



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio de alternativas de flujos de trabajo para la
aplicación de la metodología BIM en el proyecto del nuevo
metro de Alejandría (Egipto)

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: Soler Bejarano, Francisco

Tutor/a: Mata Falcón, Jaime

Cotutor/a externo: Civera Abad, José Alejandro

CURSO ACADÉMICO: 2025/2026

ÍNDICE

1	Conceptos.....	1
2	Introducción	5
2.1	Contexto.....	5
2.2	Objetivos	5
2.3	Alcance	7
2.4	Estructura del documento.....	7
3	Fundamentos de la metodología BIM.....	9
3.1	Concepto.....	9
3.2	Agentes	10
3.3	Herramientas	11
4	Ventajas de la metodología BIM en el metro de Alejandría	17
4.1	Federación de modelos	18
4.2	Gestión de incidencias	20
4.3	Trazabilidad	22
4.4	Información y auditoría	23
4.5	Clasificación de información y modelos.....	25
5	Flujo de trabajo actual en el metro de Alejandría.....	27
5.1	Entorno común de datos:.....	27
5.2	Gestión de modelos federados.....	29
5.3	Gestión de colisiones e incidencias	31
5.4	Control de calidad	36
5.4.1	Comprobación de la localización de los modelos	37
5.4.2	Auditoria de modelos.....	39
5.5	Limitaciones	42
5.5.1	Tiempo	42
5.5.2	Automatización	43
5.5.3	Trazabilidad de colisiones e incidencias.....	43
5.5.4	Relación colisión e incidencia	45
5.5.5	Gestión de la información	45
6	Estudio de nuevos flujos de trabajo en el metro de Alejandría	47
6.1	Introducción	47

6.2	Metodología de evaluación multicriterio de soluciones	47
6.2.1	Definición y justificación de los criterios de evaluación	48
6.2.2	Estructuración del modelo de evaluación.....	49
6.2.3	Asignación de pesos a los criterios	49
6.2.4	Cuantificación y normalización de los criterios.....	50
6.2.5	Variables consideradas y descartadas	52
6.3	Diagrama de flujos de trabajo posibles.....	53
6.4	Estudio de soluciones para la federación de modelos	55
6.4.1	Introducción	55
6.4.2	Método 1.1.....	55
6.4.3	Método 1.2.....	61
6.4.4	Conclusiones.....	71
6.5	Estudio de soluciones para la creación de colisiones.....	73
6.5.1	Introducción	73
6.5.2	Método 2.1.....	74
6.5.3	Método 2.2.....	81
6.5.4	Listado de colisiones y análisis.....	92
6.5.5	Conclusiones.....	104
6.6	Estudio de soluciones para la gestión de colisiones e incidencias.....	106
6.6.1	Introducción	106
6.6.2	Método 3.1.....	106
6.6.3	Método 3.2.....	113
6.6.4	Método 3.3.....	119
6.6.5	Conclusiones.....	128
6.7	Propuestas de flujos integrales.....	130
6.7.1	Establecimiento de métodos integrales	130
6.7.2	Resultado de puntuaciones.....	132
7	Conclusiones.....	134
7.1	Elección de alternativa integral única.....	134
7.2	Ámbito de aplicación de cada alternativa	135
7.3	Resumen de aplicación	137
8	Propuestas de mejora	138

8.1	Principales inconvenientes	138
8.1.1	Gestión de vistas	138
8.1.2	Gestión de colisiones	139
8.1.3	Compatibilidad de incidencias	141
8.2	Mejoras:	145
8.2.1	Eliminación de vínculos	145
8.2.2	Compatibilidad de incidencias	145
8.2.3	Seguimiento de incidencias en Navisworks 2026	146
8.2.4	Control de calidad	146

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proyecto de nueva línea de metro en Alejandría. Fuente: National Authority for Tunnels.....	5
Ilustración 2. Agentes principales de la metodología BIM. Fuente: elaboración propia.....	10
Ilustración 3. BIM Execution Plan. Fuente: breakwithanarchitect	12
Ilustración 4. Niveles de LOD. Fuente: wesurveybuildings.....	13
Ilustración 5. Concepto de MIDP. Fuente: BEP	14
Ilustración 6. Clasificación de prioridad de colisiones. Fuente: Clash Matrix	14
Ilustración 7. Ejemplo de prioridad de matriz de colisiones. Fuente: Clash Matrix	15
Ilustración 8. Interfaz de Autodesk Construction Cloud. Fuente: elaboración propia .	16
Ilustración 9. Modelo BIM de las instalaciones auxiliares del nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	17
Ilustración 10. Plano 2D del edificio de control del nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	18
Ilustración 11. Modelo federado del edificio de control del nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	19
Ilustración 12. Ejemplo de colisiones entre instalaciones (remarcadas en rojo). Fuente: elaboración propia	20
Ilustración 13. Modelos de edificio de control con incidencias creadas. Fuente: elaboración propia	21
Ilustración 14. Ejemplo de colisión e incidencia. Fuente: elaboración propia.....	21
Ilustración 15. Ejemplo de rastreo de la información en ACC. Fuente: elaboración propia.....	22
Ilustración 16. Ejemplo de rastreo de versiones. Fuente: elaboración propia	23
Ilustración 17. Información de un elemento del modelo. Fuente: elaboración propia	24
Ilustración 18. Hoja Excel de información de proyecto. Fuente: elaboración propia...	24
Ilustración 19. Clasificación de la información en ACC. Fuente: elaboración propia..	25
Ilustración 20. Diagrama del flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	27
Ilustración 21. Entorno común de datos en el flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	27
Ilustración 22. Interfaz de Data Management de ACC. Fuente: elaboración propia	28
Ilustración 23. Registro de la actualización de modelos en hoja Excel. Fuente: elaboración propia	28
Ilustración 24. Gestión de modelos federados en el flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	29
Ilustración 25. Federación de modelos en Revit. Fuente: elaboración propia	30
Ilustración 26. Modelo federado en Navisworks. Fuente: elaboración propia	30

Ilustración 27. Gestión de colisiones e incidencias en el flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia.....	31
Ilustración 28. Conjunto de set para la creación de colisiones. Fuente: elaboración propia.....	32
Ilustración 29. Set de MEP en el árbol de selección. Fuente: elaboración propia	32
Ilustración 30. Listado de colisiones para la gestión de colisiones. Fuente: elaboración propia.....	33
Ilustración 31. Ejemplo de colisión. Fuente: elaboración propia	33
Ilustración 32. Ejemplo de colisión aprobada. Fuente: elaboración propia	34
Ilustración 33. Ejemplo de colisión grave en rampa exterior. Fuente: elaboración propia.....	34
Ilustración 34. Plantilla para la creación de las incidencias. Fuente: elaboración propia.....	35
Ilustración 35. Ejemplo de incidencia entre arqueta y rampa. Fuente: elaboración propia.....	36
Ilustración 36. Control de calidad en el flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	36
Ilustración 37. Desalineamiento de modelo respecto a modelo federado. Fuente: elaboración propia	37
Ilustración 38. Discrepancia de rejillas respecto al URS. Fuente: elaboración propia.	38
Ilustración 39. Discrepancia de niveles respecto al URS. Fuente: elaboración propia	38
Ilustración 40. Registro de errores de localización de modelos. Fuente: elaboración propia.....	39
Ilustración 41. Selección de parámetros para extracción de información. Fuente: elaboración propia	39
Ilustración 42. Información extraída del modelo federado. Fuente: elaboración propia.....	40
Ilustración 43. Vistas extraídas de los modelos del modelo federado. Fuente: elaboración propia	40
Ilustración 44. Información de alarmas extraídas de Revit. Fuente: elaboración propia.....	41
Ilustración 45. Auditoría de los modelos federados. Fuente: elaboración propia	41
Ilustración 46. Ejemplo de advertencia en la abertura de modelos Revit. Fuente: elaboración propia	42
Ilustración 47. Creación de un grupo de colisiones. Fuente: elaboración propia	44
Ilustración 48. Ejemplo de colisiones cambiadas a aprobadas. Fuente: elaboración propia.....	44
Ilustración 49. Hoja Excel de archivos .dwg vinculados con Model Audit. Fuente: elaboración propia	46
Ilustración 50. Grupos de Revit de los modelos con Model Audit. Fuente: elaboración propia.....	46

Ilustración 51. Diagrama general de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	54
Ilustración 52. Método 1.1 de federación de modelos dentro del diagrama de flujos de trabajos en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	55
Ilustración 53. Tipo de vínculo en Revit. Fuente: elaboración propia	56
Ilustración 54. Eliminación de vínculos al vincular modelos. Fuente: elaboración propia.....	57
Ilustración 55. Control del posicionamiento de los modelos en Revit. Fuente: elaboración propia	58
Ilustración 56. Trazabilidad de los modelos en Data Management. Fuente: elaboración propia.....	58
Ilustración 57. Método 1.2 de federación de modelos dentro del diagrama de flujos de trabajos en el nuevo metro de Alejandría.....	61
Ilustración 58. Vistas extraídas de los modelos en Model Coordination. Fuente: elaboración propia	62
Ilustración 59. Vistas del modelo estructural en ACC. Fuente: elaboración propia	62
Ilustración 60. Selección de las carpetas para las vistas. Fuente: elaboración propia	63
Ilustración 61. Selección de vistas para la federación de los modelos. Fuente: elaboración propia	64
Ilustración 62. Modelo federado en Model Coordination. Fuente: elaboración propia	64
Ilustración 63. Listado de vistas de modelos federados. Fuente: elaboración propia .	65
Ilustración 64. Fallo de la vista del modelo estructural en la vista. Fuente: elaboración propia.....	66
Ilustración 65. Control de las vistas de las estaciones. Fuente: elaboración propia ...	67
Ilustración 66. Niveles de la vista del modelo federado. Fuente: elaboración propia..	68
Ilustración 67. Trazabilidad de las vistas en espacio de coordinación. Fuente: elaboración propia	69
Ilustración 68. Trazabilidad de las copias congeladas a partir de las vistas. Fuente: elaboración propia.	70
Ilustración 69. Modelo para análisis de colisiones en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	73
Ilustración 70. Método 2.1 de creación de colisiones dentro del diagrama de flujos de trabajos en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	74
Ilustración 71. Tipos de selección en listado de colisiones. Fuente: elaboración propia.....	75
Ilustración 72. Herramienta de búsqueda para bandeja de cables. Fuente: elaboración propia.....	76
Ilustración 73. Colisión de bandeja de cables y vigas. Fuente: elaboración propia	76
Ilustración 74. Instalaciones sin ningún esquema de color. Fuente: elaboración propia.....	77
Ilustración 75. Instalaciones con esquema de colores. Fuente: elaboración propia ..	78

Ilustración 76. Trazabilidad de las colisiones. Fuente: elaboración propia	79
Ilustración 77. Colisión entre estructura y arquetas. Fuente: elaboración propia.....	79
Ilustración 78. Método 2.2 de creación de colisiones dentro del diagrama de flujos de trabajos en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	82
Ilustración 79. Vistas extraídas del modelo federado en Model Coordination. Fuente: elaboración propia	83
Ilustración 80. Matriz de colisiones mediante Model Coordination. Fuente: elaboración propia.....	83
Ilustración 81. Colisiones creadas a partir de la matriz de colisiones. Fuente: elaboración propia	84
Ilustración 82. Creación de colisiones mediante las vistas. Fuente: elaboración propia.....	84
Ilustración 83. Diferencias entre grupos de colisiones en matriz de colisiones. Fuente: elaboración propia	85
Ilustración 84. Colisiones mostradas mediante visor de ACC. Fuente: elaboración propia.....	86
Ilustración 85. Indicación de grupo de colisiones en la matriz de colisiones. Fuente: elaboración propia	87
Ilustración 86. Diferencia entre grupo de colisiones y colisiones. Fuente: elaboración propia.....	87
Ilustración 87. Selección única para modelos en "Selección A" de Model Coordination. Fuente: elaboración propia	88
Ilustración 88. Error de cantidad máxima de vistas para la creación de colisiones. Fuente: elaboración propia	89
Ilustración 89. Error al crear colisiones con exceso de vistas en espacio de coordinación. Fuente: elaboración propia	89
Ilustración 90. Agrupación de colisiones por atributo. Fuente: elaboración propia	90
Ilustración 91. Automatización de búsqueda de colisiones. Fuente: elaboración propia.....	91
Ilustración 92. Justificación de motivo de no incidencia. Fuente: elaboración propia	91
Ilustración 93. Modelo estructural. Fuente: elaboración propia	93
Ilustración 94. Modelo de ventilación. Fuente: elaboración propia	93
Ilustración 95. Modelo de gestión del edificio. Fuente: elaboración propia	93
Ilustración 96. Modelo eléctrico. Fuente: elaboración propia.....	94
Ilustración 97. Modelo contra incendios. Fuente: elaboración propia.....	94
Ilustración 98. Modelo de saneamiento. Fuente: elaboración propia.....	94
Ilustración 99. Modelo de telecomunicaciones. Fuente: elaboración propia.....	95
Ilustración 100. Creación de listado de colisiones en Navisworks. Fuente: elaboración propia.....	96
Ilustración 101. Indicación de modelos a colisionar en matriz de colisiones. Fuente: elaboración propia	96

Ilustración 102. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 550. Fuente: elaboración propia	97
Ilustración 103. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 550. Fuente: elaboración propia	97
Ilustración 104. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 600. Fuente: elaboración propia	98
Ilustración 105. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 600. Fuente: elaboración propia	98
Ilustración 106. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 560. Fuente: elaboración propia	99
Ilustración 107. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 560. Fuente: elaboración propia	99
Ilustración 108. Segmentos producidos por colisiones en Navisworks. Fuente: elaboración propia	100
Ilustración 109. Segmentos producidos por colisiones en Model Coordination. Fuente: elaboración propia	100
Ilustración 110. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 555. Fuente: elaboración propia	101
Ilustración 111. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 555. Fuente: elaboración propia	101
Ilustración 112. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 578. Fuente: elaboración propia	102
Ilustración 113. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 578. Fuente: elaboración propia	102
Ilustración 114. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 710. Fuente: elaboración propia	103
Ilustración 115. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 710. Fuente: elaboración propia	103
Ilustración 116. Método 3.1 de gestión de colisiones e incidencias en el diagrama de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	106
Ilustración 117. Ejemplo de grupo de colisiones de una bandeja colisionando con múltiples vigas. Fuente: elaboración propia	107
Ilustración 118. Respuesta a incidencia creada para creación de abertura en losa. Fuente: elaboración propia	108
Ilustración 119. Cambio de categoría de las colisiones. Fuente: elaboración propia	109
Ilustración 120. Error al crear incidencias en archivo NWF en Navisworks. Fuente: elaboración propia	110
Ilustración 121. Creación de incidencia a partir de la colisión. Fuente: elaboración propia	111
Ilustración 122. Error al crear incidencia a partir de colisión. Fuente: elaboración propia	111

Ilustración 123. Método 3.2 de gestión de colisiones e incidencias en el diagrama de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	113
Ilustración 124. Creación de incidencia con Conflictos de Model Coordination. Fuente: elaboración propia	114
Ilustración 125. Eliminación de colisiones con las incidencias. Fuente: elaboración propia.....	115
Ilustración 126. Presencia de incidencia en el modelo. Fuente: elaboración propia..	116
Ilustración 127. Desaparición de incidencia. Fuente: elaboración propia	116
Ilustración 128. Aparición de incidencia en Data Management desde Model Coordination. Fuente: elaboración propia	117
Ilustración 129. Clasificación de estatus de las incidencias. Fuente: elaboración propia.....	118
Ilustración 130. Método 3.3 de gestión de colisiones e incidencias en el diagrama de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia	120
Ilustración 131. Abertura de vistas mediante Navisworks. Fuente: elaboración propia.....	121
Ilustración 132. Posibilidad de creación de incidencias en la vista. Fuente: elaboración propia.....	121
Ilustración 133. Creación de incidencia a partir de colisión. Fuente: elaboración propia.....	122
Ilustración 134. Vinculación de colisión con incidencia. Fuente: elaboración propia	122
Ilustración 135. Integración de colisiones e incidencias en vistas. Fuente: elaboración propia.....	123
Ilustración 136. Desaparición de incidencia al solucionarse la colisión. Fuente: elaboración propia	124
Ilustración 137. Cambio de incidencias de vista a archivo NWD. Fuente: elaboración propia.....	125
Ilustración 138. Cambio de “Open” a “In Progress” en incidencias por actualización de colisiones. Fuente: elaboración propia	126
Ilustración 139. Cambio continuo de estatus de la incidencia. Fuente: elaboración propia.....	126
Ilustración 140. Metodología integral 1 en el diagrama general de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia.....	130
Ilustración 141. Metodología integral 2 en el diagrama general de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia.....	131
Ilustración 142. Metodología integral 3 en el diagrama general de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia.....	132
Ilustración 143. Visualización de edificio con modelos vinculados. Fuente: elaboración propia.....	139
Ilustración 144. Visualización de edificio con colores con modelos vinculados. Fuente: elaboración propia	139

Ilustración 145. Duplicación de modelos con diferentes versiones. Fuente: elaboración propia.....	140
Ilustración 146. Creación excesiva de colisiones por modelos vinculados. Fuente: elaboración propia	141
Ilustración 147. Prueba de incidencia en modelo de Model Coordination. Fuente: elaboración propia	142
Ilustración 148. Modelo federado paralelo en Revit. Fuente: elaboración propia	143
Ilustración 149. Guardado del modelo federado mediante Revit y Navisworks en ACC. Fuente: elaboración propia	143
Ilustración 150. Pérdida de referencia de incidencia. Fuente: elaboración propia.....	144
Ilustración 151. Automatización de conteo de los modelos .dwg vinculados. Fuente: elaboración propia	146
Ilustración 152. Información de vista inicial y peso de los modelos a través de Model Audit. Fuente: elaboración propia.....	147
Ilustración 153. Automatización de comprobación de vistas iniciales en los modelos. Fuente: elaboración propia	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de puntuación de criterios. Fuente: elaboración propia	51
Tabla 2. Tabla de clasificación final de las alternativas. Fuente: elaboración propia ..	52
Tabla 3. Resultados estudio federación de modelos. Fuente: elaboración propia	71
Tabla 4. Resultados estudio federación de modelos. Fuente: elaboración propia	104
Tabla 5. Resultados estudio federación de modelos. Fuente: elaboración propia	129
Tabla 6. Puntuación de metodologías integrales. Fuente: elaboración propia.....	133

1 Conceptos

Nota: para una mayor claridad de los conceptos a continuación mencionados, se ha elaborado vínculos a cada una de las palabras que contiene el trabajo indicado mediante letra cursiva y que dirigirán directamente al concepto en cuestión.

BIM (Building Information Modeling): metodología de trabajo colaborativo basada en el uso de modelos digitales que integran toda la información de un proyecto de construcción o infraestructura a lo largo de su ciclo de vida, facilitando el diseño, la ejecución y la gestión de forma eficiente y coordinada.

Entorno de datos común (CDE): entorno digital centralizado que permite la recopilación, gestión y difusión controlada de toda la información generada durante el ciclo de vida de un proyecto BIM. Su finalidad es garantizar que todos los agentes implicados trabajen sobre datos únicos, actualizados y verificados, reduciendo inconsistencias y mejorando la trazabilidad de la información.

ACC (Autodesk Construction Cloud): plataforma en la nube desarrollada por Autodesk que integra herramientas para la gestión, coordinación y colaboración de proyectos de construcción y edificación basados en la metodología BIM. Su objetivo principal es centralizar la información del proyecto en un entorno de datos común (CDE), facilitando el trabajo colaborativo entre todos los agentes implicados a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto.

LOD (Level of Development): hace referencia al grado de definición y fiabilidad de un elemento dentro del modelo a lo largo del proyecto. Este concepto no solo incluye el nivel de detalle geométrico, sino también la cantidad y calidad de la información asociada (materiales, propiedades, costes, etc.) organizándose en diferentes niveles.

BEP (BIM Execution Plan): documento que define cómo se va a implementar y gestionar la metodología BIM en un proyecto concreto. En él se establecen los objetivos BIM, los usos del modelo, los roles y responsabilidades de los equipos, así como los procesos, herramientas y estándares que se van a seguir.

MIDP (Master Information Delivery Plan): define qué información debe generarse, por quién y en qué momento a lo largo del proyecto, consolidando los planes de entrega de información de todos los equipos para garantizar una producción y coordinación eficiente de la información.

TIDP (Task Information Delivery Plan): documento BIM que detalla la planificación de la generación de información a nivel de cada equipo o disciplina, especificando qué información se produce, quién es responsable y en qué plazo, sirviendo como base para la elaboración del MIDP.

MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing): hace referencia al conjunto de instalaciones de un edificio que incluyen sistemas mecánicos (climatización), eléctricos (energía e iluminación), fontanería o saneamiento. En BIM, MEP engloba el modelado y la coordinación de estas disciplinas dentro del proyecto.

Modelo federado: resultado de la integración y coordinación de varios modelos disciplinares independientes como arquitectura, estructuras, instalaciones (MEP), obra civil, entre otros, en un único entorno común sin que estos pierdan su identidad ni autoría original. Cada uno de los modelos que conforman el modelo federado es desarrollado y gestionado por su correspondiente disciplina, y su combinación permite analizar el proyecto de forma global.

Revit: software de modelado BIM desarrollado por Autodesk que permite diseñar, modelar y documentar edificios e infraestructuras de forma paramétrica y colaborativa.

En él, los elementos constructivos (muros, puertas, instalaciones, etc.) contienen información técnica, lo que facilita la coordinación entre disciplinas y la generación automática de planos y documentación del proyecto.

Colisión: se define como una interferencia o conflicto detectado entre dos o más elementos procedentes de modelos disciplinares distintos o del mismo modelo, dentro de un modelo federado. Estos conflictos se identifican mediante procesos de “clash detection”, que consisten en la comparación geométrica y espacial de los elementos para determinar solapes, colisiones o incumplimientos de distancias mínimas establecidas.

Clash Detective: herramienta de Navisworks que permite detectar, analizar y gestionar colisiones (clashes) entre distintos modelos BIM. Facilita la coordinación entre disciplinas al identificar conflictos de geometría o espacio, ayudando a resolverlos antes de la fase de construcción.

Navisworks: software de revisión, coordinación y análisis de modelos digitales desarrollado por Autodesk, que es utilizado en entornos BIM (Building Information Modeling), y permite la integración de modelos tridimensionales procedentes de distintas disciplinas en un único modelo federado. Está orientada principalmente a la coordinación interdisciplinar, facilitando la detección de colisiones (*clash detection*), la revisión del diseño y la validación de la constructibilidad antes de la fase de ejecución.

Incidencia: conflicto identificado dentro del proceso de coordinación BIM, habitualmente asociado a una colisión (clash), discrepancia de diseño o problemática de coordinación entre disciplinas. Permite registrar de forma estructurada la información relevante del conflicto detectado, incluyendo su localización en el modelo, una descripción detallada, el estado de la incidencia y,

su asignación a un responsable. Permite la comunicación, el seguimiento y la resolución de conflictos dentro de un entorno colaborativo.

Manage Issues: funcionalidad de Navisworks que permite crear, gestionar y sincronizar incidencias detectadas durante la revisión de modelos (como clashes en Clash Detective), vinculándolas con Autodesk Construction Cloud (ACC) para su seguimiento, asignación y resolución por parte de los equipos del proyecto.

Data Management (ACC): conjunto de funcionalidades destinadas a la gestión, organización y control de la información del proyecto dentro del entorno de datos común (CDE). A través de este sistema, se centralizan todos los archivos del proyecto modelos BIM, planos, documentación técnica y revisiones garantizando que los equipos trabajen siempre con información actualizada y controlada.

Model Coordination (ACC): módulo de Autodesk Construction Cloud (ACC) que permite integrar, visualizar y coordinar modelos BIM de distintas disciplinas, detectando automáticamente colisiones (clashes) y facilitando la colaboración para su resolución.

Familia: conjunto de elementos paramétricos dentro de Autodesk Revit que representan objetos del modelo (como muros, puertas, mobiliario o equipos), los cuales pueden editarse y adaptarse mediante parámetros para responder a distintas necesidades del proyecto.

Workset: función de Revit que permite dividir un modelo en diferentes subconjuntos de trabajo para facilitar la colaboración entre varios usuarios. Cada workset contiene elementos del modelo que pueden editarse de forma controlada, evitando conflictos y mejorando la gestión del trabajo en equipo.

Coordenadas compartidas: sistema que permite alinear y situar varios modelos en una misma ubicación geográfica o de proyecto, de forma que distintas disciplinas trabajen con una referencia común y coherente dentro del entorno BIM.

Automation Job Processor: servicio que permite ejecutar automáticamente tareas sobre modelos o datos (como conversiones, actualizaciones o análisis) mediante procesos en segundo plano, generalmente integrados con Autodesk Construction Cloud o servicios de automatización, sin intervención manual directa.

