.edu.ec
lsnarvaezc_a@ube.edu.ec / lsnarvaezc@pucesd.edu.ec
jjarroyoo@ube.edu.ec/ jorge.arroyoo@ug.edu.ec
wimalizac@ube.edu.ec

Universidad Bolivariana del Ecuador/ Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Santo Domingo
Universidad Bolivariana del Ecuador/ Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Santo Domingo.
Universidad Bolivariana del Ecuador/ Universidad de Guayaquil
Universidad Bolivariana del Ecuador

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador
Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador
Guayaquil – Ecuador
Guayaquil – Ecuador

CITACIÓN:
Flores, L., Narváez, L., Arroyo, J. & Maliza, W. (2026). Protocolo de validación para integrar parámetros geotécnicos de laboratorio en modelos bim aplicado al diseño de cimentaciones en Santo Domingo de los Tsáchilas.

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

Revista InnovaSciT. *4 (2,). p. 1140 – 1159.*

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción atraviesa una transformación digital impulsada por la adopción de BIM (Building Information Modeling), cuyo mercado global alcanzaría los USD 15 060 millones en 2028, con una tasa de crecimiento anual del 13,7 % (Markets and Markets, 2023). BIM se define como un proceso inteligente basado en modelos 3D que permite planificar, diseñar, construir y gestionar edificaciones de manera eficiente (Autodesk, 2023). Sin embargo, la integración de parámetros geotécnicos en estos modelos sigue siendo uno de los desafíos técnicos más persistentes: Satyanaga et al. (2023) identifican que el 37 % de los fallos en proyectos de infraestructura se originan en la inadecuada transferencia de información geotécnica durante el diseño. La capacidad paramétrica de BIM permite vincular los resultados de los ensayos de laboratorio directamente a las familias de cimentación del modelo, creando trazabilidad completa desde el suelo hasta la estructura, según describen Satyanaga et al. (2023), pero enfrenta desafíos derivados de la naturaleza heterogénea de los datos del subsuelo, como la alta variabilidad espacial, la dependencia del método de ensayo y la necesidad de interpretación profesional. Herramientas como Dynamo para Revit permiten crear flujos de trabajo paramétricos que verifican automáticamente la compatibilidad entre datos geotécnicos y cargas estructurales (Wu et al., 2021).

En el Ecuador, experiencias previas han evidenciado la aplicabilidad de BIM para integrar el modelado tridimensional con la planificación, los costos y la coordinación interdisciplinaria de proyectos de edificación. Arroyo-Orozco et al. (2024), en el estudio del edificio de posgrado de la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), desarrollaron el modelo del proyecto mediante Revit y vincularon la información de planificación y costos con Navisworks, consolidando diferentes disciplinas dentro de un entorno BIM integrado. Esta experiencia demuestra la capacidad de BIM para centralizar y relacionar información técnica durante la planificación del proyecto; sin embargo, su alcance se concentró en la integración del modelo constructivo, temporal y económico, sin abordar específicamente la incorporación, trazabilidad y validación normativa de parámetros geotécnicos de laboratorio. Esta limitación evidencia la necesidad de extender la metodología BIM hacia procesos especializados de integración suelo–cimentación.

En el ámbito ecuatoriano, esta brecha se agrava por factores normativos y económicos. La construcción representa el 8,17 % del PIB nacional y emplea directamente a más de 500 000 personas (Banco Central del Ecuador, 2023); no obstante, el 40 % de los sobrecostos en proyectos nacionales se atribuye a problemas geotécnicos no previstos en el diseño, cifra que supera en 15 puntos el promedio regional latinoamericano (Cámara de la Industria de la Construcción, 2023). La Norma Ecuatoriana de la Construcción para Suelos y Cimentaciones

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

(NEC-SE-GC) establece requisitos rigurosos de caracterización geotécnica, pero solo el 5 % de las empresas con acceso a BIM ha logrado integrar efectivamente estos datos en sus modelos (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). La condición sísmica del país añade urgencia: su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico exige protocolos de validación más rigurosos que los métodos manuales.

La NEC-SE-GC define los requisitos de caracterización geotécnica que, junto con los requisitos sísmicos de la NEC-SE-DS, permitieron a los autores estructurar una matriz de verificación de cuarenta y seis parámetros organizados en tres niveles de criticidad; los parámetros críticos —capacidad portante admisible, ángulo de fricción, cohesión, nivel freático, clasificación sísmica y factores de sitio Fa, Fd y Fs— concentran el mayor peso en la evaluación de conformidad, y su verificación se contrastó contra los valores del informe geotécnico certificado con una tolerancia operativa del ±2 %, criterio adoptado por los autores para la auditoría de transferencia y no un valor explícito de la norma (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). La capacidad paramétrica de BIM, combinada con la programación visual de Dynamo, ofrece una vía para automatizar esa verificación; sin embargo, su adopción efectiva en empresas medianas sigue siendo escasa, en parte por barreras de capacitación y resistencia al cambio documentadas en el sector (El Hajj et al., 2023).

Santo Domingo de los Tsáchilas concentra estas tensiones en un escenario crítico. Con una población superior a 450 000 habitantes y una tasa de crecimiento urbano del 3,2 % anual (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022), la provincia registró entre 2019 y 2023 más de 4 200 permisos de construcción, con un incremento del 28 % en proyectos de más de tres plantas (GAD Municipal de Santo Domingo, 2023). Sus suelos, de origen volcánico y alta variabilidad espacial —arcillas expansivas, arenas limosas con finos plásticos y depósitos aluviales del río Toachi— exigen una caracterización rigurosa (Instituto Geográfico Militar, 2020). El diagnóstico previo en cuatro empresas constructoras medianas reveló un patrón sistemático: los informes geotécnicos se reciben en PDF, se transcriben manualmente a hojas de cálculo no estandarizadas y se ingresan al modelo BIM sin verificación automática de compatibilidad con la NEC-SE-GC. El resultado es una cascada de ineficiencias: datos transcritos entre tres y cinco veces, 30 % de parámetros secundarios omitidos, 45 % de modelos que no reflejaban adecuadamente los requisitos normativos y 6,8 ciclos promedio de revisión interdisciplinaria. En suelos expansivos, la omisión de parámetros críticos puede derivar en subdiseños o asentamientos diferenciales no previstos (Instituto Geográfico Militar, 2020).

En el plano internacional, Wu et al. (2021) desarrollaron un esquema de integración e intercambio de información geotécnica basado en IFC, orientado a superar la fragmentación de los datos del subsuelo en entornos BIM. El Sibaii et al. (2022) propusieron plantillas de datos de producto (PDT) y rutinas de programación visual para incorporar los resultados de las investigaciones geotécnicas al modelo BIM y garantizar su exportación en IFC. La adopción

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

de estas metodologías requiere, además, una gestión del cambio en las organizaciones del sector AEC (Architecture, Engineering and Construction); El Hajj et al. (2023) identificaron, en el contexto de países en desarrollo, que las principales barreras de adopción del BIM son la falta de conocimiento y concienciación, el costo de inversión, la escasez de especialistas y los problemas de interoperabilidad. Ninguno de estos estudios aborda la NEC-SE-GC ni las condiciones geotécnicas de las provincias ecuatorianas con suelos volcánicos y riesgo sísmico moderado-alto, lo que justifica la originalidad de esta investigación.

La pregunta central que guía este estudio es: ¿de qué manera puede desarrollarse y validarse un protocolo estandarizado que integre eficientemente parámetros geotécnicos de laboratorio en modelos BIM para el diseño de cimentaciones, reduciendo tiempos de procesamiento y errores de interpretación, cumpliendo con la NEC-SE-GC y resultando factible para empresas con recursos tecnológicos limitados? El objetivo general fue desarrollar y validar dicho protocolo, con metas cuantificables de reducción mínima del 30 % en los tiempos de validación y del 50 % en los errores de interpretación.

Con base en el objetivo de la investigación, se formularon las siguientes hipótesis operativas de carácter direccional: H1: la implementación del protocolo BIM-geotecnia reduce al menos un 30 % el tiempo total del ciclo de validación respecto de la línea base. H2: la implementación del protocolo reduce al menos un 50 % el número de errores de interpretación y transferencia de parámetros geotécnicos por proyecto. H3: la implementación del protocolo incrementa la precisión global de la transferencia de parámetros geotécnicos, alcanzando al menos un 90 % de conformidad en la Matriz de Verificación de Transferencia (MVT). H4: la implementación del protocolo reduce los ciclos de iteración entre los equipos geotécnico y estructural hasta un máximo de cuatro por proyecto. Debido al carácter piloto del estudio y al reducido tamaño muestral, estas hipótesis se contrastaron con un propósito exploratorio, privilegiando la magnitud del cambio, la consistencia de la dirección de los efectos y los tamaños del efecto sobre la significación estadística convencional.

MÉTODOS MATERIALES

La investigación se fundamentó en el paradigma pragmático, apropiado para estudios aplicados que buscan soluciones prácticas a problemas del sector productivo. Se adoptó un enfoque mixto con diseño secuencial explicativo (QUAN → qual) y prioridad cuantitativa. La fase cuantitativa empleó un diseño cuasiexperimental pre-post con grupos de comparación no equivalentes, con mediciones objetivas de tiempos, errores y precisión de transferencia; la cualitativa consistió en entrevistas semiestructuradas para interpretar los patrones cuantitativos. La integración de ambas fases se realizó mediante triangulación metodológica una vez concluidas las mediciones de seguimiento.

Cuatro empresas constructoras medianas de Santo Domingo de los Tsáchilas fueron seleccionadas mediante muestreo intencional de máxima variación. Los criterios de inclusión

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

exigieron RUC activo, cinco o más años de experiencia, acceso a estudios geotécnicos certificados y al menos un profesional con formación en ingeniería civil. EMP-01 y EMP-02 conformaron el grupo experimental; EMP-03 y EMP-04, el grupo control. Se trabajó con seis proyectos piloto (dos residenciales, dos comerciales y dos industriales) y doce profesionales participantes. Dado el carácter piloto y aplicado del estudio, la muestra fue deliberadamente reducida; en consecuencia, el análisis se orientó a estimar la magnitud y la factibilidad del cambio más que a producir inferencias generalizables al conjunto de empresas de la provincia. El nivel de significación adoptado fue $\alpha = 0{,}05$; los cálculos auxiliares se realizaron con el software PASS 11 (NCSS).

El protocolo integró tres componentes. (1) Plantilla Excel: una plantilla maestra parametrizada (PL-MASTER v2.0), con clasificación SUCS y AASHTO mediante listas desplegables y validación automática de los cuarenta y seis parámetros derivados de la NEC-SE-GC y NEC-SE-DS mediante semáforos de cumplimiento (verde/amarillo/rojo) y reporte exportable. (2) Familias Revit: quince familias con parámetros de instancia vinculados a los datos geotécnicos críticos (qa, NF, perfil sísmico A–F, Fa, Fd, Fs, Df), cargados desde la plantilla Excel mediante vínculos dinámicos. (3) Rutinas Dynamo 2.17: siete rutinas de programación visual que verifican automáticamente la compatibilidad entre los parámetros geotécnicos y las cargas estructurales, así como con los requisitos sísmicos de la NEC-SE-DS, generando alertas y reportes PDF de validación. La Figura 1 muestra el modelo BIM de cimentaciones generado en Revit y una de las rutinas de validación en Dynamo, cuya utilidad radica en vincular los parámetros geotécnicos certificados con las familias de cimentación y verificar de forma automática su conformidad con la NEC-SE-GC.

Figura 1

Modelo BIM de cimentaciones generado en Revit 2025 con las familias parametrizadas del protocolo (a) y rutina de validación en Dynamo 2.17 para la verificación automática de parámetros NEC-SE-GC (b)



(a) (b)

Nota. Elaboración propia.

Se emplearon cuatro instrumentos primarios validados (CVI > 0,80): el Protocolo de Observación Estructurada BIM (POE-BIM; kappa > 0,80; r test-retest = 0,85), el Cuestionario

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

de Efectividad del Protocolo (CEP; 20 ítems Likert; α de Cronbach global = 0,88), el Guion de Entrevista Semiestructurada (GES, con versiones GES-E para estructurales y GES-G para geotécnicos; codificado en ATLAS.ti) y la Matriz de Verificación de Transferencia (MVT; 46 parámetros ponderados). De forma complementaria se aplicaron la System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996) y el Technology Acceptance Model (TAM), cuyas dimensiones de utilidad percibida y facilidad de uso sirvieron de base conceptual para construir el CEP (Davis, 1989).