Árbol de selección: representación jerárquica de los modelos cargados que permite organizar, navegar y seleccionar elementos de forma estructurada según su origen y propiedades.

Find Items: herramienta de Navisworks que permite buscar, filtrar y seleccionar elementos del modelo en función de sus propiedades (como categoría, nombre, material o parámetros), facilitando la identificación y análisis de componentes específicos.

Archivo NWC: formato nativo de Autodesk Navisworks que se genera a partir de la exportación de modelos BIM procedentes de otros programas, como Revit, AutoCAD o archivos IFC. Este archivo contiene una representación optimizada de la geometría y la información relevante del modelo, preparada específicamente para su visualización y análisis en entornos de coordinación BIM.

Archivo NWF: archivo de trabajo de Autodesk Navisworks que actúa como un contenedor de referencias a uno o varios archivos de modelo, como NWC, DWG, IFC u otros formatos compatibles. El archivo NWF no almacena la geometría de los modelos, sino las rutas a los archivos referenciados, así como la configuración del proyecto.

Archivo NWD: formato consolidado de Autodesk Navisworks que contiene toda la información del modelo federado, incluyendo la geometría, las vistas, los resultados de detección de interferencias y las anotaciones generadas durante el proceso de coordinación. Se utiliza habitualmente como archivo de entrega, revisión o documentación, permitiendo su visualización por cualquier usuario sin necesidad de acceso a los modelos fuente.

Lista de colisiones: configuración aplicada sobre los modelos NWF en los que se establecen las categorías que tiene que colisionar entre sí para la generación automática de colisiones. En cada uno de ellos, se determina las disciplinas además de las tolerancias que se deben aplicar, así como ciertas reglas que se deben tener en cuenta.

Espacio de coordinación: entorno de trabajo dentro de Model Coordination donde se agrupan, organizan y analizan modelos BIM (de distintas disciplinas) con el objetivo de detectar colisiones (clashes), revisar la coordinación entre ellos y gestionar incidencias de diseño.

Rejilla: elemento de referencia en Revit que sirve para organizar y alinear los componentes de un proyecto, como pilares, muros o ejes estructurales. No forma parte de la construcción, pero facilita el diseño, la coordinación y el replanteo de los elementos del modelo.

Nivel: plano de referencia horizontal en Revit que define la altura de los diferentes pisos o elementos de un proyecto. Se utiliza para organizar el modelo, crear vistas de planta y controlar la ubicación vertical de los elementos constructivos.

2 Introducción

2.1 Contexto

Dentro de la metodología BIM aplicada a proyectos de ingeniería civil, a pesar del creciente grado de implementación, las metodologías y los flujos de trabajo para la coordinación de los proyectos no siempre están definidos, lo que provoca en multitud de ocasiones incompatibilidades o la descentralización de la información. Esto es debido a la multitud de alternativas y gran diversidad de proyectos de diversa índole, en la cual factores como la complejidad inherente y la envergadura del proyecto alteran la metodología a aplicar.

Por ello, el presente Trabajo Final de Máster pretende definir el flujo de trabajo a usar en el proyecto del nuevo metro de Alejandría, teniendo en cuenta la realidad del proyecto, la toma de decisiones que se realizan y la relación entre personas en un entorno en concreto. Con ello, se busca, además, mediante la investigación, esclarecer el mejor flujo de trabajo dentro de la metodología BIM para la coordinación de proyectos de ingeniería civil lo más eficiente posible.

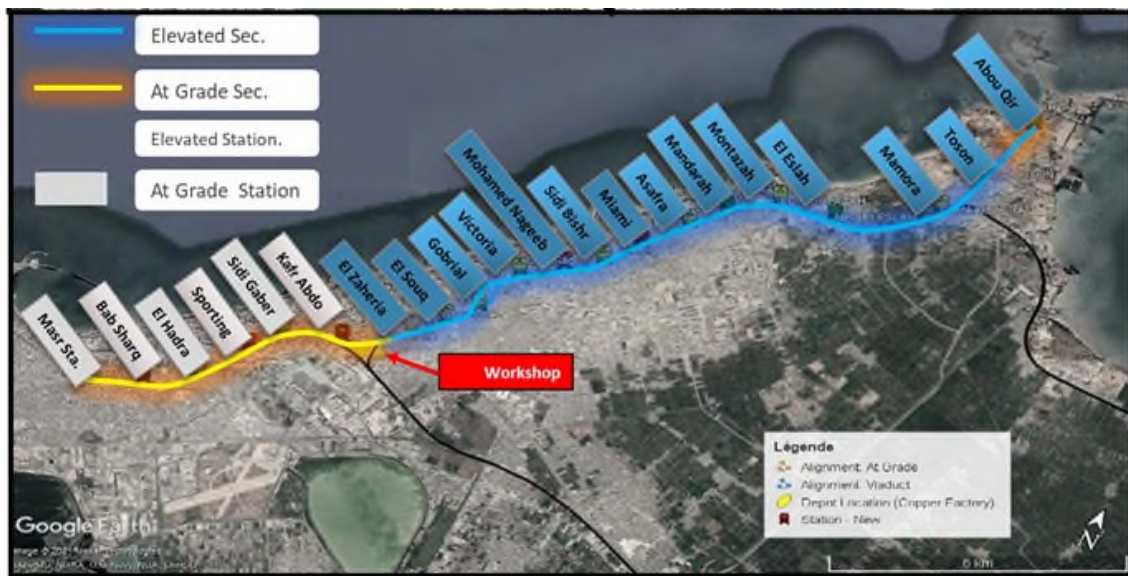


Ilustración 1. Proyecto de nueva línea de metro en Alejandría. Fuente: National Authority for Tunnels

2.2 Objetivos

Los objetivos principales del presente Trabajo Final de Máster buscan analizar la aplicación real de la *metodología BIM* en proyectos de ingeniería civil, en este caso el nuevo metro de Alejandría, tomando como base la experiencia adquirida durante el programa Mención Dual. De igual modo, este trabajo tiene como finalidad poner en valor el papel de *BIM* como herramienta fundamental en el desarrollo de

infraestructuras complejas, vinculando los conocimientos teóricos con su aplicación práctica en un entorno profesional real.

Así mismo, se buscará la realización de investigaciones y estudios de soluciones acerca de distintas metodologías presentes en la gestión inherente de la *metodología BIM* mediante el uso de diferentes edificios dentro del proyecto, en particular los siguientes estudios de soluciones:

- **Federación de modelos:**

Entre dichos objetivos, se presenta el comparar distintos flujos de trabajo empleados en la gestión de *modelos federados*, tanto en la creación como la actualización de los mismos, para analizar cuál de los flujos resulta más ventajoso para su gestión a través del edificio auxiliar encargado del control del tráfico en el proyecto (código de edificio 15D).

- **Creación de colisiones:**

Se buscará estudiar diferentes flujos de trabajos para la creación de colisiones a través del edificio auxiliar encargado del mantenimiento de la infraestructura (código de edificio 09D) evaluando su capacidad para definir como han de crearse cada una de las colisiones. Adicionalmente, se evaluará si cada uno de los flujos es capaz de generar la misma cantidad de *colisiones* que los otros flujos para dilucidar cuál de ellas es capaz de generar mayor cantidad de ellas.

- **Gestión de colisiones e incidencias:**

Adicionalmente, se buscará estudiar diferentes enfoques para la gestión de las colisiones e incidencias producidas entre las diferentes disciplinas y compañías que involucren el proyecto para establecer aquel que presenta una mayor eficiencia a través del edificio auxiliar encargado del mantenimiento de la infraestructura (código de edificio 09D), valorando su impacto en la coordinación general del proyecto y evaluando su criticidad técnica.

Finalmente, el último objetivo a definir será establecer diferentes flujos de trabajo integrales englobando los analizados individualmente para realizar un análisis final de qué flujo de trabajo integral resulta ser el ideal tanto de manera general, así como para el nuevo metro de Alejandría. También se tratará de establecer particularidades de cada uno de los flujos de trabajo integrales que se deberían de tomar en cuenta si fuera necesario dado de las particularidades inherentes a los diferentes proyectos de ingeniería civil.

2.3 Alcance

Dentro del estudio de soluciones que será llevado a cabo, se centrará en la definición y análisis de los flujos de trabajo durante la fase de concepción y diseño de los proyectos, considerando:

- La gestión de los *modelos federados* mediante la integración de las disciplinas.
- La creación de colisiones a través de los *modelos federados*.
- La gestión de colisiones e incidencias en la coordinación de los *modelos federados*.
- Comparación de metodologías de trabajo.

Como apartado independiente, se establecerá las posibles mejoras que se podrían llevar a cabo para un mejor desempeño de los flujos de trabajos.

Dentro del estudios de soluciones, quedarán fuera del alcance:

1. Diseño de modelos BIM.
2. Fases posteriores del ciclo de vida del activo como construcción y mantenimiento.
3. Análisis económico de la construcción de la obra.
4. Curva de aprendizaje de las diferentes herramientas de los flujos de trabajo.
5. Profundizar en aspectos normativos.
6. Coste de las diferentes herramientas utilizadas en el análisis.

2.4 Estructura del documento

A continuación, será detallado los diferentes capítulos que albergaran el presente trabajo:

- **Capítulo 3:** se establecerá los fundamentos y herramientas básicas necesarias para llevar a cabo correctamente el uso de la *metodología BIM* dentro de un proyecto.
- **Capítulo 4:** se justificará el uso de la *metodología BIM* dentro del proyecto del nuevo metro de Alejandría detallando los aspectos que favorecen su aplicabilidad en el proyecto.

- **Capítulo 5:** se establecerán los actuales flujos de trabajos usados en el proyecto para realizar la completa coordinación del proyecto dentro de la *metodología BIM*.
- **Capítulo 6:** se llevarán a cabo cada uno de los estudios de alternativas dentro del proyecto para cada uno de los aspectos para la coordinación mediante la *metodología BIM*.
- **Capítulo 7:** se establecerán y comentarán los resultados recopilados de los diferentes estudios de alternativas realizados en el capítulo 6 así como los ámbitos de aplicación de cada una de las alternativas.
- **Capítulo 8:** se detallarán las mejoras posibles que se podrían llevar a cabo para poder mejorar adicionalmente los flujos de trabajo que han sido evaluados y solventar las ineficiencias detectadas en ellas.

3 Fundamentos de la metodología BIM

3.1 Concepto

En las últimas décadas, el sector de la ingeniería civil ha experimentado una transformación significativa derivada de la incorporación de nuevas tecnologías digitales orientadas a mejorar la eficiencia, la calidad y la gestión de los proyectos. En este contexto, la *metodología BIM* ha emergido como una de las principales herramientas para impulsar la digitalización del sector, permitiendo una evolución desde los métodos tradicionales de trabajo hacia entornos colaborativos basados en la gestión integrada de la información.

Tradicionalmente, los proyectos de ingeniería civil se han desarrollado mediante procesos fragmentados lo que generaba problemas de coordinación, duplicidad de información, errores en fases de obra y sobrecostes asociados. La creciente complejidad de las infraestructuras, junto con la necesidad de optimizar recursos y cumplir con plazos cada vez más exigentes, ha puesto de manifiesto la necesidad de adoptar nuevas metodologías que permitan una gestión más eficiente y coordinada de los proyectos.

En este escenario, la *metodología BIM* se presenta como una solución que no solo introduce herramientas tecnológicas avanzadas, sino que redefine la forma de trabajar en el ámbito de la ingeniería civil. Su enfoque se basa en la creación de modelos digitales que integran toda la información relevante del proyecto, facilitando la colaboración entre los diferentes agentes implicados (ingenieros, arquitectos, contratistas, administraciones, etc.) a lo largo de todo el ciclo de vida de la infraestructura.

Así mismo, uno de los principios fundamentales de *BIM* es la centralización de la información, lo que implica que todos los agentes implicados trabajan sobre una *base común de datos* y modelos comunes que se actualizan de forma continua. Esto favorece la transparencia, la trazabilidad de los cambios y la reducción de errores derivados de la descoordinación entre disciplinas.

Finalmente, *BIM* se basa en un enfoque de trabajo colaborativo, en el que arquitectos, ingenieros, constructores y gestores participan de forma simultánea en el desarrollo del proyecto, compartiendo información a través de *entornos digitales comunes*. Este enfoque permite anticipar problemas en fases tempranas, optimizar recursos y mejorar la toma de decisiones.

3.2 Agentes

En la *metodología BIM*, el desarrollo de un proyecto se basa en la colaboración estructurada de múltiples agentes que intervienen a lo largo de todo el ciclo de vida del activo, desde su concepción hasta su explotación. A diferencia de los métodos tradicionales, la *metodología BIM* promueve un entorno de trabajo integrado en el que cada actor no solo desarrolla sus propias funciones, sino que también contribuye al enriquecimiento de un modelo digital compartido.

En este contexto, resulta fundamental identificar y comprender el papel de los principales agentes implicados, así como las responsabilidades que asumen dentro del flujo de trabajo colaborativo propio de la *metodología BIM*:



Ilustración 2. Agentes principales de la metodología BIM. Fuente: elaboración propia

Promotor:

Es el agente fundamental que impulsa y da sentido al proyecto dentro de la *metodología BIM*. Su responsabilidad no se limita únicamente a la financiación, sino que también define los objetivos estratégicos, los requisitos funcionales y los condicionantes económicos y temporales. En el contexto *BIM*, el promotor adquiere un papel especialmente relevante al establecer los requisitos de información que determina qué información debe generarse, en qué formato y en qué fases del ciclo de vida del activo. De este modo, el promotor actúa como guía del proceso, asegurando que el modelo *BIM* no solo represente la infraestructura, sino que también aporte valor en términos de gestión, explotación y mantenimiento a largo plazo.

Equipo de Diseño - Modelador BIM:

Es el encargado de desarrollar el proyecto utilizando herramientas *BIM* para generar modelos digitales detallados e integrados. A diferencia de los métodos tradicionales, este equipo trabaja de forma colaborativa en un *entorno común de datos (CDE)*, lo que permite la coordinación simultánea de todas las disciplinas. Su labor incluye la definición geométrica del edificio y la incorporación de información técnica. Además, el modelo generado por el equipo de diseño sirve como base para todas las fases posteriores, por lo que su calidad, coherencia y *nivel de desarrollo (LOD)* son determinantes para el éxito del proyecto.

BIM Manager:

Es el responsable de planificar, implementar y supervisar la estrategia *BIM* a lo largo de todo el proyecto. Su función principal es establecer los estándares, protocolos y metodologías de trabajo que deben seguir todos los agentes implicados, normalmente recogidos en el *Plan de Ejecución BIM (BEP)*. Este profesional coordina los flujos de información, garantiza la interoperabilidad entre herramientas, vela por la correcta gestión del *entorno común de datos* y gestiona la resolución de interferencias. Asimismo, actúa como enlace entre el promotor y el resto de las participantes, asegurando que se cumplan los requisitos establecidos y que la información generada tenga la calidad y estructura necesarias.

3.3 Herramientas

Plan de Ejecución BIM (BEP):

Es un documento fundamental dentro de la *metodología BIM* que define cómo se va a implementar, gestionar y desarrollar el trabajo colaborativo a lo largo de un proyecto. Su principal objetivo es establecer las directrices, procesos, responsabilidades y herramientas que utilizarán los distintos agentes implicados, garantizando así una correcta coordinación y un flujo de información eficiente. El *BEP* se elabora habitualmente en respuesta a los requisitos definidos por el promotor y actúa como una hoja de ruta que alinea a todos los participantes bajo criterios comunes.

Este documento recoge aspectos clave como la organización del equipo, los roles y responsabilidades de cada agente, los estándares y normativas a aplicar, la estructura de los modelos y los *niveles de desarrollo (LOD)*, así como los procedimientos de intercambio de información en el *entorno común de datos (CDE)*.

BIM Execution plan

The BEP is a document used as a tool to provide a standardized workflow and general guidance for strategic BIM implementation for a particular BIM project.

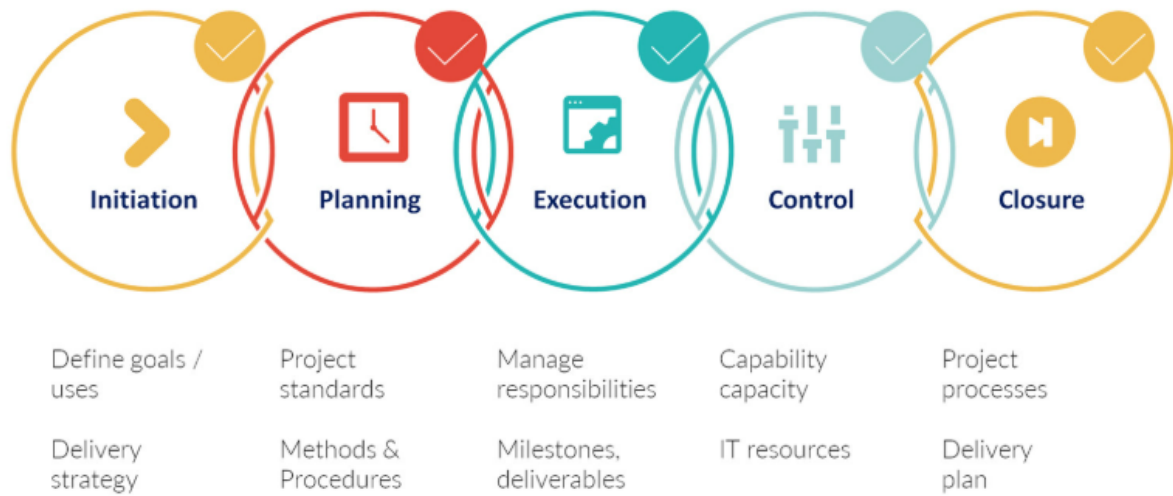


Ilustración 3. BIM Execution Plan. Fuente: breakwithanarchitect

Nivel de Desarrollo (LOD):

Es un concepto dentro de la *metodología BIM* dentro del *BEP* que permite definir el grado de detalle y fiabilidad de los elementos que componen un modelo en cada fase del proyecto. El *LOD* no solo hace referencia a la precisión geométrica, sino también a la cantidad y calidad de la información asociada a los elementos modelados, lo que permite a los diferentes agentes comprender hasta qué punto pueden confiar en dicha información para la toma de decisiones. De este modo, el *LOD* actúa como un estándar que facilita la comunicación y coordinación entre disciplinas, evitando malentendidos sobre el nivel de definición del modelo.

Los niveles de desarrollo suelen clasificarse de forma progresiva (LOD 100, 200, 300, 350, 400 y 500), correspondiendo cada uno a una fase del proyecto y a un mayor grado de detalle. Por ejemplo, en los niveles iniciales (LOD 100–200) los elementos se representan de manera conceptual o aproximada, mientras que en niveles intermedios (LOD 300–350) ya cuentan con una definición precisa en cuanto a dimensiones, ubicación y relaciones con otros elementos. En niveles más avanzados (LOD 400–500), los modelos alcanzan un grado de detalle constructivo e incluso reflejan el estado real del edificio una vez ejecutado (modelo “as-built”), incorporando información útil para la fabricación, montaje y mantenimiento.

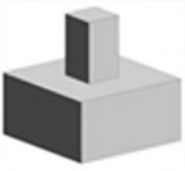
				
LOD-100	LOD-200	LOD-300	LOD-400	LOD-500
Preliminary layout Rough size and geometry	Definitive layout Preliminary dimensions Preliminary material	Definitive layout Detailed dimensions Material specification Detailed shape	Definitive layout Detailed dimensions Material specification Detailed shape Detailed reinforcement	As-built layout As-built dimensions As-built material specification Water proofing records

Ilustración 4. Niveles de LOD. Fuente: wesurveybuildings

Master Information Delivery Plan (MIDP):

Es un documento clave dentro de la *metodología BIM* que recoge la planificación global de la generación, gestión y entrega de la información a lo largo de todo el proyecto. Su principal función es establecer qué información se debe producir, quién es el responsable de generarla y en qué momento debe ser entregada, asegurando así una correcta organización y control del flujo de datos.

El *MIDP* se desarrolla a partir de los requisitos de información del cliente y del *Plan de Ejecución BIM (BEP)*, actuando como una herramienta que traduce estos requerimientos en un calendario estructurado de entregables. Este documento se construye a partir de la integración de los diferentes *Task Information Delivery Plans (TIDP)* elaborados por cada uno de los equipos o disciplinas participantes.

De este modo, el *MIDP* ofrece una visión global y coordinada de todas las entregas de información del proyecto, evitando duplicidades, retrasos o inconsistencias. En él se detallan aspectos como los tipos de entregables (modelos, planos, informes, etc.), los *niveles de desarrollo (LOD)* requeridos, las fechas de entrega y los responsables de cada tarea, todo ello alineado con las distintas fases del proyecto.

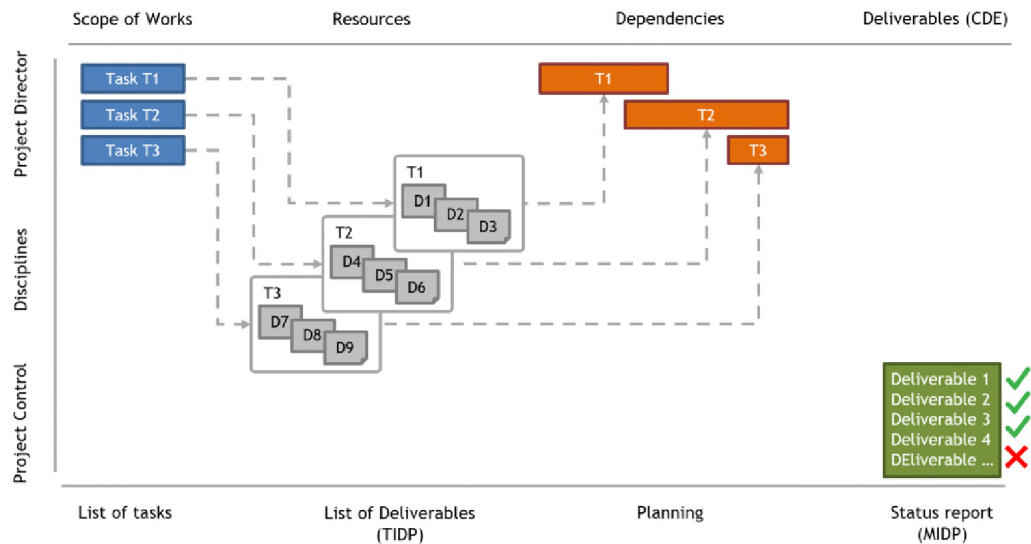


Ilustración 5. Concepto de MIDP. Fuente: BEP

Matriz de prioridad de colisiones:

Es una herramienta dentro de la *metodología BIM* que se utiliza para planificar, gestionar y controlar la detección de interferencias entre los distintos modelos o disciplinas que integran un proyecto. Su principal objetivo es establecer de forma clara qué elementos deben revisarse, a qué disciplinas afectan las posibles colisiones y quién es el responsable de resolverlas, permitiendo así una coordinación eficiente entre los diferentes equipos de trabajo.

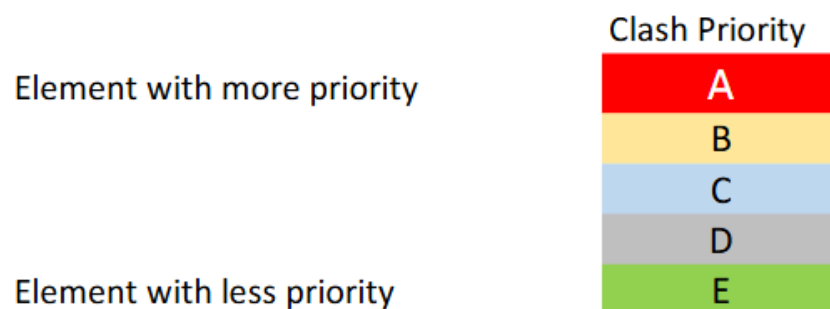


Ilustración 6. Clasificación de prioridad de colisiones. Fuente: Clash Matrix

En un entorno *BIM*, los modelos de arquitectura, estructura e instalaciones (*MEP*) se desarrollan de manera simultánea, lo que puede dar lugar a conflictos espaciales o funcionales entre sus elementos. La matriz de prioridad de colisiones organiza estas revisiones mediante una tabla en la que se cruzan las distintas disciplinas, identificando las combinaciones que deben someterse a procesos de detección de colisiones.

Además, establece la prioridad de las revisiones, los niveles de tolerancia admitidos y los responsables de analizar y solucionar los conflictos detectados, facilitando así un proceso sistemático y ordenado.

MULTIDISCIPLINARY COORDINATION AND INTERFERENCE MATRIX		Discipline			Earthworks and Existing (EXT)	Trackworks (TRK, PROVIDED BY COLAS)	Railway Services (RS PROVIDED BY COLAS)	Railway Signage (PROVIDED BY COLAS)	Roads Alignment (ROA)	Drainage (DRA)
		Group			EX	TRK	RS	RG	RO	DR
Discipline	Group	Group Description	Clash Priority	Topography and Existing	EX.01 Topography	TRK.01 Platform and Ballast	RS.01 Catenary	RG.01 Panels and Racks	RO.01 Pavement Roads and Sidewalks	DR.01 Transversal Drainage (Culverts and Wingwalls)
Earthworks and Existing (EXT)	EX	Topography and Existing								
	EX.01	Topography	C	D						
	EX.02	Existing Buildings and Structures	A							
	EX.03	Sidewalk, Roads and Road Elements	B							
Trackworks (TRK, PROVIDED BY COLAS)	TRK	Trackworks								
	TRK.01	Platform and Ballast	B							
	TRK.02	Rails and Sleepers	A							
	TRK.03	Earthworks	B							
Railway Services (RS PROVIDED BY COLAS)	RS	Railway Services								
	RS.01	Catenary	B							
	RS.02	Equipment (Transformers, Groups, SAI)	C							
	RS.03	Security and Protection (test)	D							
Railway Signage (PROVIDED BY COLAS)	RG	Railway Signage								
	RG.01	Panels and Racks	C							
	RG.02	Equipment and Balises	B							
	RG.03	Traffic Lights	A							
Roads Alignment (ROA)	RO	Roads Alignment								
	RO.01	Pavement Roads and Sidewalks	B							
	RO.02	Kerbs	C							
	RO.03	Land Fills	E							
Drainage (DRA)	DR	Drainage								
	DR.01	Transversal Drainage (Culverts and Wingwalls)	B							
	DR.02	Longitudinal Drainage (Collectors, Drains, Manholes)	B							

Ilustración 7. Ejemplo de prioridad de matriz de colisiones. Fuente: Clash Matrix

Entorno de datos común (CDE):

Es una herramienta que gestiona, organiza y comparte toda la información de un proyecto *BIM*, garantizando que todas las disciplinas trabajen sobre datos actualizados y fiables. En este contexto, plataformas como *Autodesk Construction Cloud (ACC)* se han consolidado como herramientas clave para implementar el *CDE* de manera efectiva, proporcionando un entorno digital centralizado en el que se almacenan modelos, documentos, planos y comunicaciones del proyecto.

ACC permite estructurar la información siguiendo un flujo organizado (trabajo en curso, compartido, publicado y archivado), facilitando el control de versiones, la trazabilidad de cambios y la gestión de permisos de acceso según los distintos roles. Además, integra herramientas específicas para la coordinación *BIM*, como la revisión de modelos, detección de *interferencias* (“clash detection”) y seguimiento de *incidencias* (“issues”), lo que mejora la colaboración entre disciplinas y reduce errores derivados de la falta de coordinación. Todo ello se realiza en una plataforma accesible en la nube, lo que permite a los distintos agentes trabajar de forma simultánea y desde cualquier ubicación.

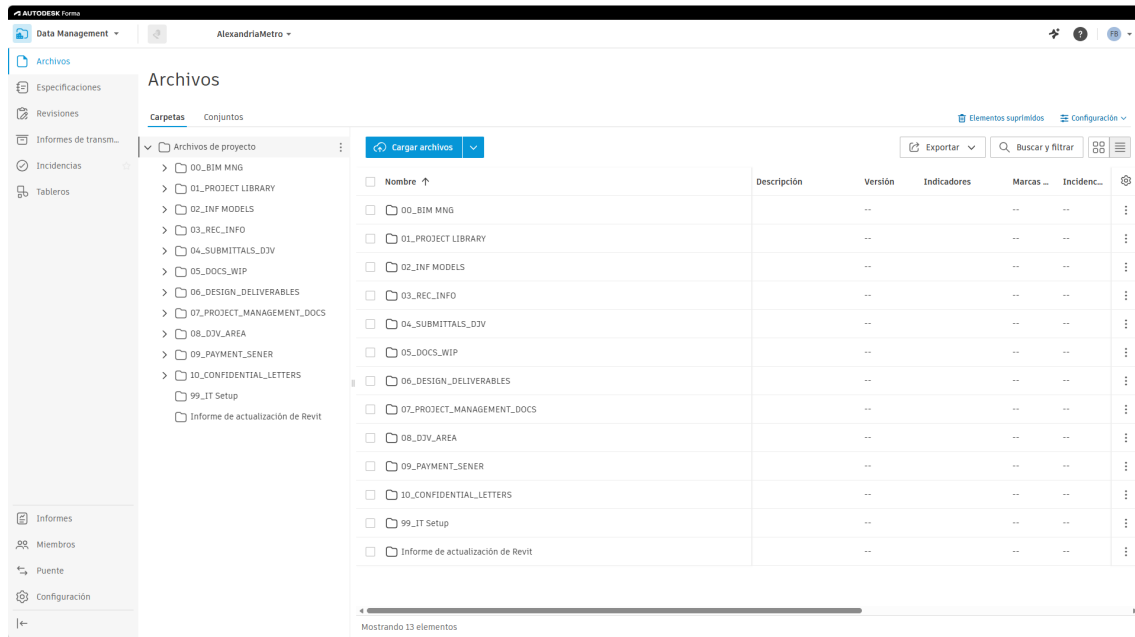


Ilustración 8. Interfaz de Autodesk Construction Cloud. Fuente: elaboración propia

4 Ventajas de la metodología BIM en el metro de Alejandría

En la actualidad, la construcción de grandes proyectos de ingeniería civil está a la orden del día, siendo el nuevo metro de Alejandría un claro ejemplo de ellos. Ante este tipo de actuaciones, surge una cuestión fundamental: ¿Sería posible abordar con eficacia proyectos de esta magnitud utilizando únicamente metodologías tradicionales? La creciente escala, complejidad técnica y necesidad de coordinación entre múltiples disciplinas hacen que los métodos convencionales resulten, en muchos casos, insuficientes para garantizar un desarrollo óptimo:

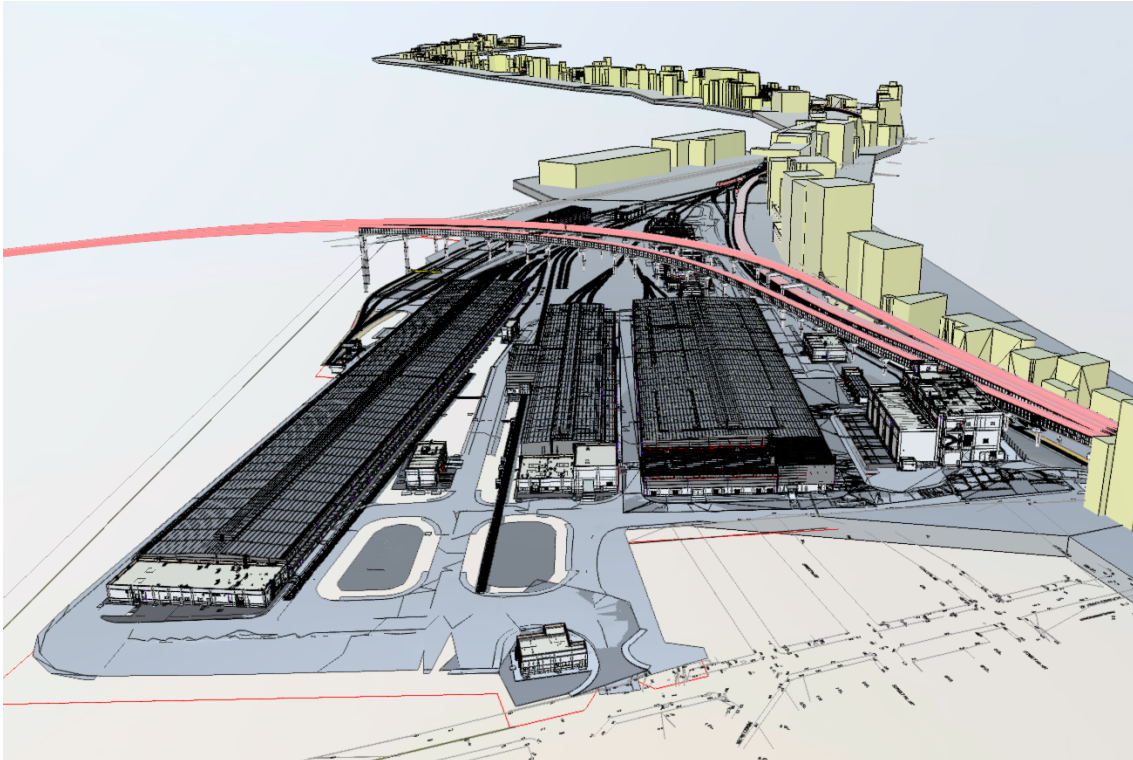


Ilustración 9. Modelo BIM de las instalaciones auxiliares del nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

En este contexto, la *metodología BIM* se posiciona como una herramienta prácticamente indispensable, ya que no solo permite gestionar grandes volúmenes de información, sino que también facilita la integración y comprensión global del proyecto como es el caso del proyecto en cuestión. Esta capacidad resulta especialmente relevante en infraestructuras lineales y complejas como un sistema de metro, donde la coordinación entre múltiples disciplinas es clave.

Sin embargo, surge una cuestión inevitable: ¿por qué BIM se ha convertido en un elemento tan necesario en proyectos de esta magnitud? ¿Qué lo diferencia de las metodologías tradicionales hasta el punto de considerarlo imprescindible en la actualidad?

4.1 Federación de modelos

Una de las principales ventajas que proporciona la *metodología BIM* es la integración de los modelos 3D y la información, mediante la creación de *modelos federados*, que consiste en la integración de las modelos 3D de las diferentes disciplinas en un único modelo integrado.

Dicha metodología ha desbancado progresivamente a la tradicional elaboración de proyectos mediante planos 2D debido a su capacidad para integrar, coordinar y visualizar de forma conjunta toda la información del proyecto en un entorno digital único. Mientras que el enfoque 2D se basa en la superposición de planos independientes que requieren una interpretación constante y son propensos a incoherencias entre disciplinas, como se puede observar en la Ilustración 10:

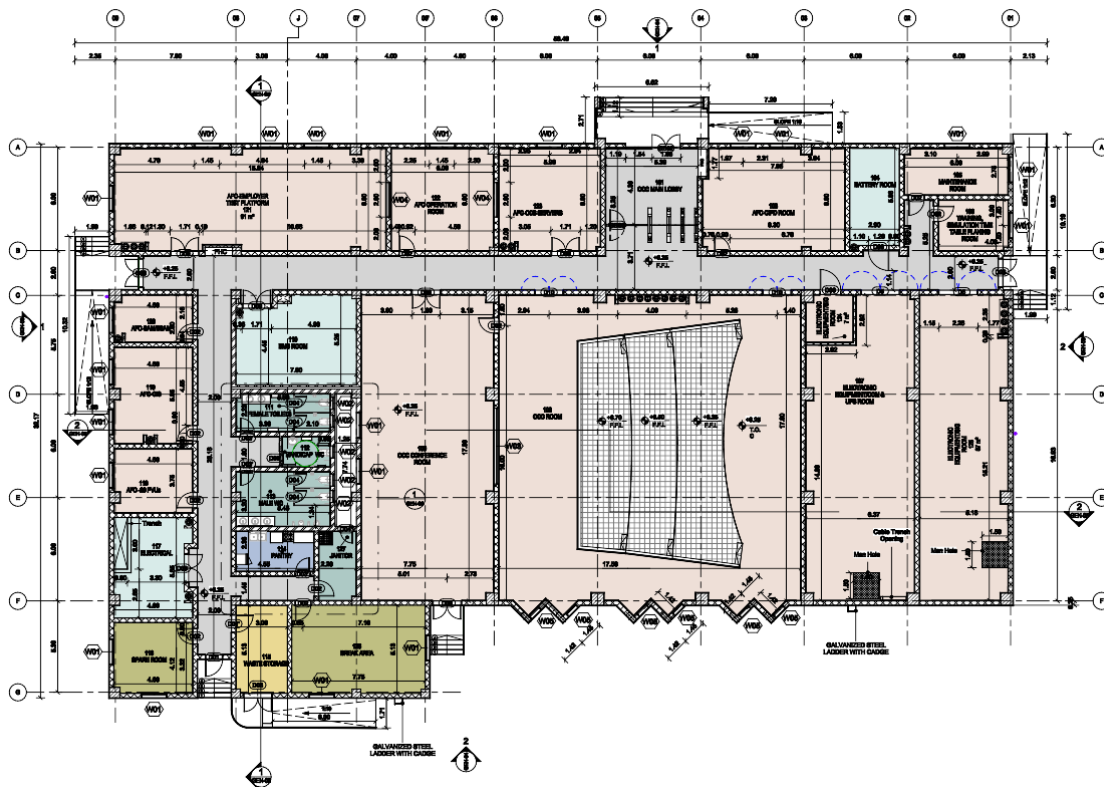


Ilustración 10. Plano 2D del edificio de control del nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

La *federación de modelos* permite reunir en un mismo espacio los modelos de cada una de las disciplinas del proyecto en formato 3D como arquitectura, estructura e instalaciones como se puede observar en la Ilustración 11, facilitando una visión global y coherente. Esto no solo mejora la comprensión del proyecto, sino que también permite detectar interferencias de manera temprana, optimizar el diseño y reducir errores en fases posteriores.

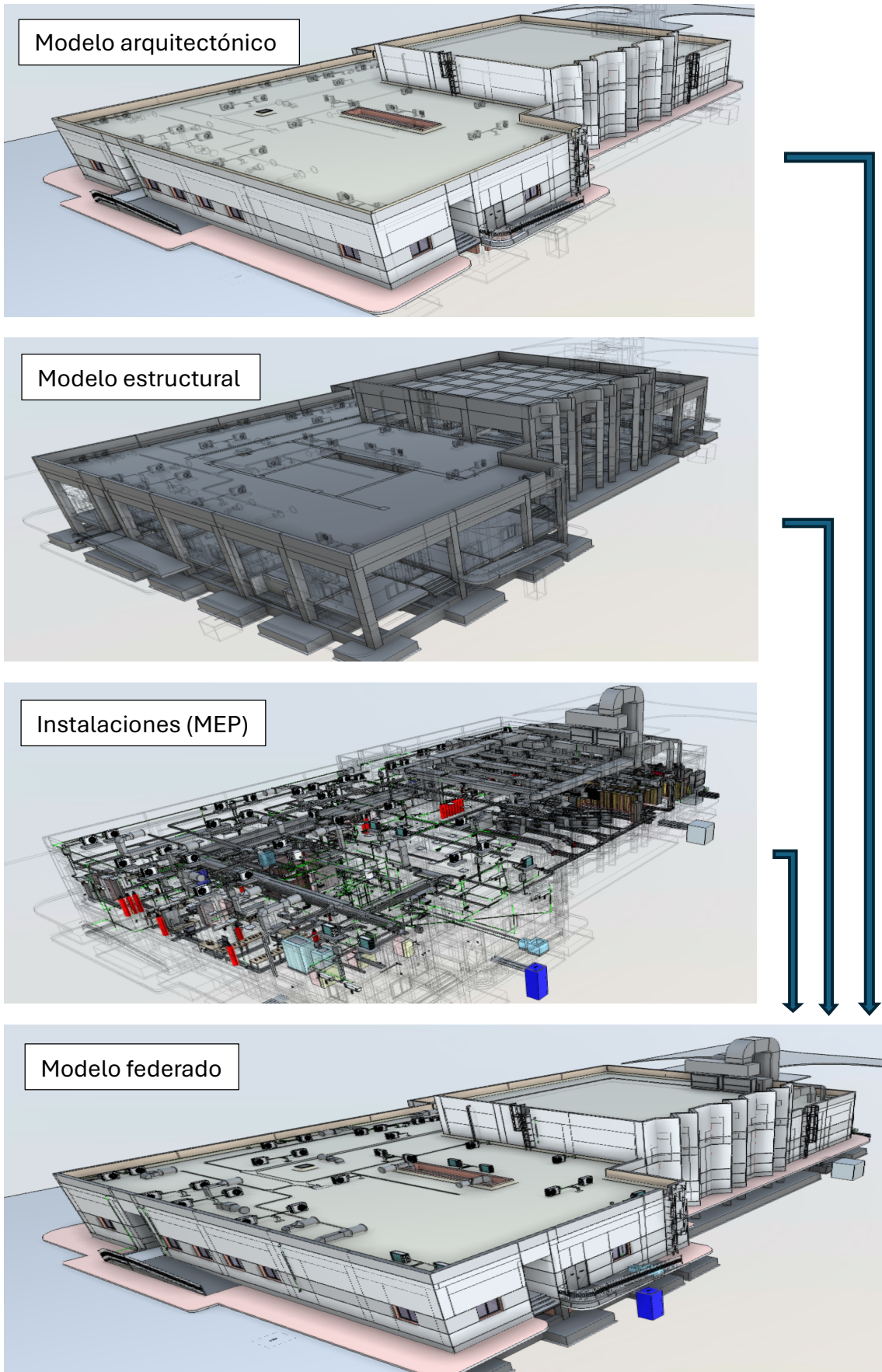


Ilustración 11. Modelo federado del edificio de control del nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

En definitiva, frente a la fragmentación y limitaciones del dibujo 2D, la federación de modelos aporta un entorno colaborativo, dinámico y preciso que responde mejor a las exigencias actuales de proyectos cada vez más complejos.

Cabe añadir, que, para la federación de todos los modelos, se ha establecido un nivel de *Level of Development (LOD)* de 200 para los modelos preliminares y 300 para los modelos definitivos. Esto es debido a que al *federar los modelos* se requiere cierta cantidad de tiempo, como se verá en la sección 5.5.1. Al tener una gran cantidad de modelos en el proyecto, niveles superiores de LOD supondría una gran cantidad extra de información en los modelos que causarían demoras en su gestión. Además, la mayoría de los modelos no son edificios singulares, como la gran mayoría de los edificios auxiliares, lo que no aportaría una información adicional relevante al proyecto.

4.2 Gestión de incidencias

Como se menciona previamente, la integración de los modelos 3D junto con la información asociada ha permitido alcanzar una visión global y coherente del proyecto, facilitando un mayor control tanto de la geometría como de los distintos elementos que lo componen. Esta capacidad de integración supone un cambio significativo respecto a los métodos tradicionales, en los que la información se encontraba fragmentada en múltiples documentos independientes.

Gracias a esta metodología, es posible gestionar de forma mucho más eficiente las posibles inconsistencias entre disciplinas, las cuales anteriormente resultaban difíciles de detectar y, en muchos casos, no se identificaban hasta fases avanzadas de la obra. Mediante el uso de *modelos federados* y herramientas de coordinación, estas interferencias pasan a ser fácilmente visibles, localizables y trazables dentro del entorno digital.

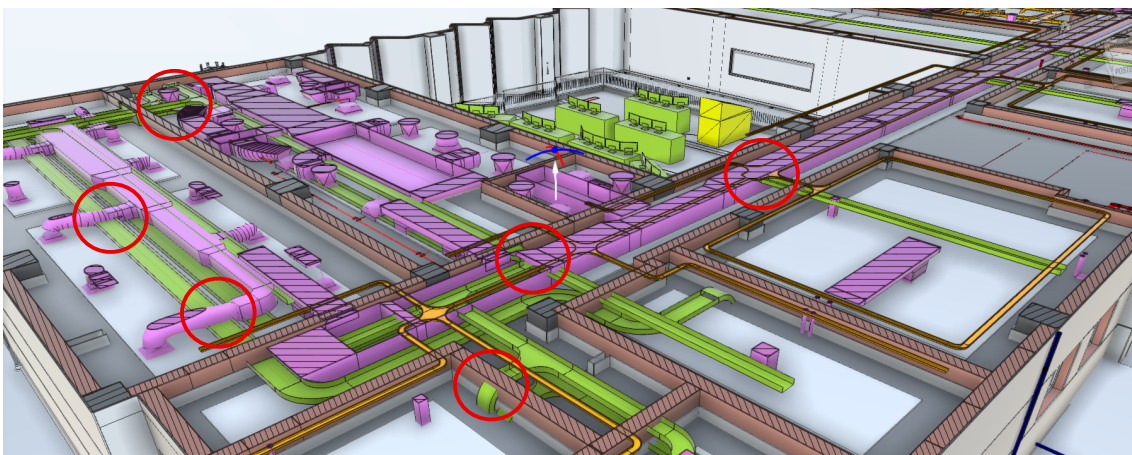


Ilustración 12. Ejemplo de colisiones entre instalaciones (remarcadas en rojo). Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, con la *metodología BIM*, a través de ACC, es posible crear incidencias donde se indica cada una de las colisiones detectadas (Ilustración 13), su responsable, así como el tiempo para solucionar la colisión. Con ello se permite controlar cada una de ellas a través del tiempo, desde que es creada hasta que es solucionada.

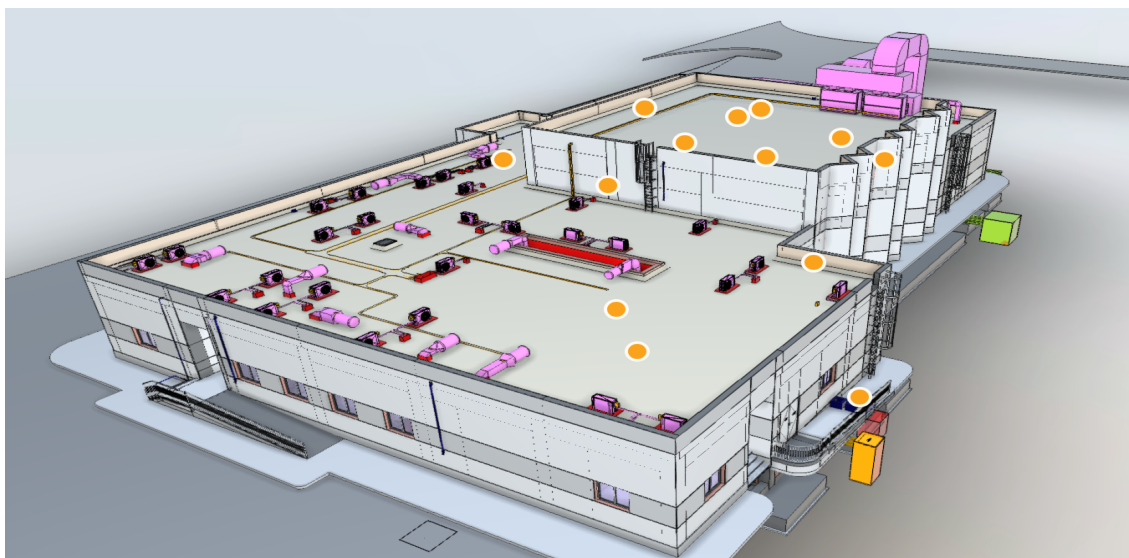


Ilustración 13. Modelos de edificio de control con incidencias creadas. Fuente: elaboración propia

Si alguna de las incidencias creadas (bolas naranjas) es presionada, inmediatamente es posible observar las características mencionadas anteriormente:

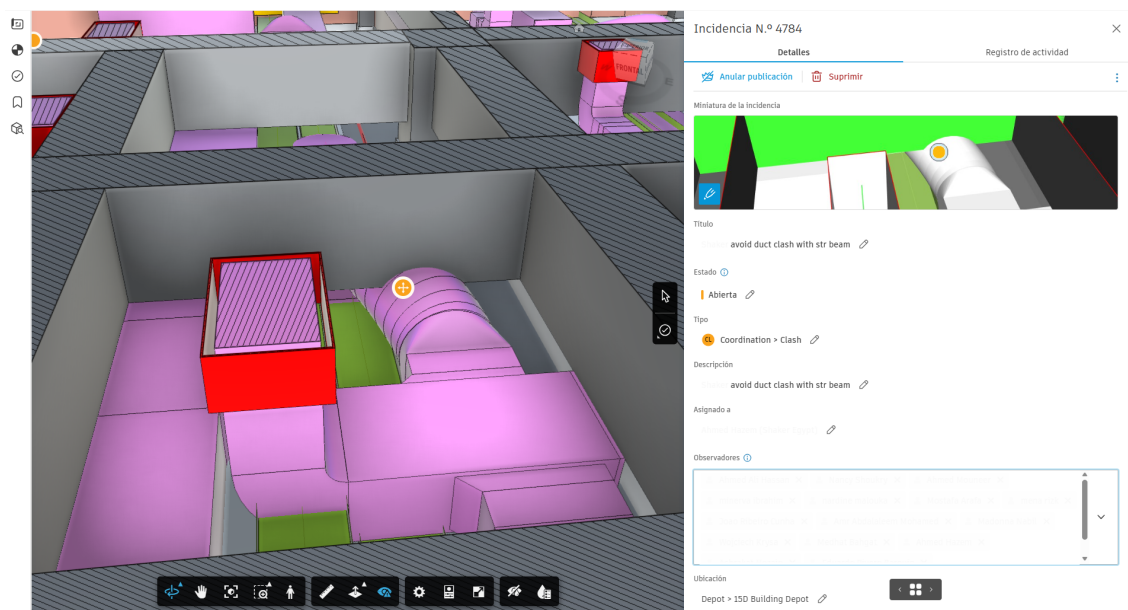


Ilustración 14. Ejemplo de colisión e incidencia. Fuente: elaboración propia

En la Ilustración 14 se muestra un ejemplo donde se detecta una colisión entre un conducto de ventilación de las instalaciones con una de las vigas estructurales de una de las edificaciones del proyecto (15D). En esta incidencia, se notifica que hay una colisión física, estableciendo que es necesario esquivar la viga, quién es el responsable de la resolución, los observadores y finalmente el emplazamiento del edificio donde se ubica la incidencia.