La recolección siguió cinco momentos: línea base (mes 1), implementación gradual (meses 2–5), medición intermedia (mes 6), medición final (mes 8) y seguimiento de sostenibilidad (mes 10). El análisis cuantitativo se realizó en SPSS v.28 y R 4.3.0. Dado el reducido tamaño muestral, que impide verificar de forma robusta el supuesto de normalidad, se optó por pruebas no paramétricas; para las comparaciones pre-post se empleó la prueba exacta de Wilcoxon; para las comparaciones entre grupos, la U de Mann-Whitney; el tamaño del efecto se interpretó con los umbrales convencionales ($r \geq 0{,}10$ pequeño; $r \geq 0{,}30$ mediano; $r \geq 0{,}50$ grande). La unidad de análisis fue la observación empresa × ciclo, de modo que cada grupo aportó cuatro observaciones (dos empresas × dos ciclos de observación). Debe señalarse que los dos ciclos de una misma empresa comparten personal, procedimientos y cultura organizacional, por lo que no constituyen observaciones plenamente independientes: existe una estructura jerárquica de ciclos anidados en empresas que, con solo dos empresas por grupo, no puede modelarse mediante técnicas multinivel; esta limitación se reconoce explícitamente. Dado que las hipótesis operativas planteaban cambios direccionales en los cuatro indicadores —reducción del tiempo, disminución de errores, incremento de la precisión de transferencia y reducción de ciclos interdisciplinarios—, las pruebas de Wilcoxon se aplicaron de forma unilateral y exacta ($n = 4$); conviene advertir que, con cuatro pares, el menor valor de p alcanzable por la prueba exacta es 0,0625, de modo que ningún resultado puede alcanzar el umbral convencional de 0,05. En consecuencia, el análisis se plantea como exploratorio: los valores de p se ofrecen como referencia y la interpretación se apoya en la magnitud del cambio, en la consistencia de la dirección y en el tamaño del efecto. Las comparaciones entre grupos (U de Mann-Whitney) sí se reportan de forma bilateral y exacta. Por coherencia con la prueba no paramétrica, el tamaño del efecto se expresa como $r = Z/\sqrt{N}$. El análisis cualitativo siguió la codificación temática de Braun y Clarke (2006). El análisis preliminar no detectó diferencias estadísticas entre los grupos en la línea base (Tabla 1; valores p entre 0,69 y 0,83 en la U de Mann-Whitney), lo que respalda —sin demostrarlo— la comparabilidad inicial requerida por el diseño cuasiexperimental.

Tabla 1

Indicadores de línea base por grupo (pre-intervención)

Indicador	G. Experimental	G. Control	Total	p
Tiempo validación (min)	280	272	276	0,74

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

Errores de interpretación	11,3	10,8	11,1	0,81
% precisión MVT	67,4 %	68,1 %	67,8 %	0,69
Ciclos de iteración	6,7	6,9	6,8	0,83

Nota. U de Mann-Whitney exacta bilateral (n = 4 por grupo); no se detectaron diferencias con p < 0,05. Ello no demuestra equivalencia, dado el bajo poder estadístico de la comparación. Elaboración propia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados se organizan en torno a las cuatro variables dependientes, la usabilidad del protocolo y los hallazgos cualitativos. Por el reducido número de observaciones se optó por pruebas no paramétricas: Wilcoxon exacta para muestras pareadas en el grupo experimental y U de Mann-Whitney exacta para las comparaciones entre grupos.

Reducción del tiempo del ciclo de validación

El tiempo total del ciclo de validación (etapas B1–B9 del POE-BIM) en el grupo experimental disminuyó de 280 a 113 minutos en la medición final del mes ocho, una reducción del 59,6 % que supera ampliamente la meta del 30 % y sitúa el proceso por debajo del umbral de 210 minutos fijado en el instrumento. Las cuatro observaciones se movieron en la misma dirección, el máximo grado de concordancia posible con este tamaño muestral; la prueba exacta de Wilcoxon arroja p = 0,0625 (unilateral), que es el menor valor alcanzable con n = 4, acompañado de un tamaño de efecto grande (r = 0,65). El resultado se interpreta, por tanto, como indicio exploratorio y no como significación confirmatoria. En el grupo control el tiempo se mantuvo estable (272 → 275 min; Z = −0,365; p = 0,72) y la diferencia entre grupos en la medición post fue significativa (U = 0,00; p = 0,029). La trayectoria temporal revela una curva de aprendizaje bifásica: una reducción moderada en los meses 1–3 (−15,7 %, fase de adaptación a la plantilla Excel y las familias Revit) seguida de una caída acelerada en los meses 3–6 (−33,5 % adicional) al incorporarse plenamente las rutinas Dynamo.

El desglose por etapas del POE-BIM (Tabla 2) localiza las fuentes de la reducción: las etapas B3 (transcripción a Excel) y B4 (carga al modelo Revit) concentraban el 36,8 % del tiempo en la línea base y bajaron al 17,7 %; la etapa B6 (detección y corrección de errores) registró la mayor reducción individual (−86,7 %), atribuible a la detección automática de Dynamo. La etapa B7 (ejecución de Dynamo) pasó de 0 a 22 minutos por ser una actividad nueva, inversión compensada por la eliminación de correcciones posteriores. En términos económicos, con un costo de referencia de hora-profesional de USD 18,5, el ahorro asciende a USD 51,5 por ciclo de validación y, en empresas que ejecutan entre ocho y doce proyectos anuales, a entre USD 412 y USD 618 anuales, de modo que el costo de las dos jornadas de capacitación (~USD 800) se recuperaría en aproximadamente año y medio de operación. Este cálculo considera el ahorro directo de horas de validación, sin incluir el costo evitado por reprocesos y correcciones posteriores en los proyectos.