4.3 Trazabilidad

Dentro de la *metodología BIM*, un aspecto fundamental, es la trazabilidad de la información y los modelos. Antiguamente, era necesario ir creando copias de seguridad que ocupaban capacidad dentro de la zona de almacenamiento. Además, si simplemente el proyecto era guardado, la versión anterior era eliminada, usualmente sin la posibilidad de recuperar las versiones anteriores.

Con la implantación de la *metodología BIM*, se ha incorporado el rastreo de la información y los modelos. Ahora es posible realizar un seguimiento de las versiones que son creadas, quien las ha creado y cuando se han creado, tal y como se muestra en la Ilustración 15.

Nombre	Descripción	Versión	Indicadores	Marcas	Incidenc...	Tamaño	Última actualización	Actualizado por	Versión añadida por	Estado
980-D3V-05V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 0...	V21				103,9 MB	21 de may de 2026 8:55	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-07V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 0...	V22				228,3 MB	21 de may de 2026 9:53	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-09V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 0...	V15				20,1 MB	20 de mar de 2026 12:52	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-11V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 1...	V15				101,9 MB	21 de may de 2026 10:13	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-13V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 1...	V26				86,1 MB	25 de may de 2026 15:03	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-15V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 1...	V21				17,4 MB	21 de may de 2026 10:52	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-17V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 1...	V18				11,6 MB	21 de may de 2026 12:19	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-19V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 1...	V12				7 MB	22 de may de 2026 8:54	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-21V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 2...	V9				19 MB	2 de jun de 2026 9:11	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-23V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 2...	V11				13,6 MB	20 de mar de 2026 13:30	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-25V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 2...	V7				19,2 MB	20 de mar de 2026 13:32	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-27V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 2...	V13				13,4 MB	20 de mar de 2026 13:42	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-29V-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 2...	V15				124,4 MB	13 de may de 2026 9:08	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-31G-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 3...	V4				2,3 MB	5 de may de 2026 10:52	Francisco Sol...	Francisco Soler...	
980-D3V-33G-GEN-3DM-00001.nwd	FEDERATED VIADUCT 3...	V5				88,8 MB	21 de may de 2026 8:22	Francisco Sol...	Francisco Soler...	

Ilustración 15. Ejemplo de rastreo de la información en ACC. Fuente: elaboración propia

Como es posible observar, los *modelos federados* de los viaductos que conectan las estaciones de metro muestran tanto la versión del modelo, como la fecha de su última actualización, así como el autor que ha creado la versión. Adicionalmente,

es posible ver el historial de las versiones de cada modelo, tal y como se muestra en la Ilustración 16.

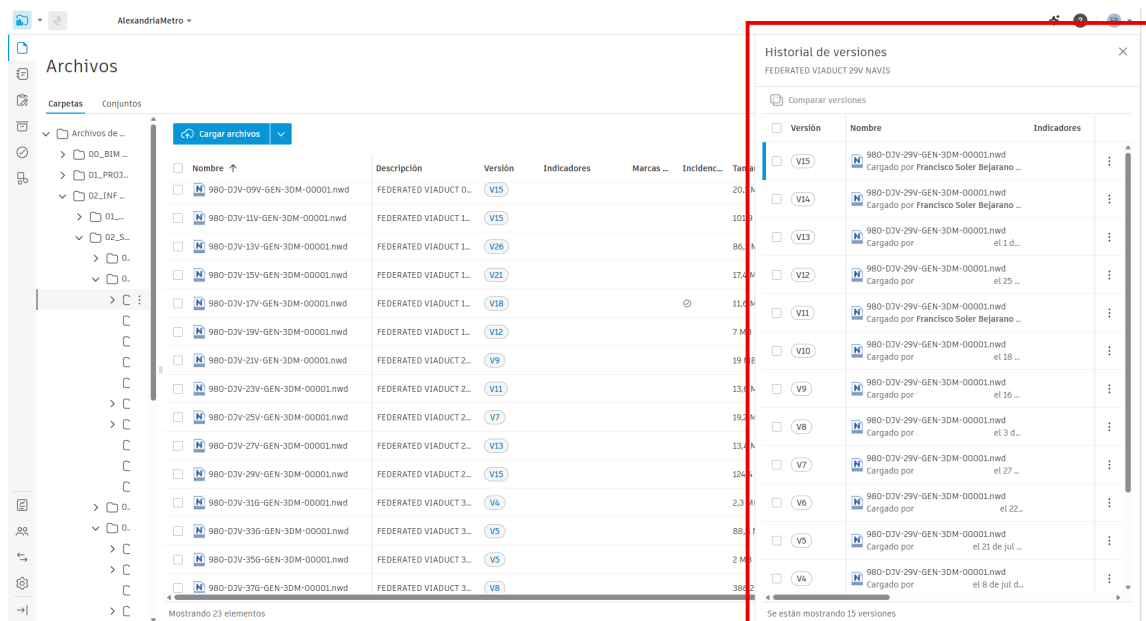


Ilustración 16. Ejemplo de rastreo de versiones. Fuente: elaboración propia

En el historial de versiones es posible ver quien ha creado cada una de las versiones y la fecha. Además, si una nueva versión presenta problemas o no está realizada correctamente, existe la posibilidad de retroceder a cualquiera de las versiones anteriores y reestablecerla como versión activa.

Con todo ello, se consigue que toda la información quede almacenada, permitiendo en caso de errores o imprudencias, que se retorne a versiones anteriores, evitando rehacer el trabajo previo y ahorrando grandes cantidades de tiempo y recursos para evitar los errores mencionados.

4.4 Información y auditoría

Con toda la información que se almacena en los modelos *BIM*, se abre la posibilidad de realizar controles de calidad de los modelos que antes no era posible realizar.

Actualmente, cada uno de los elementos de los modelos presentan información propia como nombre, categoría, *familia*... Aunque los parámetros y la información que posean dependen en gran medida del *BIM Execution Plan* y del *Level of Development* establecido para cada uno de los elementos. Con ello, es conseguido que los modelos presenten toda la información necesaria para su diseño y posterior ejecución.

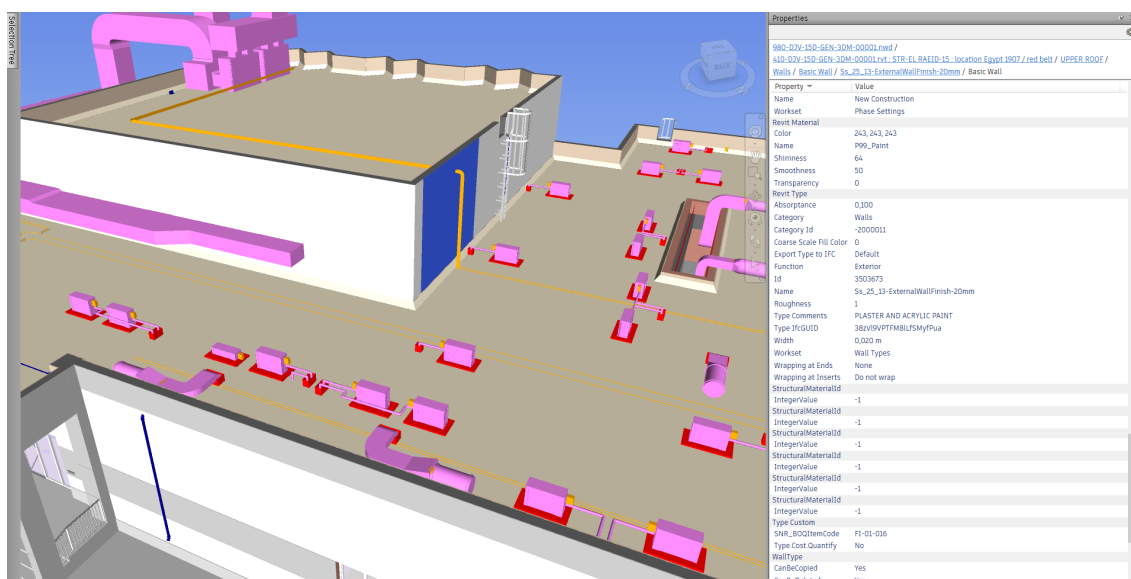


Ilustración 17. Información de un elemento del modelo. Fuente: elaboración propia

En la Ilustración 17 mostrada previamente, es posible observar toda la información que presenta, en este caso, un muro del modelo arquitectónico perteneciente a parte del cerramiento del edificio.

Adicionalmente, los propios modelos presentan información propia, como por ejemplo se puede apreciar en la Ilustración 18, la cual es extraída mediante herramientas especializadas, aunque también es posible consultarla en los propios modelos de Revit:

File	Parameter	Value
602 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	Presto.HashCode	
603 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	Presto.HashCode	
604 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	AreaCalculationInternationalBuildNumber	ZgA-BAAAAA--2018BgfIAAAAGQAAABAAQAAAYBZAAAHBwAABAAQAAABUAQAAACHD
605 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_GEN_DesignPackageCode	WP01
606 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_GEN_DesignPackageDescription	GENERAL TEMPLATE
607 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_GEN_DesignSementCode	
608 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_GEN_DesignSementDescription	
609 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_COO_ClashGroup	
610 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_COO_ClashPriority	
611 710-CIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_COO_QualityCheck	
612 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Route Analysis Settings	
613 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Category	Project Information
614 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Category	Project Information
615 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Organization Name	
616 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Organization Description	DIV
617 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Building Name	DEPOT 070
618 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Author	X.X.
619 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	IfcSite GUID	
620 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	IfcBuilding GUID	
621 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	IfcProject GUID	
622 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Design Option	
623 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Project Issue Date	Issue Date
624 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Project Status	PD
625 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Client Name	
626 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Project Address	ALEXANDRIA, EGYPT
627 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Project Name	AGM
628 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Project Number	
629 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Edited by	
630 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Worksheet	Project Info
631 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Family Name	
632 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Type Name	
633 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Presto.HashCode	
634 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	Presto.HashCode	
635 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	AreaCalculationInternationalBuildNumber	ZgA-BAAAAA--2018BgfIAAAAGQAAABAAQAAAYBZAAAHBwAABAAQAAABUAQAAACHD
636 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_GEN_DesignPackageCode	WP01
637 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_GEN_DesignPackageDescription	GENERAL TEMPLATE
638 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_GEN_DesignSementCode	
639 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_GEN_DesignSementDescription	
640 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_COO_ClashGroup	
641 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_COO_ClashPriority	
642 980-DIV-150-GEN-3DM-00001	SNR_COO_QualityCheck	

Ilustración 18. Hoja Excel de información de proyecto. Fuente: elaboración propia

En ella, es posible apreciar información de proyecto, como el nombre de la organización, descripción, nombre de proyecto entre otros.

4.5 Clasificación de información y modelos

Finalmente, otras de las ventajas de la *metodología BIM* es el control de la información. Mientras que antiguamente, cualquier persona podía tener acceso a todos los archivos del modelo, actualmente es posible ordenar y restringir el acceso de la información a cada una de las disciplinas, miembros y clientes del proyecto según el rol que presente cada uno de ellos y los *worksets* presentes en Revit.

Para ello, la información es organizada en 4 carpetas: WIP (Work in Progress), SHARED, PUBLISHED y ARCHIVED. Cada uno cumple con una función diferente, siendo mostrado en la Ilustración 19:

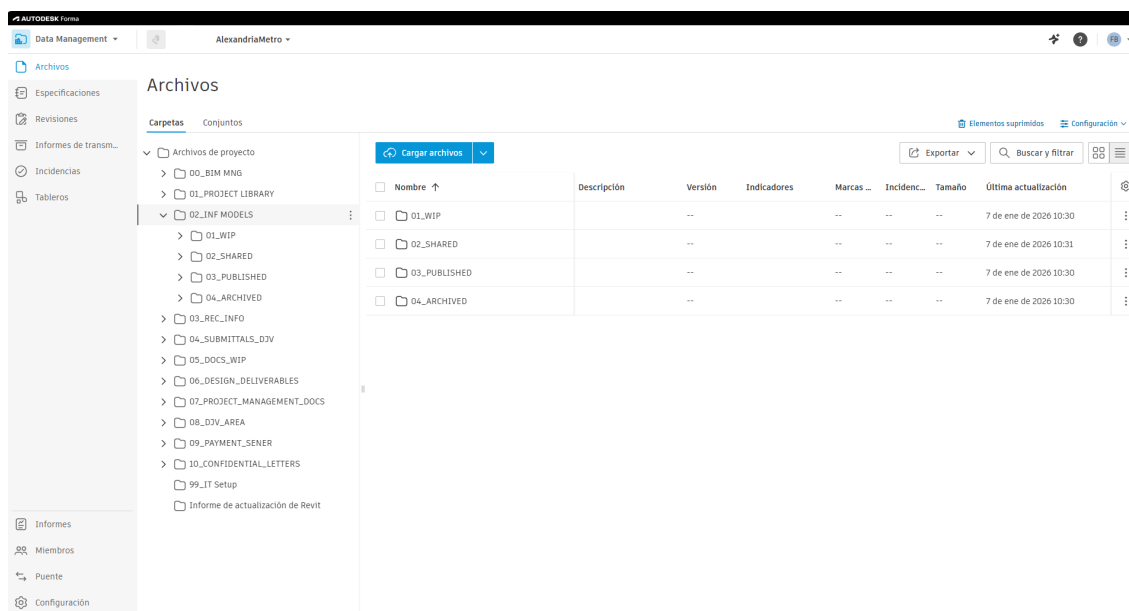


Ilustración 19. Clasificación de la información en ACC. Fuente: elaboración propia

WIP (Work in Progress): es una carpeta para cada una de las disciplinas del proyecto, donde se realiza el trabajo en proceso antes de ser publicado para que las demás disciplinas puedan verlo.

SHARED: la información acabada en la carpeta WIP por cada disciplina es publicada y copiada a la carpeta SHARED. Esa información o modelos puede ser consumida por cada una de las disciplinas para que sea incorporada a cada una de sus respectivas carpetas WIP para que puedan trabajar con las últimas versiones de los proyectos.

PUBLISHED: contiene la información y modelos aprobados normalmente por el cliente mediante un proceso de entregas y revisiones. Representa una información validada y congelada que suele servir para la ejecución del proyecto.

ARCHIVED: está destinada a almacenar versiones anteriores o ya sustituidas de los modelos y documentos del proyecto, funcionando como un repositorio histórico dentro del entorno BIM; en ella se conservan archivos que ya no están en uso activo,

Con todo ello, actualmente es posible llevar a cabo procesos sistemáticos de revisión y auditoría de modelos que antes no era posible llevar a cabo, lo que supone un avance significativo en el control de la información y la calidad del proyecto. Esta capacidad permite analizar no solo la correcta definición geométrica de los elementos, sino también la coherencia, integridad y estructuración de los datos asociados a los mismos.

5 Flujo de trabajo actual en el metro de Alejandría

En anteriores apartados, han sido mostradas las ventajas que presenta la *metodología BIM* en el diseño de proyectos de gran envergadura como es el caso del nuevo metro de Alejandría. A continuación, se pasan a describir las herramientas usadas y requeridas para llevar a cabo los procesos que la *metodología BIM* conlleva en dicho proyecto.

Para ello, se representan mediante la Ilustración 20 un diagrama todas las herramientas informáticas utilizadas para llevar a cabo el actual flujo de trabajo:

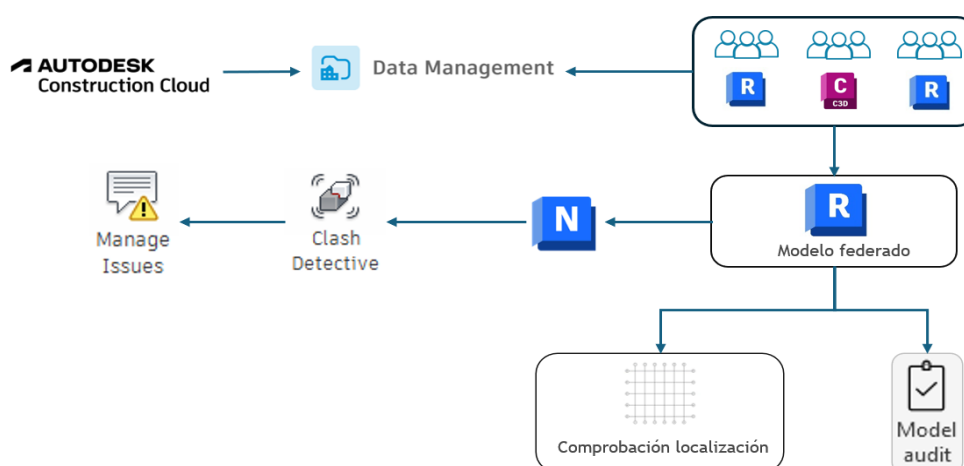


Ilustración 20. Diagrama del flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

5.1 Entorno común de datos:

Para la centralización de la información y los modelos pertenecientes al proyecto, se utiliza la herramienta de *Autodesk Construction Cloud* a través del módulo *Data Management* indicado en la Ilustración 21:

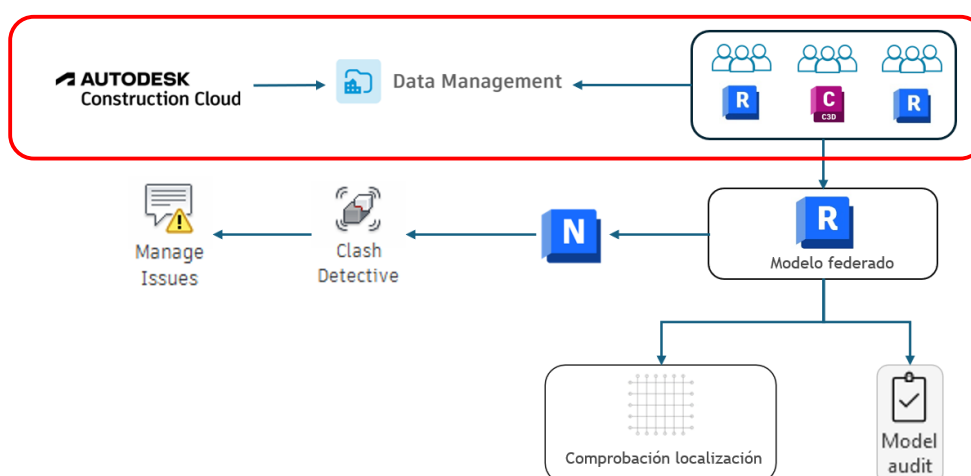


Ilustración 21. Entorno común de datos en el flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

AUTODESK Forma

Data Management | AlexandriaMetro

Archivos

- Archivos
- Especificaciones
- Revisiones
- Informes de transmi...
- Incidencias
- Tableros

Carpetas Conjuntos

▼ Archivos de proyecto

- 00_BIM MNG
- 01_PROJECT LIBRARY
- 02_INF MODELS
- 03_REC_INFO
- 04_SUBMITTALS_DVJ
- 05_DOCS_WIP
- 06_DESIGN_DELIVERABLES
- 07_PROJECT_MANAGEMENT_DOCS
- 08_ODV_AREA
- 09_PAYMENT_SENER
- 10_CONFIDENTIAL_LETTERS
 - 99_IT Setup
 - Informe de actualización de Revit

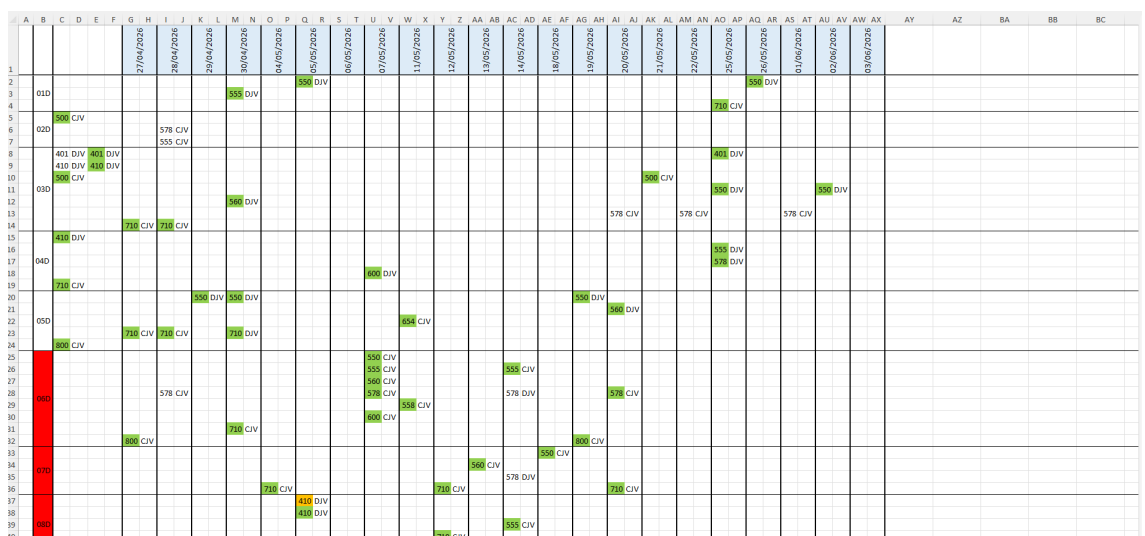
Cargar archivos ▼

Exportar ▼ Buscar y filtrar

Nombre ↑	Descripción	Versión	Indicadores	Marcas ...	Incidenc...	Tamaño	Última actualización
00_BIM MNG		--	--	--	--	7 de ene de 2026 10:30	
01_PROJECT LIBRARY		--	--	--	--	7 de ene de 2026 10:31	
02_INF MODELS		--	--	--	--	7 de ene de 2026 10:30	
03_REC_INFO		--	--	--	--	7 de ene de 2026 10:31	
04_SUBMITTALS_DVJ		--	--	--	--	11 de may de 2026 14:24	
05_DOCS_WIP		--	--	--	--	7 de ene de 2026 10:30	
06_DESIGN_DELIVERABLES		--	--	--	--	7 de ene de 2026 10:31	
07_PROJECT_MANAGEMENT_DOCS		--	--	--	--	7 de ene de 2026 10:30	
08_ODV_AREA		--	--	--	--	24 de may de 2026 16:08	
09_PAYMENT_SENER		--	--	--	--	12 de may de 2026 14:16	
10_CONFIDENTIAL_LETTERS		--	--	--	--	18 de mar de 2026 9:21	
99_IT Setup		--	--	--	--	14 de ene de 2026 13:57	
Informe de actualización de Revit		--	--	--	--	7 de ene de 2026 10:30	

Mostrando 13 elementos

Mediante la activación de las notificaciones, cuando una nueva versión de los modelos es incorporada, inmediatamente ACC envía una notificación por correo electrónico informando del modelo actualizado, así como su versión y fecha. Con ello, cada una de las notificaciones se registra en el MIDP y en una hoja Excel para saber qué *modelo federado* hay que actualizar.



Estudio de alternativas de flujos de trabajo para la aplicación de la metodología BIM en el proyecto del nuevo metro de Alejandría (Egipto)

En la Ilustración 23, se puede observar en la parte izquierda cada uno de los edificios auxiliares y en la parte superior la fecha, colocando en su interior los modelos que se van actualizando. Con ello, se consigue registrar qué modelos han sido actualizado de cada uno de los edificios y cuando fue realizada la actualización de estos.

En cuanto un modelo tiene por actualizar el modelo 401 (modelo estructural) o 410 (modelo arquitectónico) se actualizan prioritariamente respecto a las demás edificaciones que no lo tengan, debido a su importancia en el *modelo federado*, ya que son los que condicionan los demás modelos. En cuanto esos edificios son actualizados, se procede a la actualización de los demás por orden de aquellos que presentan más modelos de las disciplinas por actualizar.