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

Tabla 2

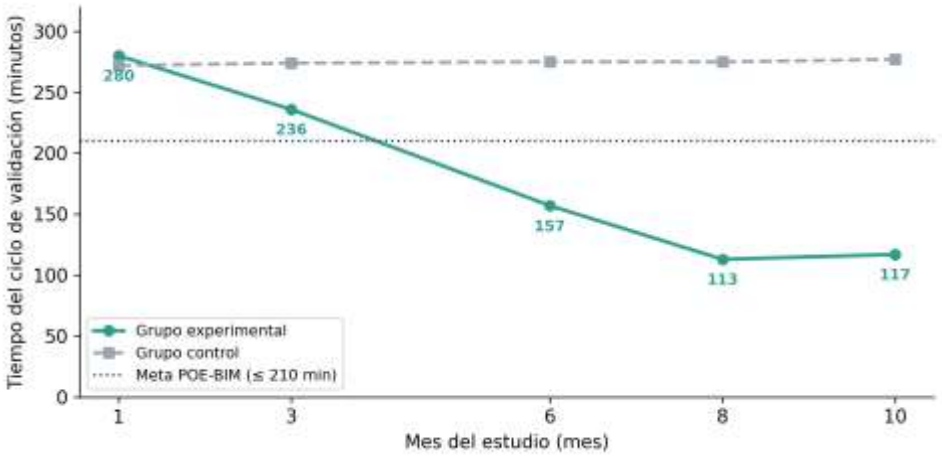
Desagregado del tiempo por etapa POE-BIM: línea base versus post-intervención

Ítem	Actividad (POE-BIM)	Pre (min)	Post (min)	Δ	% Post/total
B1	Recepción del informe geotécnico (PDF)	12	10	−16,7 %	8,8 %
B2	Lectura e interpretación de parámetros	28	20	−28,6 %	17,7 %
B3	Transcripción a plantilla Excel	48	8	−83,3 %	7,1 %
B4	Carga de parámetros al modelo Revit	55	12	−78,2 %	10,6 %
B5	Verificación de completitud NEC-SE-GC	32	9	−71,9 %	8,0 %
B6	Detección y corrección de errores	45	6	−86,7 %	5,3 %
B7	Ejecución rutina Dynamo	0	22	N/A	19,5 %
B8	Generación del reporte de validación	18	12	−33,3 %	10,6 %
B9	Coordinación interdisciplinaria	42	14	−66,7 %	12,4 %
	TOTAL	**280**	**113**	**−59,6 %**	**100,0 %**

Nota. Tiempos promedio de las observaciones del grupo experimental en los proyectos piloto. La etapa B7 (Dynamo) no existía como actividad en la línea base. % Post/total = tiempo de la etapa en la medición post / 113 min. Elaboración propia.

Figura 2

Evolución del tiempo total del ciclo de validación por grupo (minutos, etapas B1–B9 del POE-BIM) a lo largo de los diez meses del estudio



Nota. La línea punteada indica la meta de ≤ 210 minutos del instrumento. Elaboración propia.

La Figura 2 ilustra la divergencia progresiva entre los grupos: la curva del grupo experimental es claramente bifásica, mientras que la del grupo control permanece horizontal (rango 272–277 min), lo que es consistente con atribuir la mejora a la intervención, aunque el diseño no permite descartar por completo otros factores. La estabilización observada en el mes

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

diez (117 min frente a 113 min del mes ocho) sugiere que la mejora no se explica únicamente por un efecto de Hawthorne que desaparece al retirarse la observación: el ligero incremento de 4 minutos carece de significación estadística ($p = 0,68$) y se atribuye a la rotación de personal en uno de los proyectos de seguimiento. No se han localizado estudios previos que reporten métricas de tiempo directamente comparables para este flujo de trabajo, por lo que la reducción observada se interpreta frente a la línea base del propio estudio; los trabajos disponibles sobre integración BIM-geotecnia, como el de El Sibaii et al. (2022) y el de Wu et al. (2021), se centran en la estandarización del flujo de datos y en la interoperabilidad, sin cuantificar su efecto sobre los tiempos de validación.

Disminución de errores de interpretación geotécnica

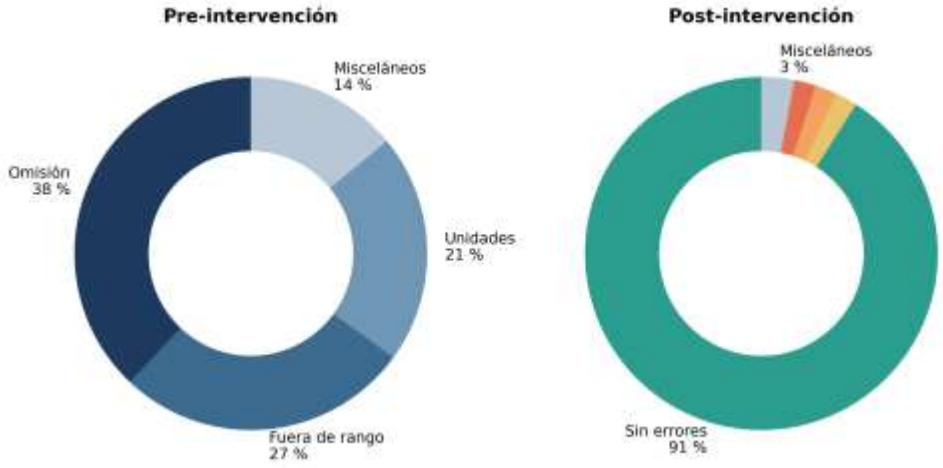
Los errores de interpretación por proyecto disminuyeron de 11,3 a 2,1 en el grupo experimental, una reducción del 81,4 % que casi duplica la meta del 50 % (prueba exacta de Wilcoxon: $p = 0,0625$, unilateral; las cuatro observaciones en la misma dirección; $r = 0,65$). El grupo control no varió significativamente (10,8 → 10,5; $p = 0,68$). En la línea base, los errores se distribuían en cuatro categorías: omisión de parámetros secundarios (38 %), valores fuera del rango NEC-SE-GC (27 %), errores de unidades (21 %) y misceláneos (14 %).

El protocolo atacó cada categoría con mecanismos específicos. La omisión de parámetros (≈ 4,3 errores/proyecto) se producía porque los profesionales priorizaban los parámetros críticos bajo presión de tiempo, y quedó eliminada por la estructura obligatoria de la plantilla Excel, que no permite avanzar a la fase de carga sin completar los cuarenta y seis parámetros. Los valores fuera de rango (≈ 3,1) se interceptan mediante el sistema de semáforos antes de llegar al modelo Revit, y los errores de unidades (≈ 2,4) —frecuentes en parámetros como la presión de preconsolidación (kPa vs. kg/cm²) o el módulo de elasticidad (MPa vs. kN/m²)— se eliminan con la normalización automática que convierte los valores a las unidades requeridas por la NEC-SE-GC. Los 2,1 errores residuales correspondieron a casos límite de la Sección C de la MVT, donde la automatización es menor.

Figura 3

Distribución de los tipos de error de interpretación geotécnica antes (izquierda) y después (derecha) de la implementación del protocolo

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279



Nota. En el panel pre-intervención los porcentajes expresan la distribución de los errores por tipo; en el panel post-intervención se calculan sobre el total de oportunidades de transferencia auditadas (46 parámetros por observación), y la categoría «sin errores» expresa la proporción de parámetros transferidos correctamente. Elaboración propia.

La Figura 3 muestra que la proporción de oportunidades de transferencia sin error alcanzó el 91 % después de la intervención; las categorías de omisión, fuera de rango, unidades y misceláneos concentraron conjuntamente el 9 % restante. De los 2,1 errores residuales, el 91,7 % fueron detectados por Dynamo antes de finalizar el modelo —si bien no existe un valor de referencia directamente equiparable en la literatura; los estudios de verificación automática basada en reglas, como el de Wu et al. (2021), se orientan a la interoperabilidad de la información más que a la medición de errores de transferencia—, de modo que el promedio estimado de errores no detectados se redujo a aproximadamente 0,17 por proyecto. Desde la perspectiva de la seguridad estructural, la automatización de la verificación de los factores de sitio (Fa, Fd, Fs) es especialmente relevante: un error del 10 % en Fa puede subestimar la carga sísmica de diseño entre un 8 y un 12 % en perfiles de suelo tipo D o E, los más frecuentes en la provincia (Instituto Geográfico Militar, 2020).

Precisión de transferencia de datos (MVT)

La precisión global ponderada de la MVT aumentó de 67,4 % a 94,8 % (+27,4 pp; prueba exacta de Wilcoxon: $p = 0{,}0625$, unilateral; $r = 0{,}65$), superando la meta del 90 %; el grupo control se mantuvo casi idéntico (68,1 → 69,3 %; $p = 0{,}61$). Las ponderaciones por sección (60 %, 30 % y 10 %) fueron establecidas por los autores mediante consenso de expertos durante la validación de contenido de la MVT y no proceden de la norma. El análisis por sección revela que la precisión disminuyó conforme se redujo el nivel de criticidad. Los parámetros críticos de la Sección A (peso 60 %) alcanzaron el 98,3 %, los importantes de la Sección B (30 %) el 94,2 % y los secundarios de la Sección C (10 %) el 87,6 %; las Secciones B y C quedaron por debajo de sus metas respectivas (≥ 95 % y ≥ 90 %). Las mayores ganancias individuales (Tabla 3) correspondieron al módulo de elasticidad (E: +41 pp), la relación de Poisson (ν: +42

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

pp) y los factores de sitio Fa y Fd (+33 pp), coincidiendo con los parámetros de mayor frecuencia de error en el diagnóstico inicial.

Tabla 3

Parámetros con mayor ganancia de precisión en la MVT (Top-10)

Cód.	Parámetro	Pre (%)	Post (%)	Causa del error previo
A09	Módulo de elasticidad (E)	55	96	Bajo dominio técnico en transferencia manual
A10	Relación de Poisson (ν)	54	96	Frecuentemente omitido en formato PDF
A12	Presión de preconsolidación (pc)	58	98	Requería conversión de unidades manual
A13	Índice de compresión (Cc)	57	98	Confusión con Cs en transcripción
A14	Índice de expansión (Cs)	56	97	Frecuente error de inversión con Cc
A06	Fa — amplificación espectral	65	98	Tabla NEC-SE-DS validada automáticamente
A07	Fd — factor de sitio (desplazamiento)	65	98	Ídem Fa; eliminado con rutina Dynamo
B03	Índice de plasticidad (IP)	61	93	Cálculo derivado automatizado en Excel
B09	Asentamiento total estimado (St)	60	92	Fórmula implementada en plantilla
B11	Módulo de reacción del suelo (ks)	58	91	Parámetro con mayor variabilidad previa

Nota. La precisión corresponde al porcentaje de parámetros correctamente transferidos según la MVT, admitiendo una tolerancia operativa de ±2 % establecida por los autores para la auditoría y no exigida explícitamente por la norma. La causa del error previo se identificó en el diagnóstico inicial (mes 1) mediante el POE-BIM y las entrevistas GES. Elaboración propia.

El análisis causal (Tabla 3) revela que tres mecanismos concentran el 78 % de los casos: el bajo dominio técnico en parámetros avanzados (E, ν, OCR), la confusión entre parámetros similares (Cc vs. Cs, Fa vs. Fd) y los errores de conversión de unidades; los tres son abordados por la plantilla mediante listas desplegables con descripción contextual, conversión automática y validación cruzada. La incorporación de validaciones automáticas para los parámetros de la Sección C —en especial el potencial de licuación y la expansividad del suelo— constituye la mejora prioritaria para una versión 2.0 del protocolo. La brecha entre grupos en la medición post (94,8 % vs. 69,3 %) implica que el grupo control opera con casi uno de cada tres parámetros incorrectamente transferidos, frente a uno de cada veinte en el grupo experimental, un riesgo técnico y legal relevante, dado que los errores en parámetros críticos pueden comprometer la conformidad normativa y la confiabilidad del diseño de

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

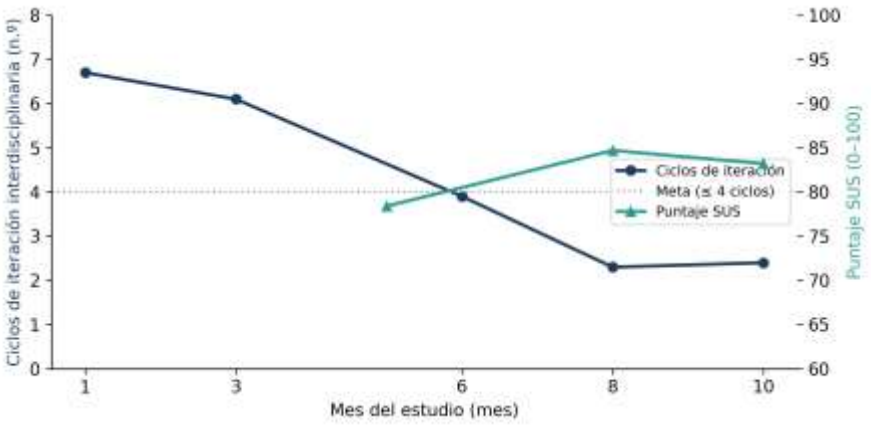
cimentaciones.