5.2 Gestión de modelos federados

Para la gestión de los *modelos federados*, lo que incluye la creación y mantenimiento de estos, se usan los programas *Revit* y *Navisworks*. *Revit* para incluir los modelos de cada una de las disciplinas y *Navisworks* para introducir modelos de contorno como el terreno, las vías de ferrocarril o los edificios colindantes para proporcionar contexto a cada edificación:

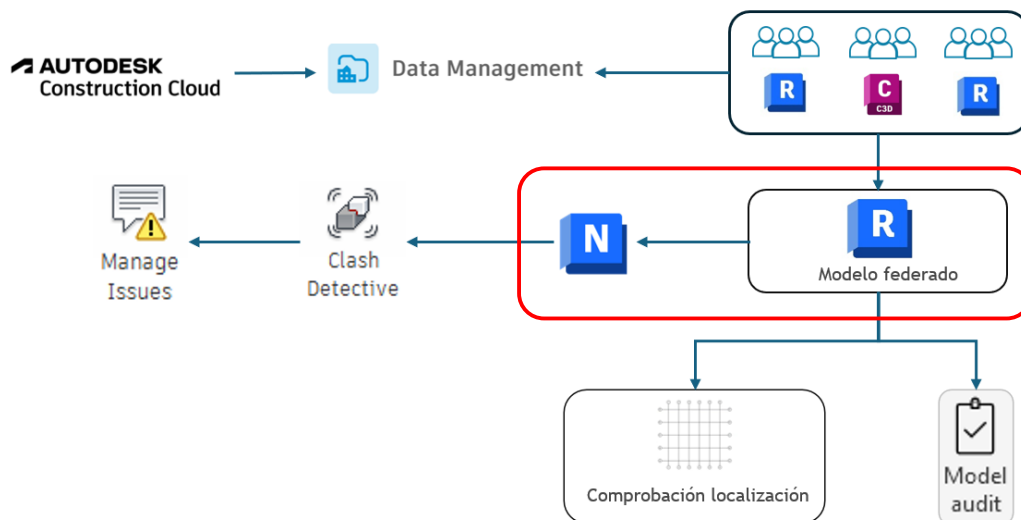


Ilustración 24. Gestión de modelos federados en el flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

En primer lugar, los modelos de las distintas disciplinas son introducidos en un modelo *Revit* vacío con *coordenadas compartidas*, para que se ubiquen correctamente. En este modelo se crea la *federación del modelo* y adicionalmente se revisa que los modelos estén ubicados correctamente:

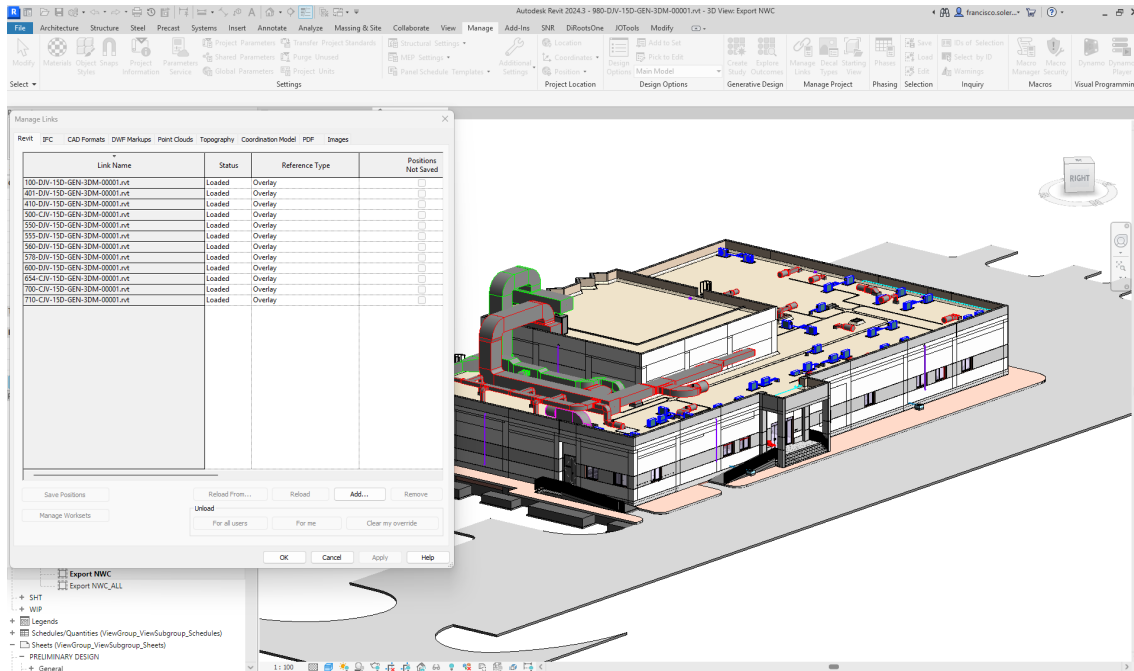


Ilustración 25. Federación de modelos en Revit. Fuente: elaboración propia

Una vez se federa el modelo en *Revit*, se exporta en *archivo NWC*, para que pueda ser leído por el programa *Navisworks*. En él, además del modelo, se introducen, si fueran necesarios, otros modelos de contorno para dar contexto a la casuística que envuelve a la edificación:

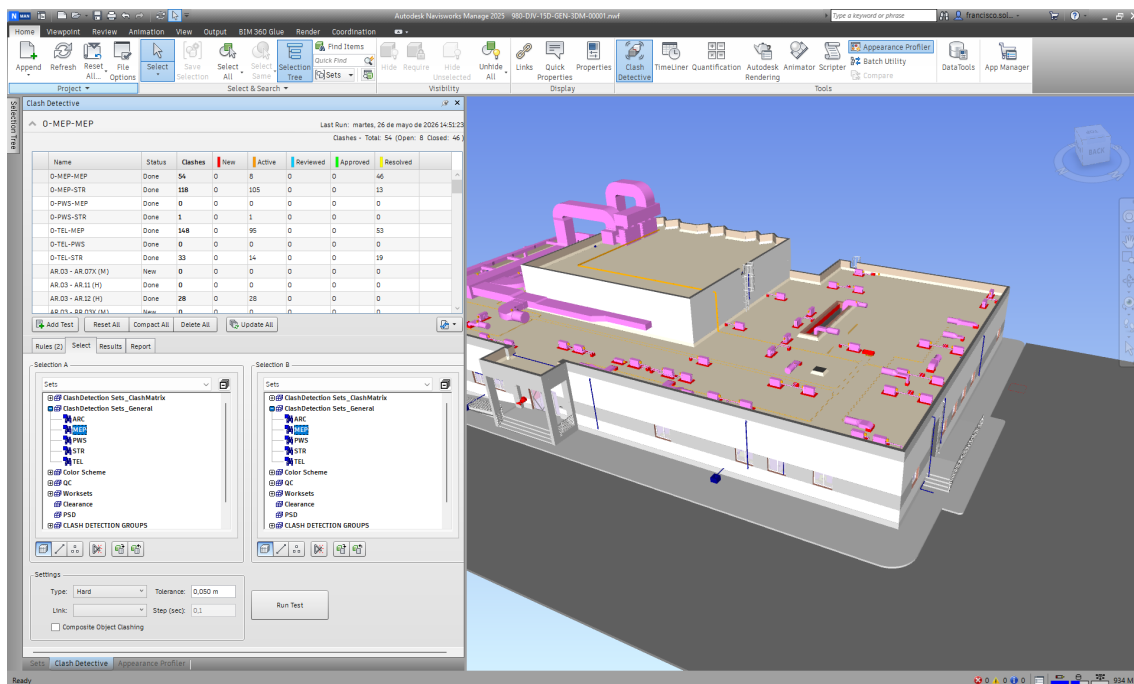


Ilustración 26. Modelo federado en Navisworks. Fuente: elaboración propia

Este modelo es guardado en *formato NWF* en la carpeta *WIP*, donde se incorporan todos los procesos necesarios para posteriores usos de los *modelos federados*. Uno de ellos, es proporcionar colores a cada uno de los modelos de las disciplinas para aportar mayor claridad en las tomas de decisiones. Además, se incorpora el *listado de colisiones* que se quiere realizar en el modelo y se ejecuta.

Posteriormente, este modelo es guardado nuevamente, pero en este caso en un *archivo NWD* y en la carpeta *SHARED*, para que el cliente y otras disciplinas puedan acceder a ellos.

5.3 Gestión de colisiones e incidencias

Para la gestión de conflictos e incidencias, se usan las herramientas *Clash Detective* (para la creación de conflictos) y *Manage Issues* (para la creación de *incidencias*) dentro del programa *Navisworks*, como es posible observar en la Ilustración 27:

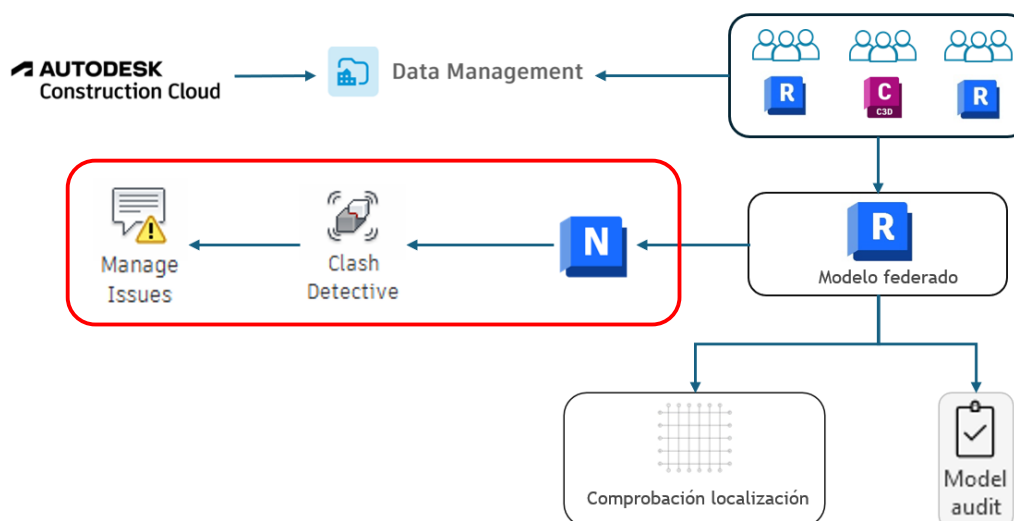
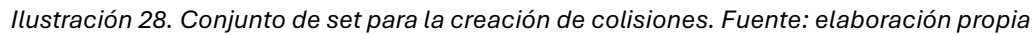


Ilustración 27. Gestión de colisiones e incidencias en el flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

Como se menciona previamente en la sección 5.2, para la creación de conflictos, es necesario, en este caso en el *archivo NWF* del *modelo federado*, la creación de un conjunto de *listas de colisiones*.

Para ello, en primer lugar, se necesita la creación de los *sets* que van a componer las *listas de colisiones*. En este caso, es realizada una búsqueda por nombre de cada uno de los modelos como es posible observar a continuación:



En la Ilustración 29, se observa como seleccionando el set MEP, es seleccionado los modelos previamente descritos en el árbol de selección:



Estudio de alternativas de flujos de trabajo para la aplicación de la metodología BIM en el proyecto del nuevo metro de Alejandría (Egipto)

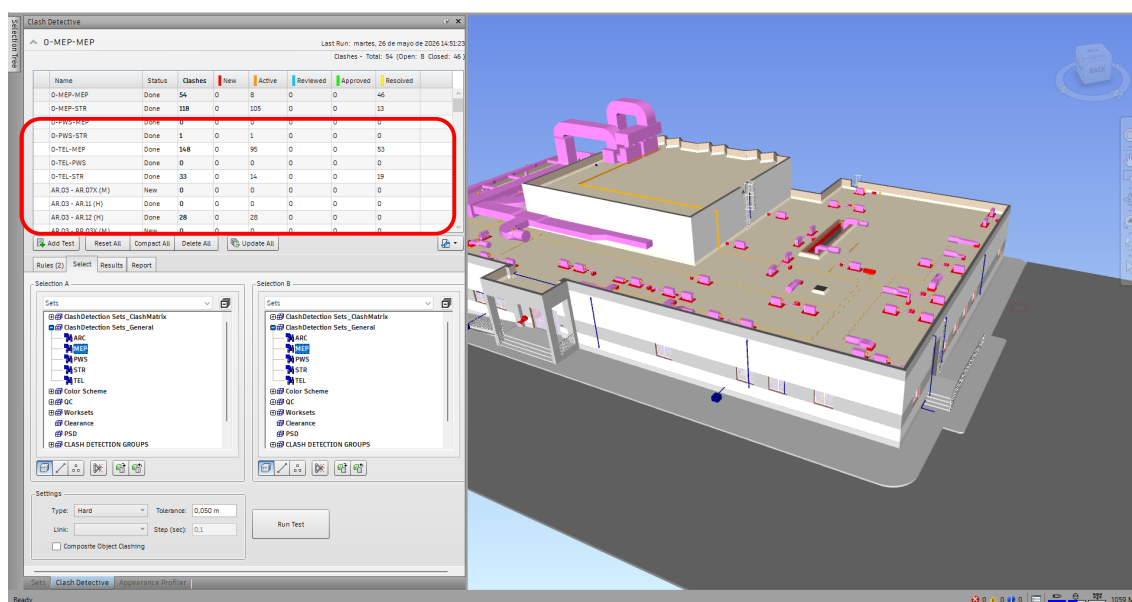


Ilustración 30. Listado de colisiones para la gestión de colisiones. Fuente: elaboración propia

Con las *colisiones* creadas, se procede con el análisis individual de cada una de las *colisiones* para su evaluación como incidencia. En ellas, es necesario evaluar su impacto en el proyecto, desde elementos que pueden acarrear serios problemas en las obras hasta colisiones que no presenta impacto alguno.

A continuación, se observa una *colisión* entre una bandeja de cables (rojo) y un panel de control (verde).

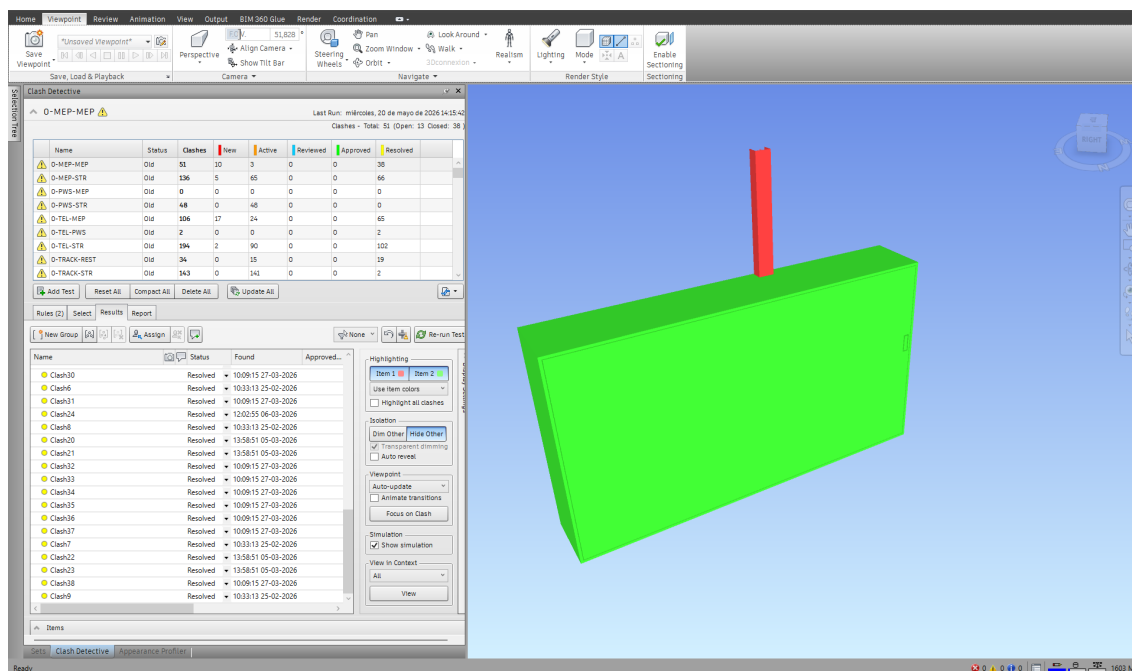


Ilustración 31. Ejemplo de colisión. Fuente: elaboración propia

Sin embargo, cuando se ve en conjunto, se observa que ese cable ha de introducirse en el panel de control como bandeja de cables que suministra la electricidad al panel de control, como es posible observar en la Ilustración 32:

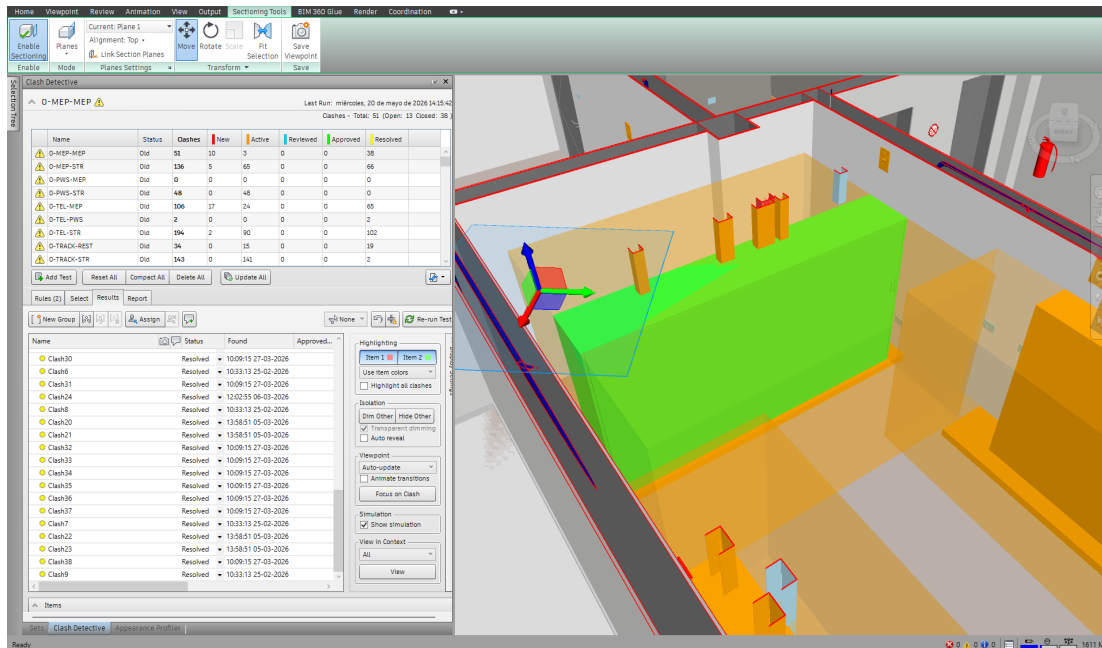


Ilustración 32. Ejemplo de colisión aprobada. Fuente: elaboración propia

Ejemplos de dichas colisiones no implican la creación de incidencias y en muchos casos se catalogan como aprobadas, ya que se han revisado y no es necesaria ninguna corrección. Sin embargo, otras colisiones, como, por ejemplo, el caso mostrado a continuación en la Ilustración 33 presenta gravedad en el proyecto:

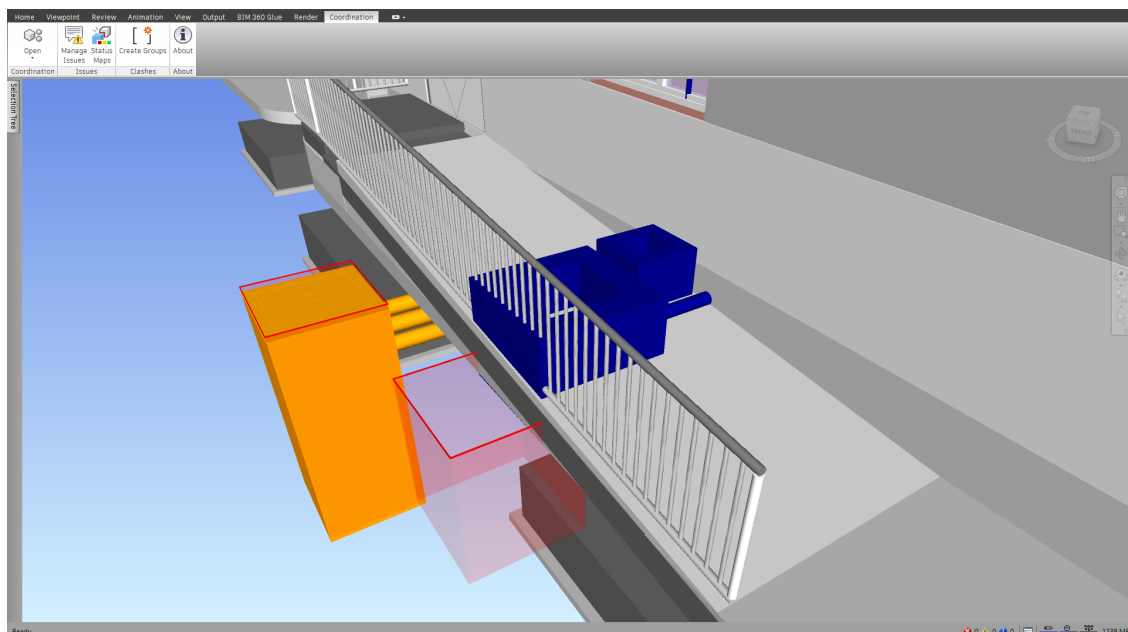


Ilustración 33. Ejemplo de colisión grave en rampa exterior. Fuente: elaboración propia

En él, se observa cómo unas arquetas (azules) no están bien posicionadas, ya que la elevación actual produce la colisión con una de las rampas de acceso a uno de los edificios, siendo necesario su modificación.

Para ello, es necesario la creación de incidencias mediante la herramienta “*Manage Issues*”. Dicha herramienta sirve para notificar a la disciplina correspondiente la incidencia a través una plantilla previamente configurada y habiendo seleccionado cuando se crea uno de los elementos de la *colisión*. En ella es introducida la *colisión* mediante el título de la *colisión*, una descripción, una fotografía, responsable de la *colisión*, estado de la *colisión*, observadores y ubicación de la *colisión* entre otros:

The screenshot shows a web-based form titled "Issues" with a sub-header "Create issue". The form contains several sections with dropdown menus and text input fields:

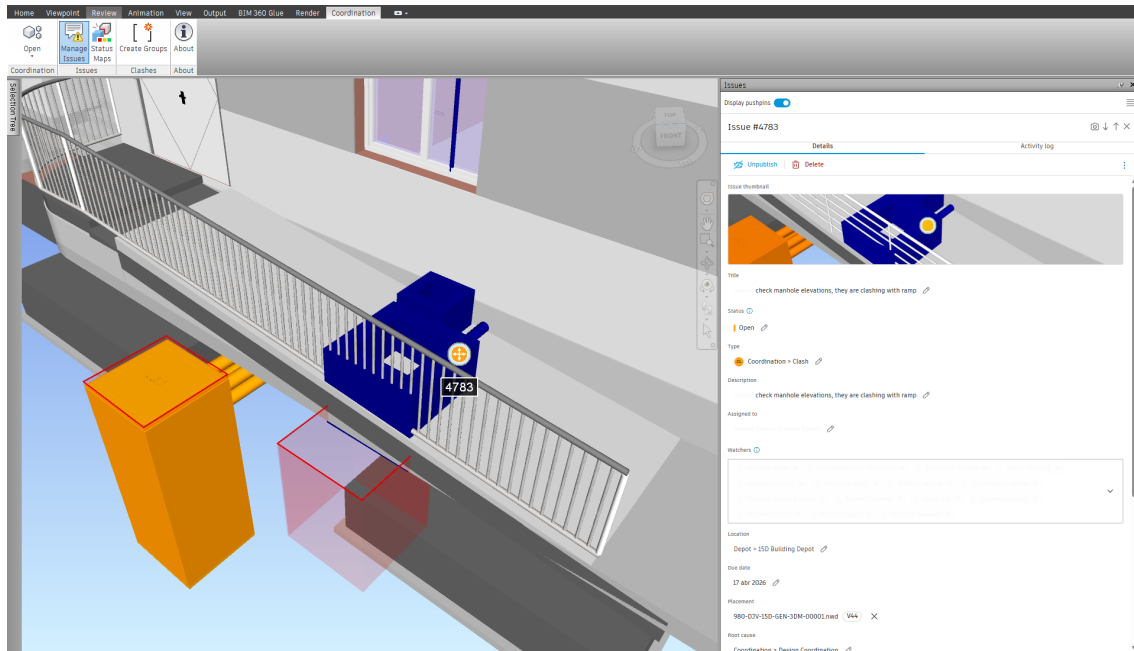
- Start from a template:** A dropdown menu labeled "Select template".
- Title:** A text input field with the placeholder "Enter a title".
- Status:** A dropdown menu currently showing "Open".
- Type:** A dropdown menu currently showing "Coordination > Clash".
- Description:** A large text area with the placeholder "Describe the issue".
- Assigned to:** A dropdown menu labeled "Select a member, role, or company".
- Watchers:** A dropdown menu labeled "Select watchers".
- Location:** A dropdown menu labeled "Select a location".
- Location details:** A text input field labeled "Enter location details".
- Due date:** A date picker labeled "Select date".
- Start date:** A date picker labeled "Select date".
- Root cause:** A dropdown menu labeled "Select a root cause".

At the bottom right of the form, there are two buttons: "Cancel" and "Create".

Ilustración 34. Plantilla para la creación de las incidencias. Fuente: elaboración propia

Una vez rellenada, la *incidencia* se notifica de manera automática al responsable correspondiente de la *incidencia*, especificándose también el plazo para

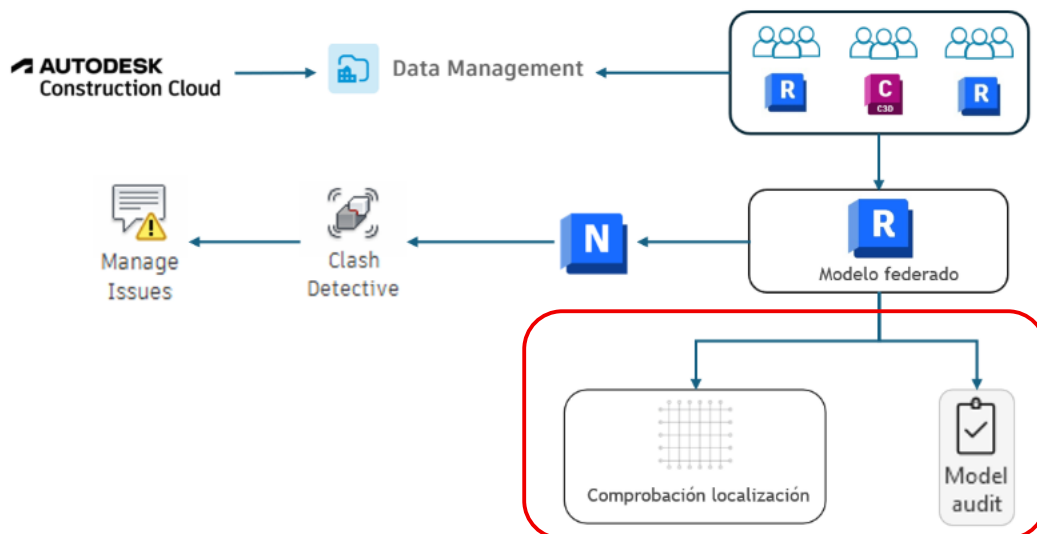
solucionar el problema. A continuaci3n, en la Ilustraci3n 35, es posible ver la incidencia del caso en cuesti3n:



Ilustraci3n 35. Ejemplo de incidencia entre arqueta y rampa. Fuente: elaboraci3n propia

5.4 Control de calidad

Para realizar el control de calidad de los modelos, es utilizado *Revit* mediante las herramientas que el propio programa presenta, as3 como otras herramientas elaboradas “ad hoc” para poder llevar a cabo la tarea, como es el caso la herramienta “Model Audit”. Esto es posible observarlo en la Ilustraci3n 36:



Ilustraci3n 36. Control de calidad en el flujo de trabajo actual en el nuevo metro de Alejandr3a. Fuente: elaboraci3n propia

5.4.1 Comprobación de la localización de los modelos

Uno de los principales parámetros a la hora de comprobar en los *modelos federados*, es el correcto posicionamiento de los modelos. Debido a que, si no es así, los modelos no están alineados entre ellos lo que puede ocasionar graves problemas de coordinación. Esto es especialmente observado en la elaboración de colisiones, ya que se pueden crear de manera excesiva que, además, no serían reales ya que no es un problema de diseño.

Un claro ejemplo de ello se observa a continuación en la Ilustración 37, donde se puede observar que uno de los modelos de una de las estaciones (color amarillo) no está alineado correctamente con la estación sobresaliendo de ella:

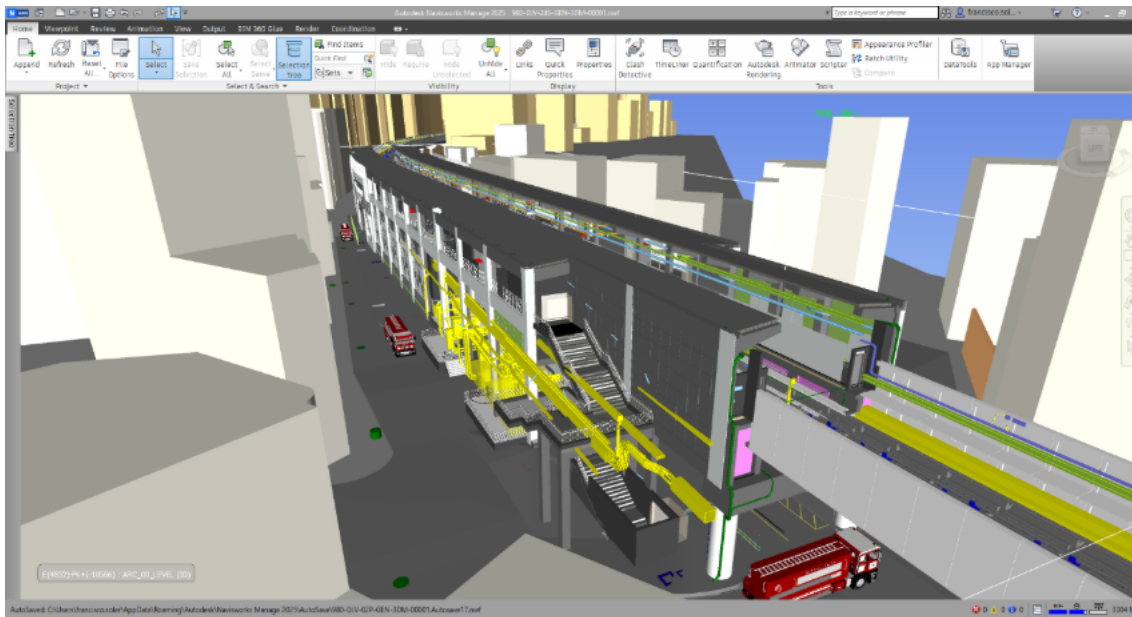


Ilustración 37. Desalineamiento de modelo respecto a modelo federado. Fuente: elaboración propia

De esta manera, si quisiéramos, por ejemplo, realizar las colisiones de ese modelo con, por ejemplo, la estructura, la creación de las incidencias se contabilizarían por cientos.

Para ello, se revisa tanto las *rejillas* como los *niveles* que presenta los modelos en *Revit* de manera manual. Se utiliza un modelo de referencia denominado URS (“User Reference System”) que presenta las *rejillas* y *niveles* más actualizados de los diferentes modelos y es comparado con las *rejillas* y *niveles* de los modelos de las diferentes disciplinas dentro del *modelo federado*.

A continuación, en la Ilustración 38, se puede observar que las *rejillas* de uno de los edificios del proyecto (*rejillas rojas*) no concuerdan con las *rejillas* de referencia del URS (*rejillas negras*):

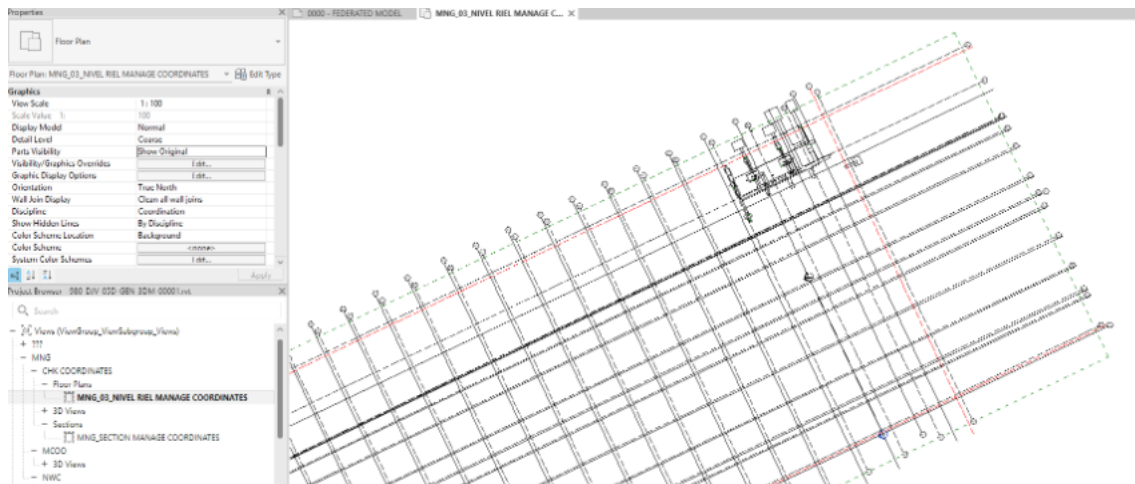


Ilustración 38. Discrepancia de rejillas respecto al URS. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, se presenta una desviación reducida entre ambas *rejillas*, pero esta diferencia puede ocasionar que diferentes elementos de ese modelo colisionen con otros elementos como vigas y columnas.

También, se puede observar a continuación en la Ilustración 39, que los *niveles* de dicho modelo no coinciden. El más llamativo que se puede observar resulta ser el *nivel* que es nombrado como “ROOF”:

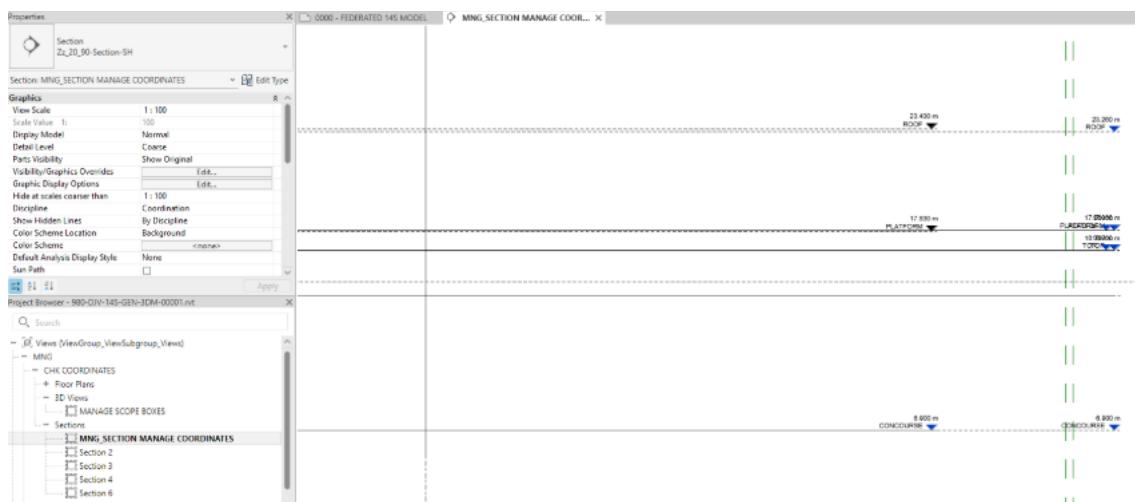


Ilustración 39. Discrepancia de niveles respecto al URS. Fuente: elaboración propia

Ilustración 40. Registro de errores de localización de modelos. Fuente: elaboración propia

[illegible]

Ilustración 40. Registro de errores de localización de modelos. Fuente: elaboración propia

información:

17	Target Systems	yes	
18	Coverage Data	yes	
19	Aspect Data	yes	
20	Event Mapping	yes	
21	Arms	yes	
22	Weapons	yes	
23	Worksets	yes	long time check
24	Rearcom	yes	
25	Sensors	yes	
26	Refuellocks	yes	
27	Vesaports	yes	
28	Vessels	yes	Long time check
29	Worksettlements	yes	Long time check
30	Areas	yes	
31	Rooms	yes	Long time check
32	Spaces	yes	Long time check
33	Units	yes	
34	Compositions		

Para ello, es usada una herramienta incorporada a *Revit* llamada “Model Audit” que permite la extracción de la información seleccionada del *modelo federado* de *Revit*. A continuación, se puede observar una hoja Excel donde es marcado todos los parámetros que se quiere que la herramienta extraiga de la información:

[illegible]

Ilustración 41. Selección de parámetros para extracción de información. Fuente: elaboración propia

Con ello, se procede a la extracción de toda la información seleccionada del modelo en la que se puede observar en la Ilustración 42 que los parámetros marcados en azul son los mismos que se han marcado como “yes” para la extracción de la información:

The image shows a screenshot of a large data table, likely an Excel spreadsheet, with many columns and rows. The columns are labeled with letters A through Z, and the rows are numbered. The table contains various numerical and text data. Some cells are highlighted in blue, indicating specific parameters or values. The table appears to be a detailed record of data, possibly related to a project or study.

Ilustración 42. Información extraída del modelo federado. Fuente: elaboración propia

La propia herramienta elabora diferentes hojas en la cuales se almacena toda la información del modelo. Por ejemplo, a continuación, en la Ilustración 43, se muestra la hoja “vw” de vistas donde se detalla todas las vistas de Revit que contiene cada uno de los modelos de las disciplinas dentro del *modelo federado*:

The image shows a screenshot of a table with columns for 'Title', 'ViewType', 'ViewName', 'ViewTemplate', 'SheetNumber', and 'TitleOutsheet'. The table lists various views and their associated templates and sheet numbers. The views are organized by discipline, with each discipline having its own set of views. The table provides a detailed overview of the views contained within the federated model.

Ilustración 43. Vistas extraídas de los modelos del modelo federado. Fuente: elaboración propia

Otro ejemplo de información extraída es la hoja “wr” donde es extraída la información de todas las alertas que *Revit* ha detectado en cada uno de los modelos, desde elementos duplicados, solapados o elementos fuera de rango, como es posible observar en la Ilustración 44:

	A	B	C	D	E	F
	File	Message	Severity	Count	ElementCount	Elements
2	380-DIV-345-GEN-3000-00003	Item is slightly out of range.	Warning	1	1	1338080
3	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Beam or brace is slightly off axis and may cause inaccurate Warnings	106	106	106	106
4	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Elements have duplicate "Type" values.	Warning	106	106	106
5	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Elements have duplicate "Type Mark" values.	Warning	106	106	106
6	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Geometry in imported file has extents greater than 20 in Warnings	1	1	1432558	
7	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted elements are joined but do not intersect.	Warning	32	77	683468
8	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted floor events	Warning	32	77	683468
9	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted walls are attached to, but miss, the highlighted Warnings	32	32	77	683468
10	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Instance of in-place family is not cutting floor.	Warning	6	32	77
11	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Line in Sketch is slightly off axis and may cause inaccurate Warnings	200	572	24247	24247
12	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Opening partially cut.	Warning	572	24247	24247
13	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Ref Name is slightly off axis and may cause inaccurate Warnings	52	344	344	344
14	483-DIV-345-GEN-3000-00003	The highlighted column can maintain attachment to the Warnings	1	1	1432558	1432558
15	483-DIV-345-GEN-3000-00003	The ramp is not long enough to reach the top constraint Warnings	1	1	1432558	1432558
16	483-DIV-345-GEN-3000-00003	The ramp is not long enough to reach the top constraint.	Warning	1	1	1432558
17	483-DIV-345-GEN-3000-00003	There are identical instances in the same place. This will Warnings	1	1	1432558	1432558
18	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Wall is slightly off axis and may cause inaccurate Warnings	2	2	2425082	2425082
19	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Beam or brace is slightly off axis and may cause inaccurate Warnings	20	20	106	106
20	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Corner definition has been placed at the end of a Column Warnings	1	1	1432558	1432558
21	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Geometry in imported file has extents greater than 20 in Warnings	1	1	1432558	1432558
22	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted floor overlap.	Warning	1	1	1432558
23	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted room separation lines overlap. One of them Warnings	1	1	1432558	1432558
24	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Line in Sketch is slightly off axis and may cause inaccurate Warnings	1	1	1432558	1432558
25	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Mass contains no valid geometry. Mass Floors, volume Warnings	1	1	1432558	1432558
26	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Path of Travel failed to update. Unable to find a route between Warnings	4	4	2325082	2325082
27	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Thickness of this Floor may be slightly inaccurate due to Warnings	4	4	2325082	2325082
28	483-DIV-345-GEN-3000-00003	A Corner definition has been placed at the end of a Column Warnings	1	1	1432558	1432558
29	483-DIV-345-GEN-3000-00003	A wall and a room separation line overlap. One of them Warnings	1	1	1432558	1432558
30	483-DIV-345-GEN-3000-00003	A wall and a room separation line overlap. One of them Warnings	1	1	1432558	1432558
31	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Curtain grid lines must have at least one segment.	Warning	4	4	1432558
32	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Elements have duplicate "Number" values.	Warning	1	1	1432558
33	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Elements have duplicate "Type Mark" values.	Warning	1	1	1432558
34	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted elements are joined but do not intersect.	Warning	32	77	683468
35	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted floor events	Warning	32	77	683468
36	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted lines overlap. Lines may not form closed loop Warnings	32	77	683468	683468
37	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted room separation lines overlap. One of them Warnings	1	1	1432558	1432558
38	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted walls overlap. One of them may be ignored Warnings	1	1	1432558	1432558
39	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Highlighted walls overlap. One of them may be ignored Warnings	1	1	1432558	1432558
40	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Insert conflicts with joined wall.	Warning	1	1	1432558
41	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Line in Sketch is slightly off axis and may cause inaccurate Warnings	588	1175	3082	3082
42	483-DIV-345-GEN-3000-00003	Mass contains no valid geometry. Mass Floors, volume Warnings	1	1	1432558	1432558

Con toda la información extraída, se procede a hacer una comprobación de todos los parámetros presentes en cada una de las hojas para registrar cada uno de los errores o incongruencias en la información en una hoja Excel para ser notificada a cada una de las disciplinas de los modelos:

[illegible]

41

5.5 Limitaciones

5.5.1 Tiempo

Una de las grandes limitaciones del flujo de trabajo actual, es la gran cantidad de tiempo que se requiere en la gestión de los *modelos federados* y control de calidad de los modelos. Esto es debido a que, al realizarse mediante el uso de programas, es necesaria la descarga local de cada uno de los modelos que componen el *modelo federado*.

Para abrir cada uno de los modelos en *Revit*, se requieren entre 3 y 5 minutos. Adicionalmente, muchas veces se muestran cuadros de advertencia que no son fácilmente localizables e impiden la abertura del modelo hasta que no se soluciona el cuadro de advertencia.

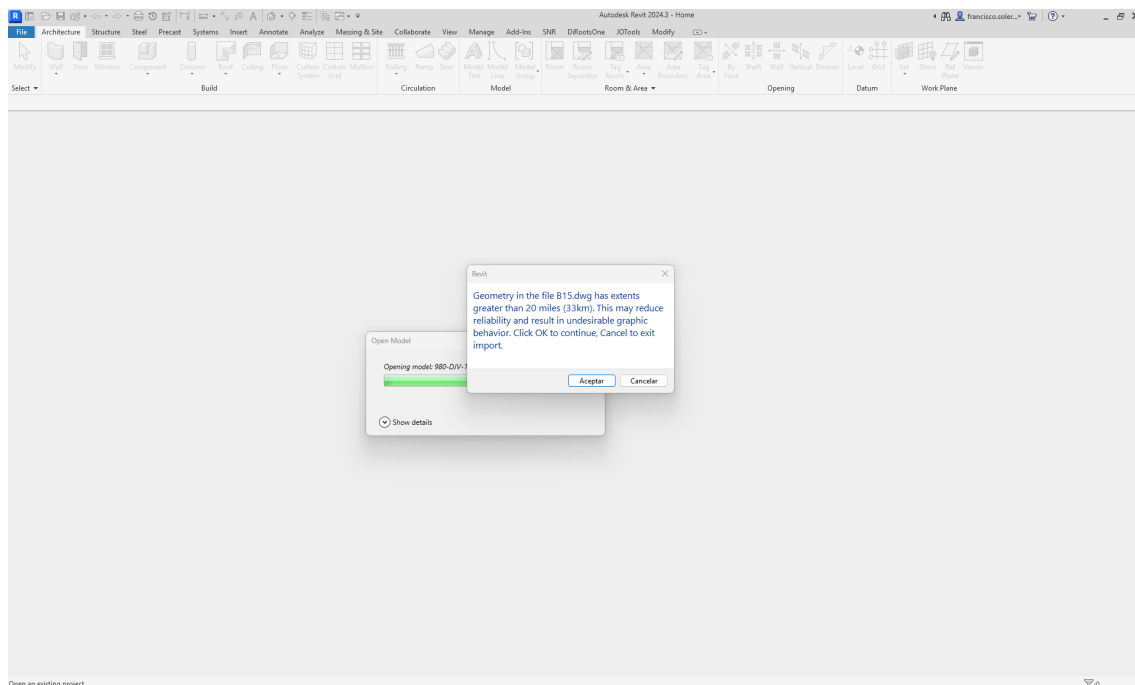


Ilustración 46. Ejemplo de advertencia en la abertura de modelos Revit. Fuente: elaboración propia

Otra de las desventajas es la pérdida de una gran cantidad de tiempo en la exportación de los modelos en *Revit* al *formato NWC* para *federar los modelos* en *Navisworks*, ya que dependiendo del modelo suele requerir desde 30 segundos a 7 minutos.

En consecuencia, la pérdida de tiempo para la federación y control de calidad de los modelos suele ser considerable, variando desde unos pocos minutos a 10-15 minutos en las instalaciones más grandes. En el caso concreto que se requiera la *federación de modelos* enteros del proyecto, la demora de tiempo puede ser de 30 min hasta más de una hora.

5.5.2 Automatización

Otra de las grandes limitaciones del actual flujo de trabajo es la poca automatización de todo el proceso de la creación y actualización de los *modelos federados*. Para actualizar cada uno de los modelos es necesario entrar en los modelos manualmente, exportar los modelos en *NWC*, abrir el modelo en *Navisworks* con formato *NWF* y finalmente guardarlo como *NWD*.

Como se puede observar, cada uno de los procesos no conlleva una gran cantidad de tiempo, sin contar cuando hay que esperar a que se abran o exporten los modelos, pero la suma de todos los períodos que se requieren para federar cada uno de los edificios, especialmente cuando la cantidad de modelos a actualizar es numerosa, conlleva la pérdida de una gran cantidad de tiempo aprovechable, reduciendo drásticamente la productividad y eficiencia.

Adicionalmente, el control de la localización de los modelos en el control de calidad también se realiza de manera manual, ya que se realiza mediante un proceso visual de que las *rejillas* y *niveles* se ubiquen en la posición correcta respecto al URS.

Finalmente, cabe destacar, todo proceso manual es susceptible de cometer errores que pueden conllevar graves problemas y contratiempos en el proyecto.

5.5.3 Trazabilidad de colisiones e incidencias

Otro de los grandes inconvenientes del proceso de *federación de modelos* es la continua generación de versiones de *archivos NWD* de cada uno de los modelos federados. Al ser sustituido cada vez que se actualiza, cualquier cosa que sea hecha en el propio archivo *NWD* será borrada por la siguiente versión, perdiendo el trabajo realizado. Esto dificulta la trazabilidad de colisiones e incidencias.

Un claro ejemplo de ello son las tácticas usadas para la creación de incidencias, ya que normalmente no se suelen revisar las colisiones una a una, si no que se usan ciertas tácticas para agilizar el proceso. Uno de ellos, es usar una opción llamada “inclusive” que permite seleccionar un objeto e indicar todas las colisiones que hay en ese elemento, lo que permite crear un grupo de todas las colisiones existentes asociadas a ese elemento.

Como se puede observar en la Ilustración 47, es posible seleccionar el forjado (verde) de la cubierta y mediante la opción “inclusive” indica todas las colisiones presentes con la cubierta (rojo), en este caso todas las conducciones y tuberías ubicadas en la cubierta, y posteriormente es posible crear un grupo con ellos:

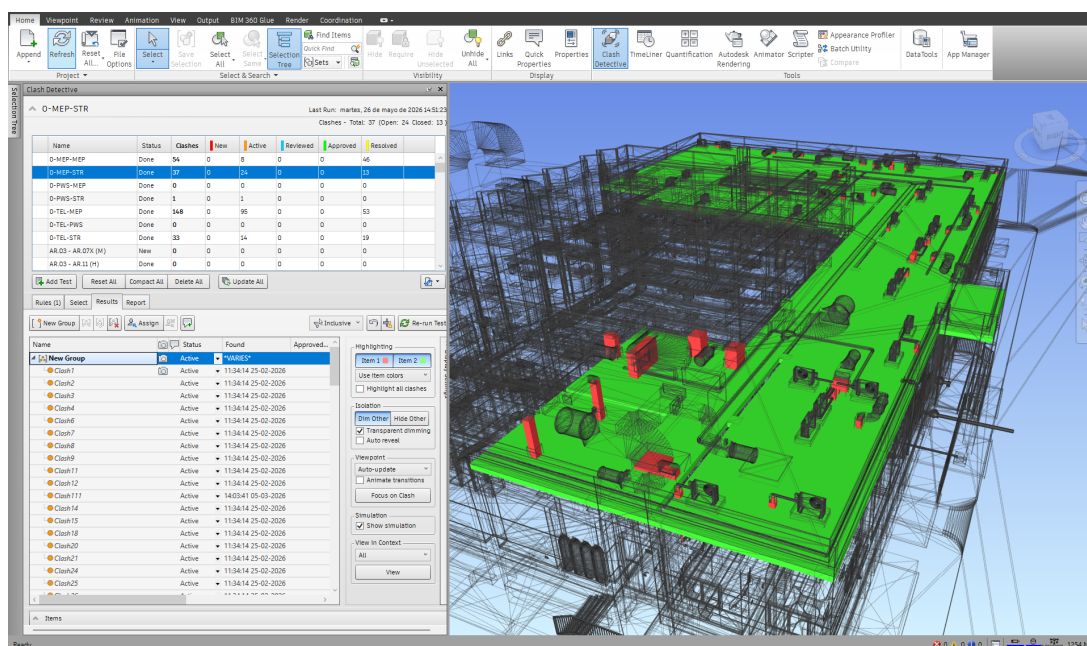


Ilustración 47. Creación de un grupo de colisiones. Fuente: elaboración propia

Otro ejemplo es el limitado control de cambios en los estatus de las colisiones. En ellas, se puede cambiar el estatus según el proceso en el cual se encuentre, el propio Navisworks cuando se crea la colisión lo califica como “New” y cuando se actualiza la lista de colisiones se crean nuevos con el estatus de “New” y los antiguos “New” pasan a ser “Active”. Pero también existen otras categorías como “Reviewed” o “Approved” que tienen que ser cambiadas a mano.