Reducción de ciclos de iteración interdisciplinaria

El número de ciclos de revisión entre los equipos geotécnico y estructural disminuyó de 6,7 a 2,3 (−65,7 %; prueba exacta de Wilcoxon: p = 0,0625, unilateral; r = 0,65), superando la meta de ≤ 4 ciclos; el grupo control se mantuvo en torno a 6,9 (p = 0,73). En la línea base, cada ciclo consumía en promedio 6,2 horas de trabajo acumulado, sumando 42,2 horas de costo coordinativo por proyecto; con el protocolo, los 2,3 ciclos residuales son sesiones de validación final sin correcciones sustanciales (4,8 horas por proyecto). Este indicador registró la mayor correlación con la satisfacción del usuario (rho de Spearman = 0,82; p = 0,058, prueba exacta bilateral, n = 6; se interpreta como tendencia y no como asociación estadísticamente significativa). Las entrevistas GES revelaron que los ciclos previos generaban tensión interprofesional, eliminada al objetivar la validación mediante criterios automáticos (Figura 4).

Figura 4

Evolución de los ciclos de iteración interdisciplinaria y del puntaje SUS durante el período de estudio



Nota. Ciclos de iteración en el eje izquierdo y puntaje SUS en el eje derecho. La línea punteada horizontal indica la meta de ≤ 4 ciclos. Elaboración propia.

Usabilidad y aceptación del protocolo

La System Usability Scale se aplicó en su formato de diez ítems con enunciados alternados positivos y negativos, transformados según el procedimiento estándar para obtener un índice de 0 a 100. El puntaje SUS ascendió de 78,4 (mes cinco) a 84,7 (mes ocho), situándose en la banda superior de las escalas de interpretación propuestas por Brooke (1996), y se mantuvo en 83,2 en el mes diez. El CEP superó 4,0/5,0 en tres de sus cuatro dimensiones (Tabla 4, Figura 5), con la intención de uso futuro como puntaje más alto (4,6), predictor robusto de la adopción según el modelo TAM (Davis, 1989). La recomendación de mejora más concreta es desarrollar una interfaz gráfica simplificada para las rutinas Dynamo que no requiera conocimiento del entorno de programación.

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

El análisis por ítems del SUS situó los mayores puntajes en la consistencia del protocolo («Las diferentes funciones del sistema están bien integradas»: 4,4/5,0) y la confianza en su uso («Me sentí seguro usando el sistema»: 4,3/5,0), y los menores en la necesidad de apoyo técnico (3,2) y la curva de aprendizaje inicial (3,4 invertido). En el CEP, las puntuaciones más altas (> 4,5) correspondieron a la detección automática de incompatibilidades (CEP-04: 4,7), la intención de recomendación (CEP-18: 4,7) y el uso futuro (CEP-17: 4,8); las más bajas, a la fluidez de la coordinación (CEP-10: 3,9), la cantidad de proyectos completados en el mismo tiempo (CEP-11: 3,7) y la comprensión de Dynamo (CEP-14: 3,8). Estos valores son congruentes con los hallazgos cualitativos: la transformación cultural de la coordinación interprofesional es un proceso más lento que los cambios técnicos, y la interfaz de Dynamo, aunque potente, exige mayor esfuerzo de aprendizaje que la plantilla Excel, especialmente para geotécnicos con escasa formación BIM.

Tabla 4

Resultados detallados del CEP por ítem y dimensión (grupo experimental, n = 6)

Ítem	Enunciado resumido	Media
D1 — Efectividad Técnica (α = 0,86)		
CEP-01	El protocolo redujo el número de errores al transferir parámetros geotécnicos	4,5
CEP-02	La plantilla Excel facilitó la captura completa de parámetros NEC-SE-GC	4,3
CEP-03	Las familias Revit reflejan adecuadamente las propiedades geotécnicas del suelo	4,2
CEP-04	Los algoritmos Dynamo detectaron incompatibilidades no identificables manualmente	4,7
CEP-05	El protocolo garantizó el cumplimiento de los requisitos técnicos NEC-SE-GC	4,2
CEP-06	La precisión de los parámetros críticos de cimentación mejoró con el protocolo	4,3
D2 — Eficiencia Operacional (α = 0,84)		
CEP-07	El protocolo redujo el tiempo total del ciclo de validación	4,5
CEP-08	Se eliminaron pasos manuales repetitivos en la transferencia de datos	4,3
CEP-09	El número de ciclos de revisión entre equipos disminuyó notablemente	4,2
CEP-10	La coordinación interdisciplinaria fue más fluida con el protocolo	3,9
CEP-11	El protocolo permitió completar más proyectos en el mismo tiempo	3,7
D3 — Satisfacción del Usuario (α = 0,81)		
CEP-12	El protocolo es fácil de usar una vez concluida la capacitación	4,1

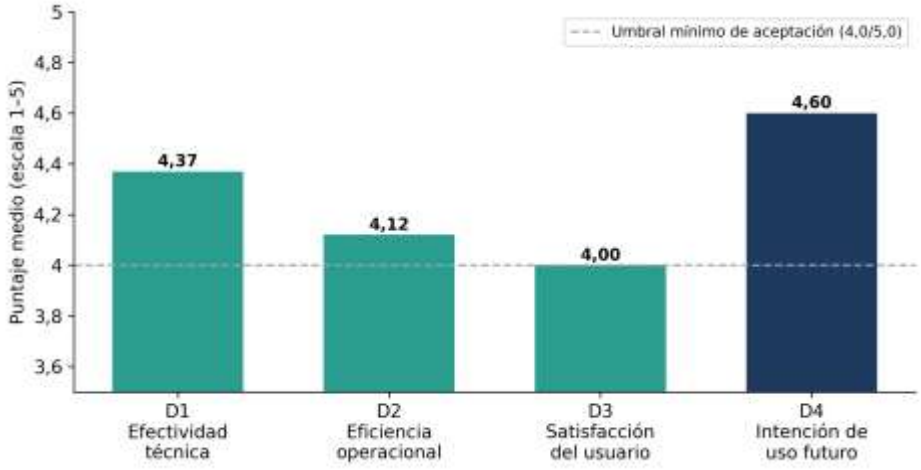
Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