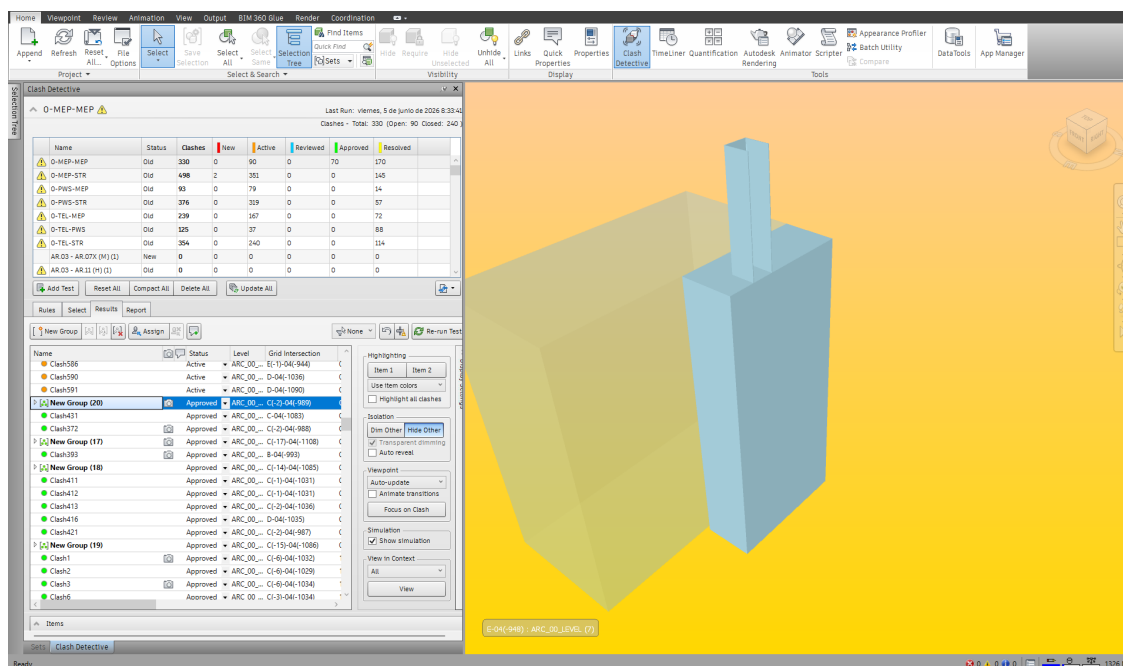


Ilustración 48. Ejemplo de colisiones cambiadas a aprobadas. Fuente: elaboración propia

Lo ideal sería que, cuando se cree una incidencia a partir de unas colisiones, esa colisión sea catalogada como revisada, para tener constancia de que esa colisión ya ha sido gestionada. Sin embargo, debido a la continua actualización de los modelos, sería perdido ese trabajo si se trabaja directamente en el *archivo NWD* ya que los cambios son borrados constantemente.

5.5.4 Relación colisión e incidencia

En relación con la anterior sección 5.5.3, se presenta un nuevo problema originado por la nula relación que existe entre las colisiones y las incidencias creadas a partir de ellas.

Cuando una incidencia es creada, ésta corresponde normalmente con una colisión. El principal problema observado es que, una vez creada la incidencia, se pierde el rastro de la colisión que la creó, lo que supone una falta de control entre las colisiones y las incidencias creadas, especialmente cuando el modelo es gestionado por diferentes agentes o usuarios.

Un inconveniente adicional de la gestión de colisiones es que éstas saldrían siempre como activas, lo que obliga a comprobar todas las colisiones, independientemente de si ya han sido gestionadas.

5.5.5 Gestión de la información

Durante el proceso para auditar los *modelos federados*, es utilizado la herramienta de *Revit* “Model audit”, esto consigue extraer toda la información del *modelo federado*, así como de los modelos vinculados. Debido a que se extrae toda la información, mucha de ella se extrae de manera que no es posible manejarla manualmente, ya que la cantidad de información que extrae se traduce en la mayoría de los casos en cientos de filas en las hojas Excel que extrae la herramienta.

Un ejemplo de ello es el caso de la hoja del Excel “Id” donde se muestra todos los archivos .dwg que tienen vinculados cada uno de los modelos de las disciplinas en el *modelo federado*. Como se puede observar en la Ilustración 49, cada una de las filas representa un modelo .dwg que tiene cada una de las disciplinas vinculados y en la columna E es marcado con un 0 que ese modelo ya no está vinculado y con un 1 que el modelo sigue vinculado:

1	File	Id	Name	IsLinked	PathType	FileStatus	IsCloudPath	IsPinned	Worksheet	Level	Absolute
431	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3482320	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-PLT-FDD-00001-C1S) - EL ASAFRA STATION - PLATFORM LEVEL"		
432	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506666	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C1S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
433	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506667	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C2S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
434	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506668	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C3S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
435	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506669	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C4S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
436	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506670	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C5S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
437	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	1508991	AQM-COV-CIV-105-0000-GN-ASB-00001-00_AS-BUILT FCI	1	Relative	Not Found	0		1 Worksheet		
438	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	2434673	LOD.dwg	1	Relative	Not Found	0		1 View "Drafting View: LOD"		
439	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3461331	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		1 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING WORKS - CONCOURSE LEVEL - OVERALL"		
440	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3465819	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
441	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3481866	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
442	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3512007	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
443	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3533686	Asafra Concourse RCP.dwg	1	Relative	Not Found	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING WORKS - CONCOURSE LEVEL - OVERALL"		
444	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3590823	555-DIV-005-GEN-FDT-00002A1(1-1).dwg	0					1 View "Legend: FIRE FIGHTING INSTALLATION DETAILS 1"		
445	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3591149	555-DIV-005-GEN-FDT-00002A1(1-1).dwg	0					1 View "Legend: FIRE FIGHTING INSTALLATION DETAILS 2"		
446	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3633016	FF NOTES & APPROPRIATIONS.dwg	0					1 View "Legend: FF LEGEND"		
447	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3684515	555-DIV-145-GEN-3DM-00001-Sheet - 555-DIV-145-GEN-F	1	Relative	Not Found	0		0 View "Legend: Riser Diagram"		
448	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3689005	schedule.dwg	0					1 View "Legend: SCHEDULE"		
449	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3689823	schedule.dwg (2)	1	Relative	Not Found	0		0 View "Legend: SCHEDULE"		
450	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3670006	schedule.dwg (2)	1	Relative	Not Found	0		1 View "Legend: SCHEDULE"		
451	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3670007	schedule.dwg (2)	1	Relative	Not Found	0		1 View "Legend: SCHEDULE"		
452	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4068582	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING WORKS - CONCOURSE LEVEL - OVERALL"		
453	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4068583	Asafra Concourse RCP.dwg	1	Relative	Not Found	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
454	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4068589	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
455	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4069360	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
456	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4070037	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
457	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4904611	schedule.dwg (3)	1	Relative	Not Found	0		0 View "Legend: PUMP SCHEDULE"		
458	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5016582	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING WORKS - CONCOURSE LEVEL - OVER ALL"		
459	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5016583	Asafra Concourse RCP.dwg	1	Relative	Not Found	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING WORKS - CONCOURSE LEVEL - OVER ALL"		
460	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5016793	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
461	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5017219	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
462	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5017242	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
463	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5146941	555-DIV-045-GEN-FDD-00002-D.dwg	1	Relative	Not Found	0		0 View "Legend: SCHEDULE"		
464	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5155217	555-DIV-185-GEN-3DM-00001 - Drafting View - Bladder Ti	1	Relative	Not Found	0		1 View "Drafting View: BLADDER TANK"		
465	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	1508991	AQM-COV-CIV-105-0000-GN-ASB-00001-00_AS-BUILT FCI	1					1 Worksheet	SEA LEVEL	-2,00536E
466	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224114	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Power Notes"		
467	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224199	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Feeder Data Schedule Notes"		
468	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224283	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Feeder Data Schedule Notes"		
469	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224312	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Earthing Notes"		
470	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224313	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Earthing Notes"		
471	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224396	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Earthing Notes"		
472	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224428	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Power Riser Notes"		

Ilustración 49. Hoja Excel de archivos .dwg vinculados con Model Audit. Fuente: elaboración propia

Uno de los controles que se realizan para la auditoría de modelos, es la contabilidad de todos los modelos .dwg que están vinculados en las disciplinas, y debido a la cantidad de líneas que se presentan, su contabilidad manualmente resultaría demasiado costosa.

Otro ejemplo, es la página “gp” donde se indican todos los grupos de Revit creados en cada una de las disciplinas, como se puede observar en la Ilustración 50, esta hoja presenta alrededor de 500 filas:

1	File	Id	Name	IsLinked	PathType	FileStatus	IsCloudPath	IsPinned	Worksheet	Level	Absolute
431	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3482320	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-PLT-FDD-00001-C1S) - EL ASAFRA STATION - PLATFORM LEVEL"		
432	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506666	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C1S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
433	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506667	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C2S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
434	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506668	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C3S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
435	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506669	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C4S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
436	550-CIV-145-GEN-3DM-00001	3506670	550-DIV-145-GEN-3DM-00001 - Legend - SHEET LEGEND.d	0					0 View "Sheet: 550-DIV-145-UPF-FDD-00001-C5S) - EL ASAFRA STATION - UNDER PLATFORM LEVEL"		
437	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	1508991	AQM-COV-CIV-105-0000-GN-ASB-00001-00_AS-BUILT FCI	1	Relative	Not Found	0		1 Worksheet		
438	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	2434673	LOD.dwg	1	Relative	Not Found	0		1 View "Drafting View: LOD"		
439	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3461331	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		1 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING WORKS - CONCOURSE LEVEL - OVERALL"		
440	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3465819	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
441	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3481866	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
442	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3512007	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
443	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3533686	Asafra Concourse RCP.dwg	1	Relative	Not Found	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING WORKS - CONCOURSE LEVEL - OVERALL"		
444	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3590823	555-DIV-005-GEN-FDT-00002A1(1-1).dwg	0					1 View "Legend: FIRE FIGHTING INSTALLATION DETAILS 1"		
445	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3591149	555-DIV-005-GEN-FDT-00002A1(1-1).dwg	0					1 View "Legend: FIRE FIGHTING INSTALLATION DETAILS 2"		
446	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3633016	FF NOTES & APPROPRIATIONS.dwg	0					1 View "Legend: FF LEGEND"		
447	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3684515	555-DIV-145-GEN-3DM-00001-Sheet - 555-DIV-145-GEN-F	1	Relative	Not Found	0		0 View "Legend: Riser Diagram"		
448	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3689005	schedule.dwg	0					1 View "Legend: SCHEDULE"		
449	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3689823	schedule.dwg (2)	1	Relative	Not Found	0		0 View "Legend: SCHEDULE"		
450	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3670006	schedule.dwg (2)	1	Relative	Not Found	0		1 View "Legend: SCHEDULE"		
451	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	3670007	schedule.dwg (2)	1	Relative	Not Found	0		1 View "Legend: SCHEDULE"		
452	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4068582	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING WORKS - CONCOURSE LEVEL - OVERALL"		
453	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4068583	Asafra Concourse RCP.dwg	1	Relative	Not Found	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
454	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4068589	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
455	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4069360	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
456	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4070037	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
457	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	4904611	schedule.dwg (3)	1	Relative	Not Found	0		0 View "Legend: PUMP SCHEDULE"		
458	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5016582	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING WORKS - CONCOURSE LEVEL - OVER ALL"		
459	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5016583	Asafra Concourse RCP.dwg	1	Relative	Not Found	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
460	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5016793	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
461	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5017219	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
462	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5017242	Layout.dwg	1	Relative	Unloaded	0		0 View "Floor Plan: ALASAFRA STATION - FIREFIGHTING W/AL-Asafra Station - CONCOURSE OVER ALL	-9,88799E	
463	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5146941	555-DIV-045-GEN-FDD-00002-D.dwg	1	Relative	Not Found	0		0 View "Legend: SCHEDULE"		
464	555-CIV-145-GEN-3DM-00001	5155217	555-DIV-185-GEN-3DM-00001 - Drafting View - Bladder Ti	1	Relative	Not Found	0		1 View "Drafting View: BLADDER TANK"		
465	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	1508991	AQM-COV-CIV-105-0000-GN-ASB-00001-00_AS-BUILT FCI	1					1 Worksheet	SEA LEVEL	-2,00536E
466	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224114	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Power Notes"		
467	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224199	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Feeder Data Schedule Notes"		
468	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224283	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Feeder Data Schedule Notes"		
469	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224312	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Earthing Notes"		
470	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224313	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Earthing Notes"		
471	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224396	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Earthing Notes"		
472	560-CIV-145-GEN-3DM-00001	2224428	Notes.dwg.AVE_RENDER	0					0 View "Legend: Power Riser Notes"		

Ilustración 50. Grupos de Revit de los modelos con Model Audit. Fuente: elaboración propia

6 Estudio de nuevos flujos de trabajo en el metro de Alejandría

6.1 Introducción

Dentro de la *metodología BIM*, el desarrollo de nuevas herramientas está al orden del día, estableciendo múltiples alternativas y flujos de trabajo para la coordinación de obras de ingeniería civil. Se observa que, a pesar del creciente grado de implantación de la metodología, los flujos de trabajo no siempre se encuentran completamente definidos ni estandarizados. Esta falta de claridad se debe, en gran medida, a la complejidad inherente de este tipo de proyectos, caracterizados por su carácter multidisciplinar, su gran escala y la diversidad de agentes implicados. Como consecuencia, la gestión *BIM* en este contexto presenta un alto grado de variabilidad en cuanto a procedimientos, herramientas y estrategias adoptadas, lo que puede afectar directamente a la eficiencia global del proyecto.

Por ello, el presente estudio pretende investigar el mejor flujo de trabajo integral que englobe todos los procesos y metodologías que serán estudiados individualmente para conseguir dentro de la *metodología BIM* la coordinación de proyectos de ingeniería civil lo más eficiente posible. Para ello, se evaluará un estudio de alternativas con los diferentes flujos de trabajo individuales, estableciendo las ventajas y desventajas de cada uno de ellos y finalmente asignando diferentes pesos para una valoración cuantitativa de cada uno de los flujos a partir de diferentes variables, como se verá en la sección 6.2. Una vez sean cuantificadas todas las alternativas, serán combinadas en flujos de trabajo integrales para abarcar todos los flujos mencionados en la coordinación de proyectos mediante *metodología BIM* para intentar hallar aquella óptima.

6.2 Metodología de evaluación multicriterio de soluciones

Debido a las limitaciones mencionadas en el flujo de trabajo actual descrito en la sección 5.5, es necesario la búsqueda de alternativas que consigan una mejora de la eficiencia global del proceso, con el fin de conseguir una reducción significativa del tiempo y a la vez un aumento de la calidad del proceso.

Por ello, con el fin de encontrar un flujo de trabajo más eficiente se realizará un estudio de soluciones de distintas partes del flujo de trabajo global. Para ello, se propone una metodología de evaluación multicriterio que permita cuantificar, de la forma más objetiva posible y sistemática, el impacto de cada solución en relación con un conjunto de variables clave.

Este enfoque resulta especialmente adecuado en entornos *BIM*, donde intervienen múltiples factores interdependientes técnicos, operativos y organizativos que no pueden evaluarse de forma aislada. La metodología permite integrar dichos

factores en un modelo cuantitativo único, facilitando la toma de decisiones fundamentada y reduciendo la subjetividad inherente a evaluaciones cualitativas.

6.2.1 Definición y justificación de los criterios de evaluación

A partir del análisis del flujo de trabajo actual y de las limitaciones detectadas previamente, principalmente relacionadas con el tiempo, la automatización y la trazabilidad se definirán un conjunto de variables que representan los principales indicadores de rendimiento del sistema:

- **Tiempo de ejecución (T)**

Representa el tiempo necesario para completar los procesos asociados a cada uno de los flujos de trabajo a analizar. Se trata de una variable de tipo coste (menor es mejor) directamente vinculada a la productividad del equipo. En el contexto analizado, se ha identificado como una de las principales limitaciones del flujo actual debido a la dependencia de procesos manuales y a los tiempos de carga de los softwares.

- **Nivel de automatización (A)**

Evalúa el grado de automatización de las tareas, considerando la capacidad del sistema para ejecutar procesos sin intervención manual. Un mayor nivel de automatización implica una reducción del riesgo de error humano, mayor eficiencia operativa y mayor consistencia en los resultados.

- **Trazabilidad de la información (Ti)**

Mide la capacidad del sistema para registrar, almacenar y rastrear la evolución de los modelos, las versiones y las incidencias. En entornos *BIM*, esta variable resulta crítica para garantizar la transparencia, la coordinación entre agentes y la capacidad de auditoría del proyecto.

- **Calidad de la información (Ci)**

Evalúa la robustez del flujo de trabajo frente a errores, considerando tanto la estabilidad del sistema como la consistencia de la información generada. Incluye aspectos como la pérdida de datos, duplicidades o errores derivados de procesos manuales.

- **Escalabilidad (E)**

Mide la capacidad del sistema para adaptarse a un incremento en la magnitud del proyecto (número de modelos, número de datos, número de usuarios) manteniendo niveles aceptables de rendimiento. Esta variable es especialmente relevante en proyectos de gran envergadura como infraestructuras lineales.

6.2.2 Estructuración del modelo de evaluación

La metodología adoptada se basa en un modelo de suma ponderada, ampliamente utilizado en procesos de toma de decisión multicriterio. Este modelo permite asignar una importancia relativa a cada variable mediante la definición de pesos, integrando posteriormente todas las evaluaciones en un único índice global. Con ello se consigue la cuantificación de cada una de las alternativas para posteriormente poder realizar una comparativa numérica entre las diferentes alternativas analizadas.

6.2.3 Asignación de pesos a los criterios

A cada criterio i se le asigna un peso w_i en función de su relevancia dentro del contexto del estudio. La asignación de pesos se realiza mediante una serie de criterios, teniendo en cuenta los objetivos del TFM (optimización del flujo de trabajo, mejora de la eficiencia y control de la información).

Se establece la condición de normalización:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Una posible distribución de pesos coherente con el análisis realizado es la siguiente:

Tiempo de ejecución: 0,25

- **Justificación:** esto se debe a que, en el diseño de proyectos de ingeniería civil, el capital humano constituye uno de los principales factores de coste. En este contexto, cualquier incremento en el tiempo necesario para la ejecución de tareas implica directamente un aumento del coste asociado a los recursos humanos, afectando de forma significativa a la eficiencia global del proyecto.

Automatización: 0,20

- **Justificación:** el grado de automatización en los proyectos, implica una reducción drástica de los errores humanos, así como una reducción significativa del tiempo que se ha de dedicar a las tareas especialmente repetitivas o a corregir errores. Ello conlleva que un aumento de la automatización de procesos conlleva un gran incremento de la productividad en el proyecto.

Trazabilidad de la información: 0,15

- **Justificación:** la capacidad del control de la información en los proyectos además de la capacidad para presentar versiones de la información incrementa notablemente la productividad en el proyecto. Esto permite el control de lo que cada uno de los miembros realiza, pudiendo rastrear fallos y si fuera necesario volver a versiones anteriores donde el fallo no se haya producido, reduciendo el tiempo para la solvencia de los problemas.

Calidad de la información: 0,20

- **Justificación:** la calidad de la información influye directamente en los procesos de coordinación de los modelos, debido a que, si no se presenta la información o modelos correctos, no es posible realizar correctamente la coordinación de estos.

Escalabilidad: 0,10

- **Justificación:** la capacidad de las herramientas para poder acoger proyectos complejos o de gran envergadura resulta de gran importancia, debido a que si no fuera así habría que optar por otros flujos de trabajos posiblemente menos eficientes, aumentando innecesariamente la cantidad de procesos a realizar.

6.2.4 Cuantificación y normalización de los criterios

Con el objetivo de facilitar la aplicación práctica del modelo de evaluación, se establece un sistema de valoración basado en una escala discreta de puntuación, que permite transformar los criterios definidos en valores cuantificables y comparables.

Escala de valoración:

Cada uno de los criterios considerados se evaluará mediante una escala ordinal de 1 a 5, donde:

Tabla 1. Tabla de puntuación de criterios. Fuente: elaboración propia

Puntuación	Interpretación
1	Muy desfavorable / muy bajo rendimiento
2	Deficiente
3	Aceptable
4	Bueno
5	Excelente / muy alto rendimiento

Esta escala permite simplificar el proceso de evaluación sin perder capacidad de discriminación entre alternativas, facilitando la asignación de valores a partir del análisis técnico de cada solución.

Criterios de evaluación según la escala

Cada variable se valorará siguiendo la lógica establecida según su naturaleza:

- **Tiempo de ejecución (T):**

Se evaluará de forma inversa, de modo que una solución con menor tiempo de ejecución obtendrá una puntuación más alta, mientras que mayores tiempos implicarán puntuaciones más bajas.

- **Automatización (A), Trazabilidad (Ti), Calidad de la información (Ci) y Escalabilidad (E):**

Se evaluarán directamente, asignando valores más altos a aquellas soluciones que presenten mejores prestaciones en cada uno de estos aspectos.

Cálculo de la puntuación ponderada

Una vez asignadas las puntuaciones a cada criterio, se procede a calcular la puntuación global de cada alternativa mediante un proceso de agregación ponderada, integrando tanto el valor asignado como la importancia relativa del criterio.

La puntuación final se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i$$

Donde:

- S = puntuación global de la solución
- w_i = peso del criterio i
- P_i = puntuación asignada al criterio i (entre 1 y 5)
- n = número total de criterios

Interpretación del resultado

El valor obtenido refleja el desempeño global de cada alternativa en función de los criterios considerados. La solución con mayor puntuación será considerada como la más adecuada dentro del contexto del estudio.

Dado que la puntuación máxima posible es 5 (en caso de obtener la máxima valoración en todos los criterios), los resultados pueden interpretarse de la siguiente manera en la Tabla 2:

Tabla 2. Tabla de clasificación final de las alternativas. Fuente: elaboración propia

Rango de puntuación	Interpretación
1.0 – 2.0	Solución poco eficiente
2.0 – 3.0	Solución mejorable
3.0 – 4.0	Solución adecuada
4.0 – 5.0	Solución altamente eficiente

6.2.5 Variables consideradas y descartadas

Durante la fase de diseño del modelo se han analizado otras variables que, finalmente, han sido descartadas para mantener la coherencia con el alcance del estudio.

Variables descartadas:

- **Coste económico directo:**

No se ha incluido debido a que el alcance del estudio excluye explícitamente el análisis económico de la construcción y el coste económico del proyecto, ya que las herramientas que se van a usar para llevar a cabo el estudio de soluciones ya están presentes en el proyecto. Esto no incrementa el coste siendo únicamente considerado el tiempo.

- **Curva de aprendizaje:**

Se descarta por su carácter subjetivo y altamente dependiente del perfil del usuario, lo que dificulta su estandarización. Adicionalmente, se entiende que en general ya se tiene amplios conocimientos de las herramientas en el sector.

- **Satisfacción del usuario:**

Aunque relevante, su medición requiere metodologías cualitativas (encuestas, entrevistas) que quedan fuera del enfoque técnico del presente estudio.

- **Impacto ambiental:**

Se considera no relevante en esta fase, dado que el análisis se centra en procesos digitales y no en la ejecución física del proyecto. Adicionalmente, los flujos de trabajo que se van a describir no guardan realización con la toma de decisiones en el diseño de los proyectos, siendo únicamente la coordinación de estos.

6.3 Diagrama de flujos de trabajo posibles

Dentro de la *metodología BIM* existen gran variedad de metodologías y flujos de trabajo para la coordinación de los proyectos de ingeniería civil, desde aquellos que van por métodos tradicionales con uso de programas altamente consolidados en la industria desde hace años o incluso décadas hasta aquellas metodologías complementadas íntegramente en la nube.