CEP-13	La plantilla Excel es clara e intuitiva	4,2
CEP-14	Las rutinas de Dynamo son comprensibles para nivel BIM intermedio	3,8
CEP-15	El manual de usuario es suficientemente claro para trabajar sin asistencia	3,9
CEP-16	El protocolo se adapta bien a la geotecnia local de Santo Domingo	4,0
D4 — Intención de Uso Futuro (α = 0,90)		
CEP-17	Utilizaría este protocolo en futuros proyectos de cimentaciones	4,8
CEP-18	Recomendaría el protocolo a otros profesionales de la provincia	4,7
CEP-19	Propondría a mi empresa adoptarlo como proceso estándar	4,3
CEP-20	Tiene potencial para convertirse en estándar del sector en Ecuador	4,6

Nota. Escala Likert de 1 a 5. Los α de Cronbach de cada dimensión superan el umbral de 0,80 recomendado para investigación aplicada. Elaboración propia.

Figura 5

Puntajes promedio del CEP por dimensión (grupo experimental, n = 6)



Nota. La línea discontinua indica el umbral mínimo de aceptación establecido a priori (4,0/5,0). Elaboración propia.

Tabla 5

Resumen comparativo de indicadores pre-post en el grupo experimental

Indicador	Pre (M)	Post (M)	Δ	r (Z/√N)	p
Tiempo validación (min)	280	113	−59,6 %	0,65	0,0625
Errores de	11,3	2,1	−81,4 %	0,65	0,0625

interpretación					
% precisión global MVT	67,4 %	94,8 %	+27,4 pp	0,65	0,0625
MVT Sección A (críticos)	69,1 %	98,3 %	+29,2 pp	0,65	0,0625
MVT Sección B (importantes)	65,8 %	94,2 %	+28,4 pp	0,65	0,0625
MVT Sección C (secundarios)	63,2 %	87,6 %	+24,4 pp	0,65	0,0625
Ciclos de iteración	6,7	2,3	−65,7 %	0,65	0,0625
Puntaje SUS	—	84,7	N/A	—	—

Nota. Prueba exacta de Wilcoxon unilateral para muestras pareadas (n = 4); en los cuatro indicadores las observaciones variaron en la misma dirección, lo que corresponde a p = 0,0625, el menor valor alcanzable con este tamaño muestral. Los valores se ofrecen con carácter exploratorio. r ≥ 0,50 = efecto grande. pp = puntos porcentuales; N/A = no aplica (sin medición pre para SUS). Elaboración propia.

Hallazgos cualitativos

El análisis temático de las ocho entrevistas GES (ATLAS.ti) generó tres categorías. (1) Transformación del flujo de trabajo interdisciplinario, presente en el 100 % de las entrevistas (n = 47 fragmentos): los ingenieros estructurales destacaron la eliminación de la ambigüedad al recibir datos pre-validados contra la NEC-SE-GC («Antes yo recibía el informe y tenía que interpretar si la qa era admisible o última; ahora la plantilla lo dice directamente»), y los geotécnicos valoraron la visibilidad sobre el impacto de sus parámetros en el modelo 3D. (2) Barreras de adopción y gestión del cambio (87 % de las citas): el costo inicial de capacitación y la resistencia al cambio; un participante con dieciséis años de experiencia resumió la curva de aprendizaje: «Los primeros tres proyectos me costó más tiempo que antes, pero en el cuarto lo hacía solo y en el quinto era más rápido que el método anterior». (3) Potencial de escalabilidad: todos expresaron disposición a recomendar el protocolo (CEP-18: 4,7) y propusieron módulos de capacitación en línea, la adaptación a plataformas como ArchiCAD o Tekla y la incorporación de los parámetros de la Sección C a las validaciones de Dynamo.

DISCUSIÓN

En conjunto, los resultados superan las metas en los cuatro indicadores evaluados (Tabla 5), con tamaños del efecto grandes (r = 0,65). No se dispone de estudios que midan la precisión de transferencia de parámetros geotécnicos con una métrica equivalente a la MVT; los trabajos de El Sibaii et al. (2022) abordan la estandarización del flujo de datos sin

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

cuantificar la exactitud del traspaso, de modo que los valores obtenidos deben interpretarse en el marco del propio estudio y no como un contraste con estándares internacionales. La sostenibilidad de los resultados observada en el mes diez sugiere que los cambios se anclaron en organizaciones con liderazgo técnico comprometido durante los primeros meses posteriores a la implementación.

El aporte del protocolo no radica únicamente en digitalizar la información geotécnica, sino en establecer una cadena de trazabilidad entre el informe certificado, la plantilla de captura, los parámetros de las familias BIM y las reglas de validación. Esta estructura reduce la pérdida de significado técnico durante la transferencia y permite auditar el origen, la unidad, la criticidad y la conformidad de cada parámetro. Frente a propuestas centradas principalmente en interoperabilidad IFC, el protocolo añade una capa de control normativo adaptada al contexto ecuatoriano.

Los resultados obtenidos también representan una evolución respecto de aplicaciones BIM desarrolladas previamente en el Ecuador. Arroyo-Orozco et al. (2024) demostraron la factibilidad de integrar mediante Revit y Navisworks el modelado de diferentes disciplinas con información de planificación y costos en un proyecto de edificación universitaria. Mientras aquel estudio abordó BIM como plataforma para la integración multidisciplinaria y la planificación 4D–5D, la presente investigación amplía dicho enfoque hacia la dimensión geotécnica, incorporando parámetros certificados del suelo como información estructurada dentro de las familias BIM y sometiéndolos a reglas automáticas de validación. La diferencia resulta relevante porque la integración ya no se limita a coordinar geometría, tiempo y costo, sino que incorpora la trazabilidad del dato técnico desde el informe geotécnico hasta la decisión de diseño de la cimentación.

La automatización no sustituye la interpretación profesional ni garantiza que el valor de origen sea técnicamente correcto; el protocolo verifica completitud, consistencia, unidades y concordancia con las reglas programadas. Por tanto, la calidad del resultado continúa dependiendo de la confiabilidad del estudio geotécnico y de la actualización de las reglas cuando cambien las normas aplicables.

Doi: 10.70577/innovascit.v4i2.279

CONCLUSIONES

El protocolo BIM-geotecnia constituye una vía viable para integrar de forma sistemática los parámetros geotécnicos certificados en modelos BIM de cimentaciones. Su principal aporte práctico es la cadena de trazabilidad que enlaza el informe de laboratorio, la plantilla de captura, las familias paramétricas y las reglas de validación, lo que permite auditar el origen, la unidad y la conformidad normativa de cada parámetro antes de que llegue al diseño estructural.

La novedad del estudio radica en incorporar una capa de control normativo adaptada a la NEC-SE-GC y a los suelos volcánicos de la provincia, aspecto que no abordan las propuestas centradas en la interoperabilidad IFC o en la estandarización del flujo de datos geotécnicos. En concordancia con esos trabajos, el estudio confirma que estructurar los datos del subsuelo es condición necesaria para su uso eficiente en BIM; a diferencia de ellos, aporta una medición directa del efecto sobre los tiempos, los errores y la precisión de la transferencia.

La arquitectura tecnológica es accesible para las empresas medianas ecuatorianas, pues no requiere aplicaciones adicionales a las licencias de Revit y a las herramientas ofimáticas disponibles; sin embargo, la autonomía plena de los usuarios exige varios proyectos de práctica y la interfaz de Dynamo continúa siendo la principal barrera de adopción.

El estudio presenta limitaciones metodológicas: la muestra es reducida (cuatro empresas y seis proyectos), los ciclos de observación de una misma empresa no son plenamente independientes, el alcance geográfico se restringe a Santo Domingo de los Tsáchilas y Revit es la única plataforma evaluada. Con cuatro pares, la prueba exacta de Wilcoxon no puede alcanzar el umbral de $p < 0,05$, por lo que la evidencia es exploratoria. Aun así, los resultados son plausibles porque todos los indicadores se desplazan en la dirección prevista, los tamaños del efecto son grandes, el grupo control permanece estable y las mejoras se sostienen en la medición de seguimiento.

Las investigaciones futuras deben evaluar el protocolo en una muestra multicéntrica con más empresas y otras plataformas BIM, extender las validaciones automáticas a los parámetros secundarios —en especial el potencial de licuación y la expansividad—, simplificar la interfaz de Dynamo para perfiles sin formación en programación visual y analizar su transferibilidad a la infraestructura lineal; solo entonces cabría proponer su incorporación a los procesos de estandarización nacional.

En respuesta al objetivo planteado, el protocolo desarrollado integra de manera eficiente los parámetros geotécnicos de laboratorio en modelos BIM para el diseño de cimentaciones, cumple las metas de reducción de tiempos y de errores de interpretación, respalda en dirección y magnitud del efecto las cuatro hipótesis operativas y resulta factible para empresas con recursos tecnológicos limitados, dentro de los márgenes de un estudio piloto de carácter exploratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arroyo-Orozco, J., González-Boada, L., Briones-Franco, J., Guerrero-Suarez, S., & Macias-Loor, N. (2024). Application Of The BIM Methodology In The Construction Planning Of The UNEMI Postgraduate Building. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 1–11. https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1611

Autodesk. (2023). *Revit: software BIM para diseño y construcción*. Autodesk Inc. https://www.autodesk.com/products/revit

Banco Central del Ecuador. (2023). *Cuentas nacionales trimestrales: resultados 2023*. Quito, Ecuador: BCE.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, *3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Brooke, J. (1996). SUS: A quick and dirty usability scale. En P. W. Jordan (Ed.), *Usability evaluation in industry* (pp. 189–194). Taylor & Francis.

Cámara de la Industria de la Construcción. (2023). *Informe sectorial de la construcción 2023*. Quito, Ecuador: CAMICON.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, *13*(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

El Hajj, C., Martinez Montes, G., & Jawad, D. (2023). An overview of BIM adoption barriers in the Middle East and North Africa developing countries. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *30*(2), 889–913. https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2021-0432

El Sibaii, M., Granja, J., Bidarra, L., & Azenha, M. (2022). Towards efficient BIM use of geotechnical data from geotechnical investigations. *Journal of Information Technology in Construction*, *27*, 393–415. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.019

GAD Municipal de Santo Domingo. (2023). *Estadísticas de permisos de construcción 2019–2023*. Santo Domingo, Ecuador: Dirección de Planificación y Urbanismo.

Instituto Geográfico Militar. (2020). *Mapa geológico y geotécnico de Santo Domingo de los Tsáchilas*. Quito, Ecuador: IGM.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2022). *Proyecciones de población por provincias 2020–2025*. Quito, Ecuador: INEC.

Markets and Markets. (2023). *Building information modeling market: Global forecast to 2028*. Pune, India: Markets and Markets. Recuperado de: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/building-information-modeling-market-95037387.html

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *NEC-SE-GC: Geotecnia y cimentaciones*. Quito, Ecuador: MIDUVI.

Satyanaga, A., Aventian, G. D., Makenova, Y., Zhakiyeva, A., Kamaliyeva, Z., Moon, S.-W., & Kim, J. (2023). Building information modelling for application in geotechnical engineering. *Infrastructures*, *8*(6), 103, e-ISSN: 2412-3811. Recuperado de: https://doi.org/10.3390/infrastructures8060103

Wu, J., Chen, J., Chen, G., Wu, Z., Zhong, Y., Chen, B., Ke, W., & Huang, J. (2021). Development of data integration and sharing for geotechnical engineering information modeling based on IFC. *Advances in Civil Engineering*, *2021*, 8884864, e-ISSN: 1687-8094. Recuperdo de: https://doi.org/10.1155/2021/8884864

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles.

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El articulo no es producto de una publicación anterior