A continuación, en la Ilustración 51, se muestran un diagrama completo de los flujos de trabajo que se han utilizado para las diferentes metodologías aplicadas a la realidad dentro del proyecto del nuevo metro de Alejandría, tanto el flujo de trabajo actual descrito en el capítulo 5 como aquellos incorporados recientemente y que van a ser objeto del estudio de soluciones que se va a llevar a cabo:

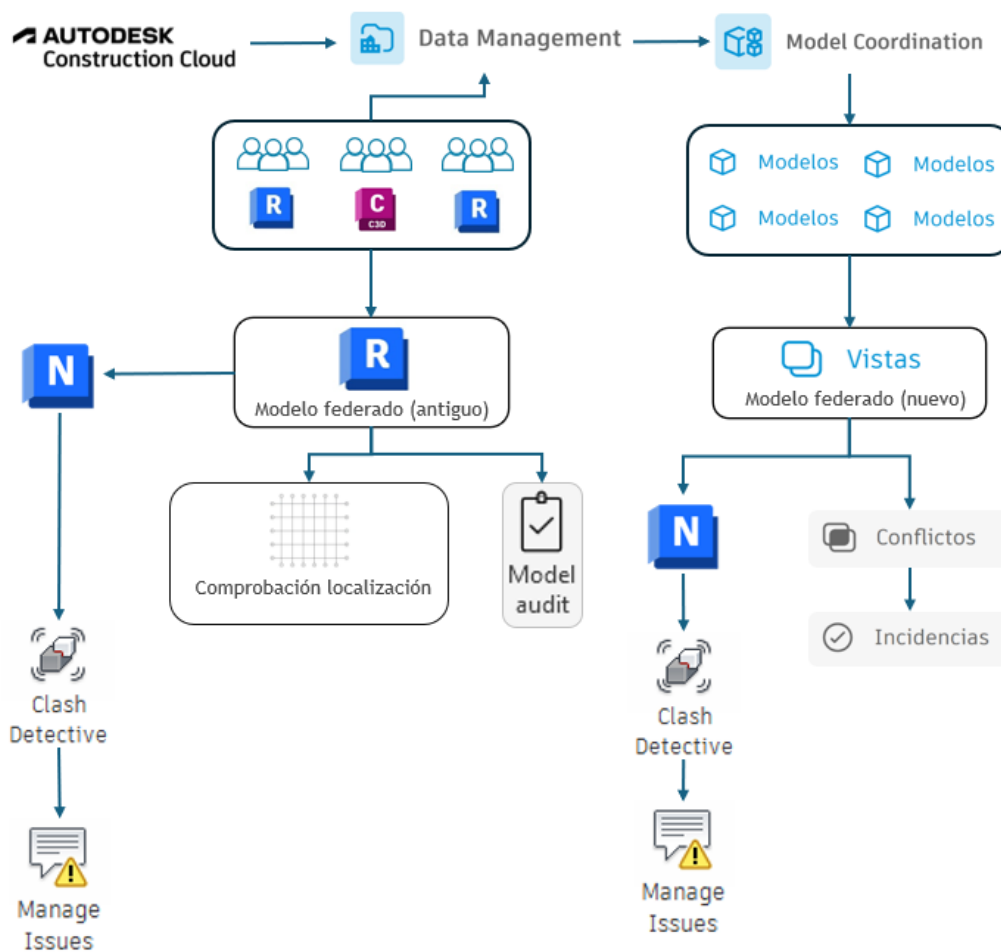


Ilustración 51. Diagrama general de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

En la Ilustración 51, es posible observar dos ramas principales entre todos los flujos de trabajo expuestos. El primero de ellos, se basa en el uso de Data Management junto con el uso de programas como *Revit* y *Navisworks* (rama del flujo actual), esta rama se basa en el flujo de trabajo más tradicional, ya que emplea programas mediante el trabajo de archivos locales descargados desde la nube.

En cambio, el segundo de ellos se basa en el uso de *Model Coordination* para llevar a cabo gran parte de las tareas (rama a explorar), donde en algunos casos, es posible realizar la mayoría de las tareas en la propia nube.

6.4 Estudio de soluciones para la federación de modelos

6.4.1 Introducción

El presente estudio de soluciones tiene como finalidad averiguar, dentro de dos metodologías para la federación de modelos, cuál de ellos resulta más eficiente y óptimo para llevar a cabo la tarea en cuestión, siendo destacados los puntos fuertes y débiles de cada uno de ellos y realizar una comparativa mediante un estudio multicriterio con los criterios y pesos mencionados previamente.

6.4.2 Método 1.1

El método 1.1 para la *federación de los modelos* corresponde al método mencionado en el capítulo 5 de “Flujo de trabajo actual” en la gestión de *modelos federados*, que se puede observar a continuación marcado en el diagrama general de los flujos de trabajo:

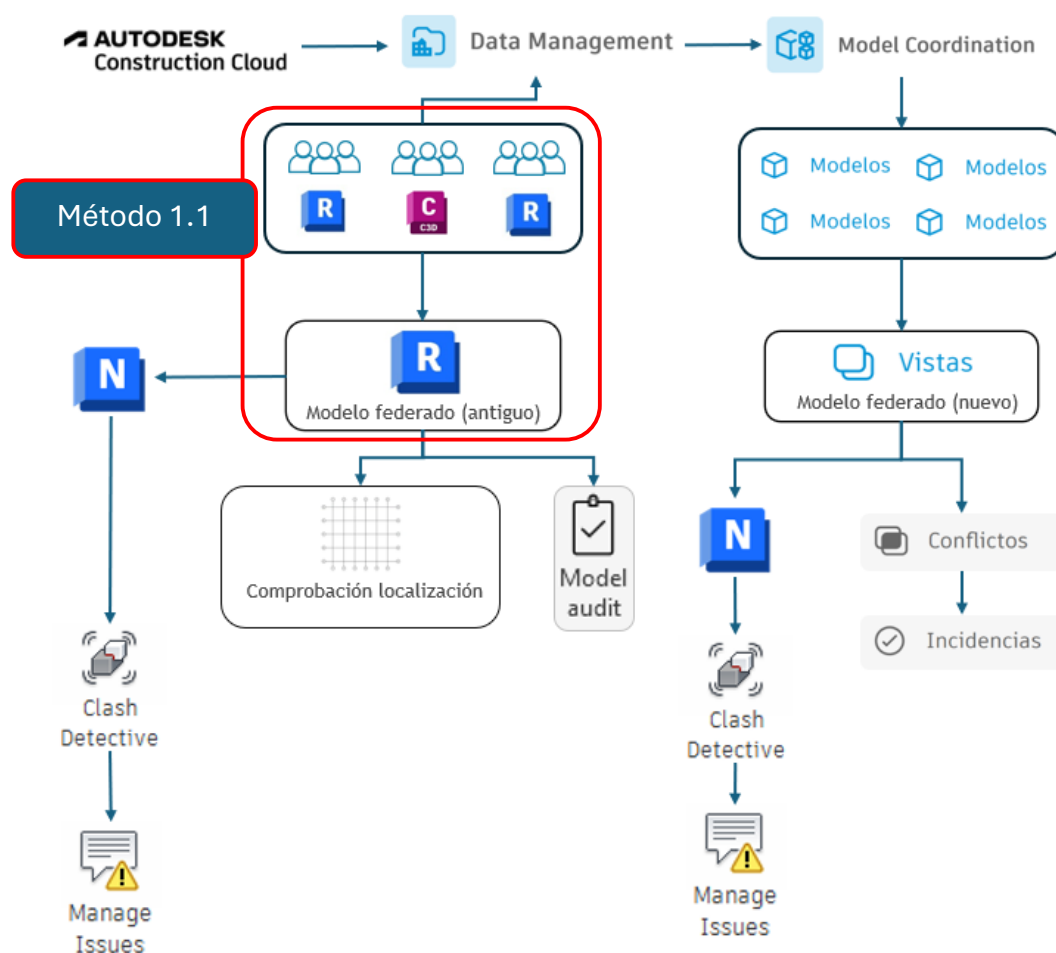


Ilustración 52. Método 1.1 de federación de modelos dentro del diagrama de flujos de trabajos en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

Como ya se mencionó en la sección 5.2, dicho método se basa en la creación y actualización de los *modelos federados* mediante el uso de *Revit*, para introducir los modelos propios de cada una de las infraestructuras, y *Navisworks*, para introducir modelos de contorno en el modelo para dar contexto a la infraestructura si fuera necesario.

6.4.2.1 Ventajas

Control de los modelos y la información:

Una de las principales ventajas a la hora de federar los modelos, debido a que se realiza en *Revit*, es que hay pleno control de los modelos que se vinculan en él.

Para que cada una de las disciplinas pueda realizar su trabajo, es indispensable que tengan vinculados los modelos de las demás disciplinas para que pueda haber cierta coordinación previa a la hora de diseñar y modelar. Estos vínculos siempre son mediante la opción “Overlay” cómo es posible observar:

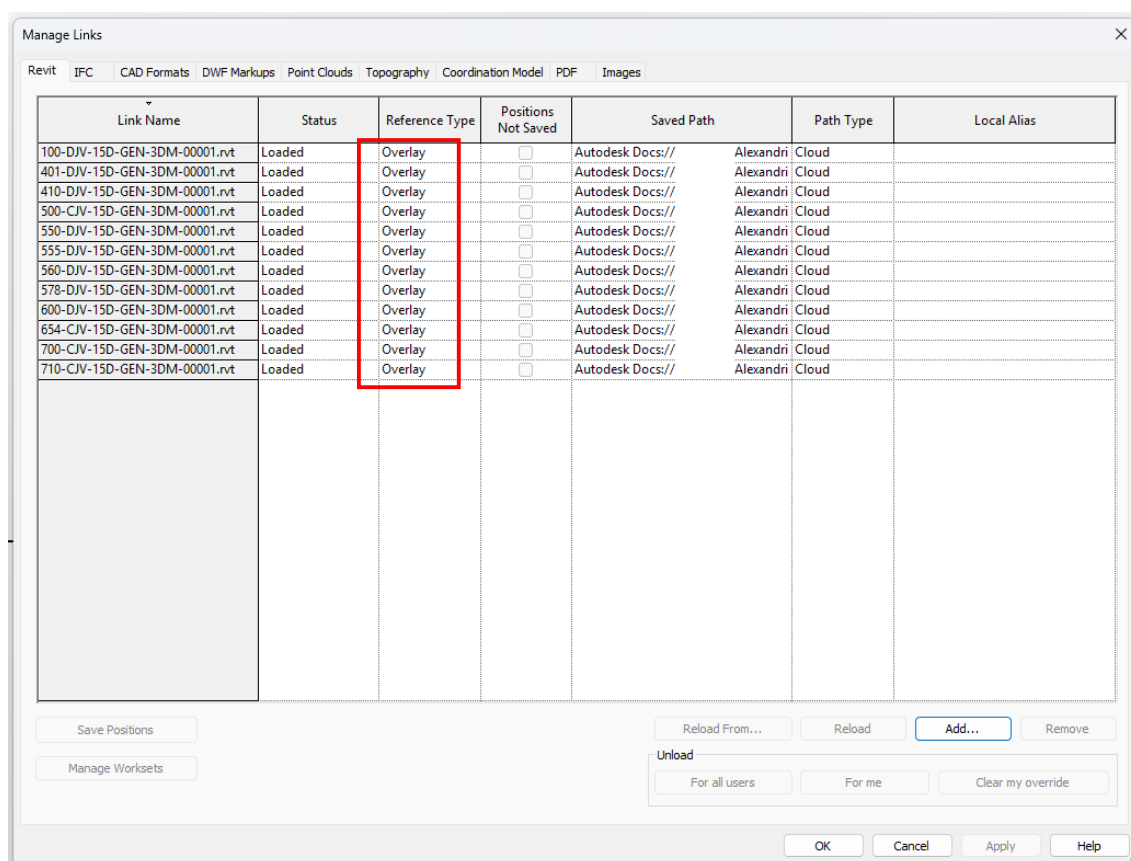


Ilustración 53. Tipo de vínculo en Revit. Fuente: elaboración propia

Esto permite que, cuando los modelos de las disciplinas se vinculan al modelo general (o federado), los vínculos previos que tenían esos modelos sean

automáticamente eliminados. Esto previene que haya duplicidades dentro de los modelos, como es posible observar en la Ilustración 54:

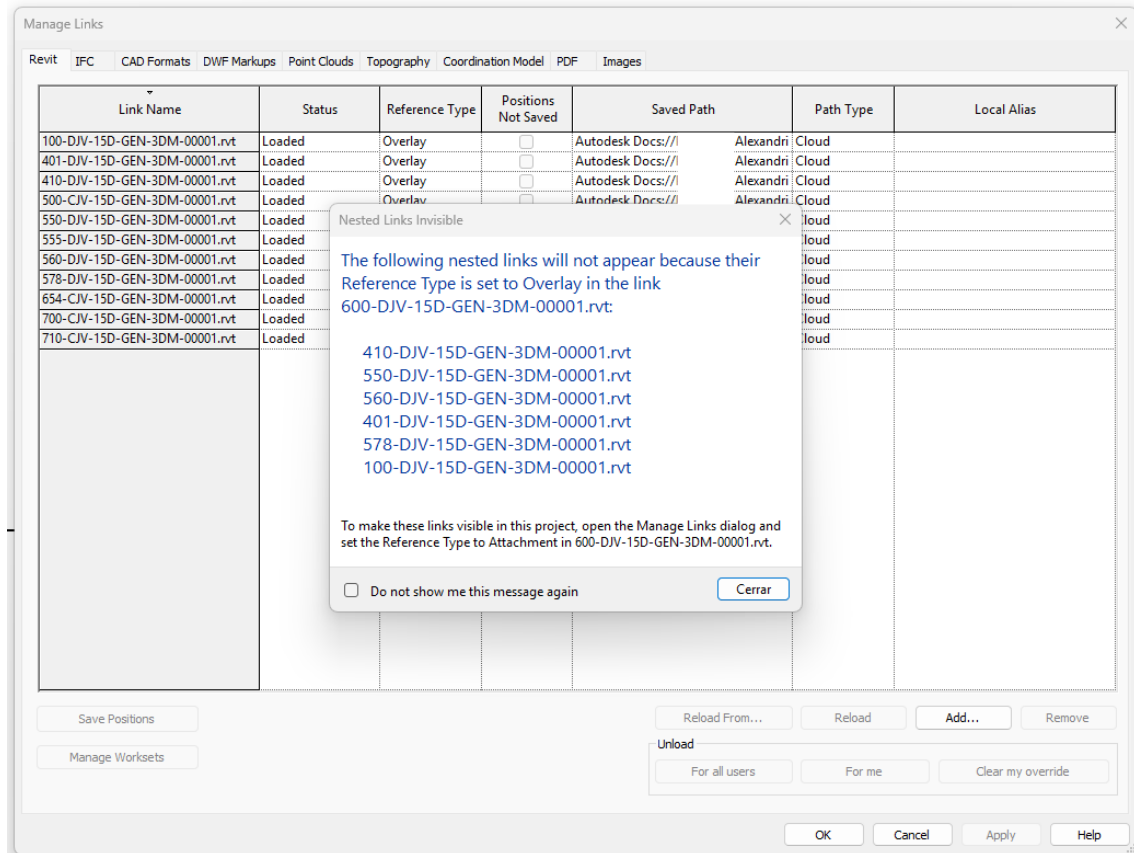


Ilustración 54. Eliminación de vínculos al vincular modelos. Fuente: elaboración propia

Si los modelos tuvieran los modelos vinculados mediante la opción “Attachment”, cuando fueran vinculados, presentarían los modelos que ya tenían esos mismos archivos vinculados previamente, causando duplicidades y un aumento considerable en tamaño de los *modelos federados*.

Control de la posición de los modelos:

Muchas veces, los modelos que se incorporan al *modelo federado* no se ubican espacialmente correctamente. Una de las ventajas de *Revit*, es que es posible poner los modelos de nuevo en *coordenadas compartidas* si resulta que se han perdido las coordenadas que previamente ya tenían. Esto otorga gran margen de maniobra en la gestión de *federados* ya que permite solventar ciertos problemas en el momento.

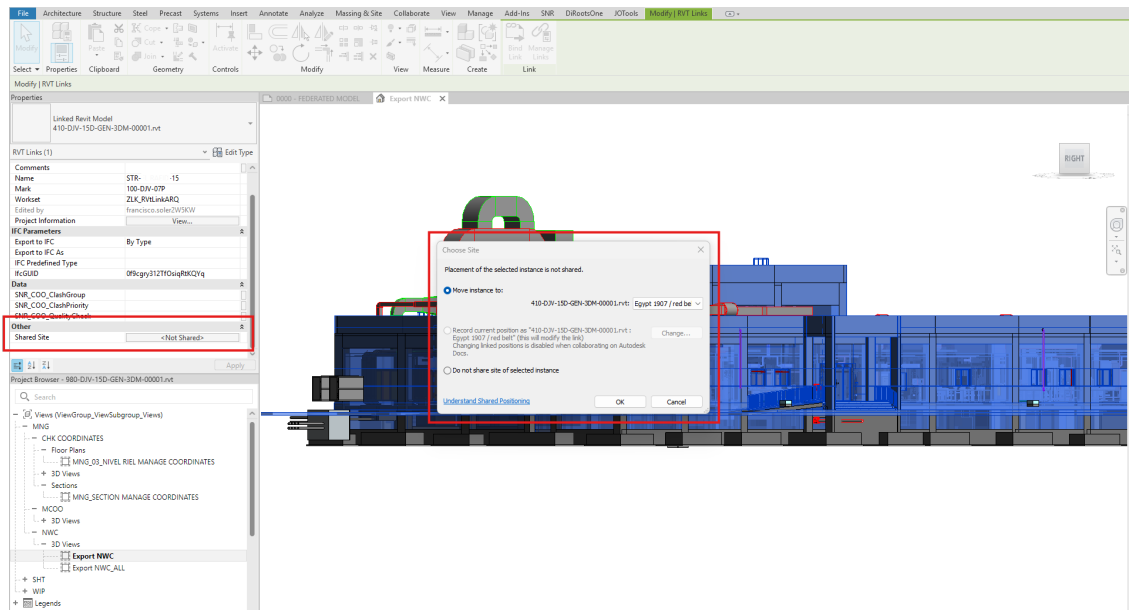


Ilustración 55. Control del posicionamiento de los modelos en Revit. Fuente: elaboración propia

Si no fuera así, habría que comunicarse con la disciplina para que solventara el problema, aumentando drásticamente el tiempo necesario para llevarlo a cabo la corrección de la posición del modelo respecto al modelo general.

Trazabilidad:

Otra de las grandes ventajas del flujo de trabajo actual es la capacidad de preservar todas las versiones que se vayan superponiendo de cada uno de los *modelos federados*, tanto en *Revit*, como en *Navisworks*. También toda la información de quien, cuando ha subido, actualizado o modificado cada uno de los modelos:

Archivos

Archivos

CarpetasConjuntos

✓ Archivos de proyecto

00_BIM MNG

01_PROJECT LIBRARY

02_INF MODELS

01_WIP

00_REF

01_COO

01_RVT

02_NAVIS

03_IFC

04_URS

05_OTHER

06_CIVIL

02_MOD

03_DRW

04_TRANSMEA

02_SHARED

03_PUBLISHED

Cargar archivos

Nombre ↑	Descripción	Versión	Indicadores	Marcas ...	Incidenc.	Tamaño	Última actualización
☐ 980-DJV-000-GEN-3DM-00001.rvt	FEDERATED DEPOT ALL	V6				1,1 GB	3 de dic de 2024 10:26
☐ 980-DJV-006-GEN-3DM-00001.rvt	STATIONS COORDINAT.	V3				12,1 MB	26 de nov de 2024 15:58
☐ 980-DJV-00P-GEN-3DM-00001.rvt	FEDERATED SERVICE P.	V8				2,4 GB	20 de feb de 2026 10:26
☐ 980-DJV-00S-GEN-3DM-00001-EX...	EXISTING CONDITION...	V7				459,5 MB	17 de oct de 2025 11:00
☐ 980-DJV-00V-GEN-3DM-00001.rvt	FEDERATED VIADUCTS	V7				786,7 MB	24 de jul de 2025 16:15
☐ 980-DJV-010-GEN-3DM-00001.rvt	FEDERATED 010 DEPOT	V63				30,8 MB	26 de may de 2026 9:43
☐ 980-DJV-01P-GEN-3DM-00001.rvt	FEDERATE 01P SERVIC...	V15				26,1 MB	3 de jun de 2026 15:12
☐ 980-DJV-01V-GEN-3DM-00001.rvt	FEDERATED LINE SEGM	V18				7,5 MB	3 de jun de 2026 15:03
☐ 980-DJV-020-GEN-3DM-00001.rvt	FEDERATED 020 DEPOT	V43				497,3 MB	28 de abr de 2026 15:12
☐ 980-DJV-02P-GEN-3DM-00001.rvt	FEDERATED 02P QIR	V12				996,8 MB	20 de may de 2026 15:18
☐ 980-DJV-02S-GEN-3DM-00001.rvt	FEDERATED ABOU QIR	V63				7,2 MB	3 de jun de 2026 15:18

Exportar

Buscar y filtrar

Elementos suprimidos

Configuración

Ilustración 56. Trazabilidad de los modelos en Data Management. Fuente: elaboración propia

Escalabilidad:

Otra de las ventajas es la capacidad de almacenar archivos en *Revit* y *Navisworks* de manera ilimitada, simplemente siendo limitante la capacidad que tenga el servidor para almacenarlo, aunque será considerado como ilimitada.

Esto supone una gran versatilidad, ya que indiferentemente de la complejidad o tamaño del problema, este método es posible utilizarlo.

6.4.2.2 Desventajas

Tiempo:

Como ya fue mencionada en la sección 5.5 de limitaciones del actual flujo de trabajo, es necesario cada vez que se quiera crear o actualizar un *modelo federado*, abrir el modelo en *Revit*, exportarlo en un *archivo NWC* y finalmente abrirlo en *Navisworks* para finalmente ser exportado en un *archivo NWD*.

Esto supone entre todos los procesos, dependiendo del tamaño del archivo, un tiempo requerido de varía entre 10 a 15 minutos. Si el modelo que se quiere federar es de partes completas del proyecto, ese tiempo puede ser incrementado a los 30 minutos fácilmente.

Automatización:

Otros de los inconvenientes, mencionados en sección 5.5 de “Limitaciones” es la poca automatización del proceso, ya que todos los pasos se requiere realizarlos de manera manual, lo que conlleva, relacionado con el problema previo, una gran pérdida de tiempo, además de posibles errores humanos durante cualquiera de los procesos.

Se podría usar la herramienta “*Automation Job Processor*” que ayuda a que todas las exportaciones de *archivos NWC* se hicieran simultáneamente, pero si se actualizan de manera constante los modelos, esa simultaneidad no reduce significativamente el tiempo, ni se simplifica el problema de fondo, que es la automatización del proceso.

6.4.2.3 Análisis multicriterio:

Con las ventajas y desventajas expuestas anteriormente, se procederá a la evaluación de cada uno de los criterios del análisis multicriterio:

- **Tiempo de ejecución (T): 1**
 - o **Justificación:** debido a que es el proceso que mayor tiempo requiere para la *federación de los modelos* de los evaluados.
- **Nivel de automatización (A): 1**
 - o **Justificación:** debido a que todo el proceso se realiza de manera manual. Se podría realizar la exportación de los *archivos NWC* mediante el programa “*Automation Job Processor*”, que ahorra tiempo, pero no resuelve el problema de fondo.
- **Trazabilidad de la información (Ti): 5**
 - o **Justificación:** debido a que cada uno de los archivos generados es posible guardarlos en versiones y conocer toda la información de actualizaciones.
- **Calidad de la información (Ci): 5**
 - o **Justificación:** debido a que al ser un *federado* creado en el mismo programa con que fueron creado los modelos, conserva toda la información.
- **Escalabilidad (E): 5**
 - o **Justificación:** debido a que es posible crear todos los *modelos federados* que sean necesario sin limitación, únicamente siendo limitante la capacidad de almacenamiento del *CDE*.

Cálculo de la puntuación ponderada:

A continuación, se procederá con el cálculo de la puntuación mediante la obtención de los criterios y los pesos obtenidos previamente:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i = 0,25 * 1 + 0,2 * 1 + 0,15 * 5 + 0,2 * 5 + 0,1 * 5 = 2,7$$

Como se puede observar, el flujo de trabajo ha sido es una solución mejorable. Esto es debido a que, aunque presente muchas ventajas en el manejo de información,

el tiempo y esfuerzo requerido para realizar todo el proceso conlleva una merma considerable en la puntuación obtenida.

6.4.3 Método 1.2

El método 1.2 para la *federación de los modelos* corresponde a un método en el cual se usa únicamente el módulo de *Autodesk Construction Cloud* “*Model Coordination*”, el cual ejecuta y archiva la información exclusivamente en la nube, como se puede observar en la Ilustración 57 indicado en el diagrama de los flujos de trabajo:

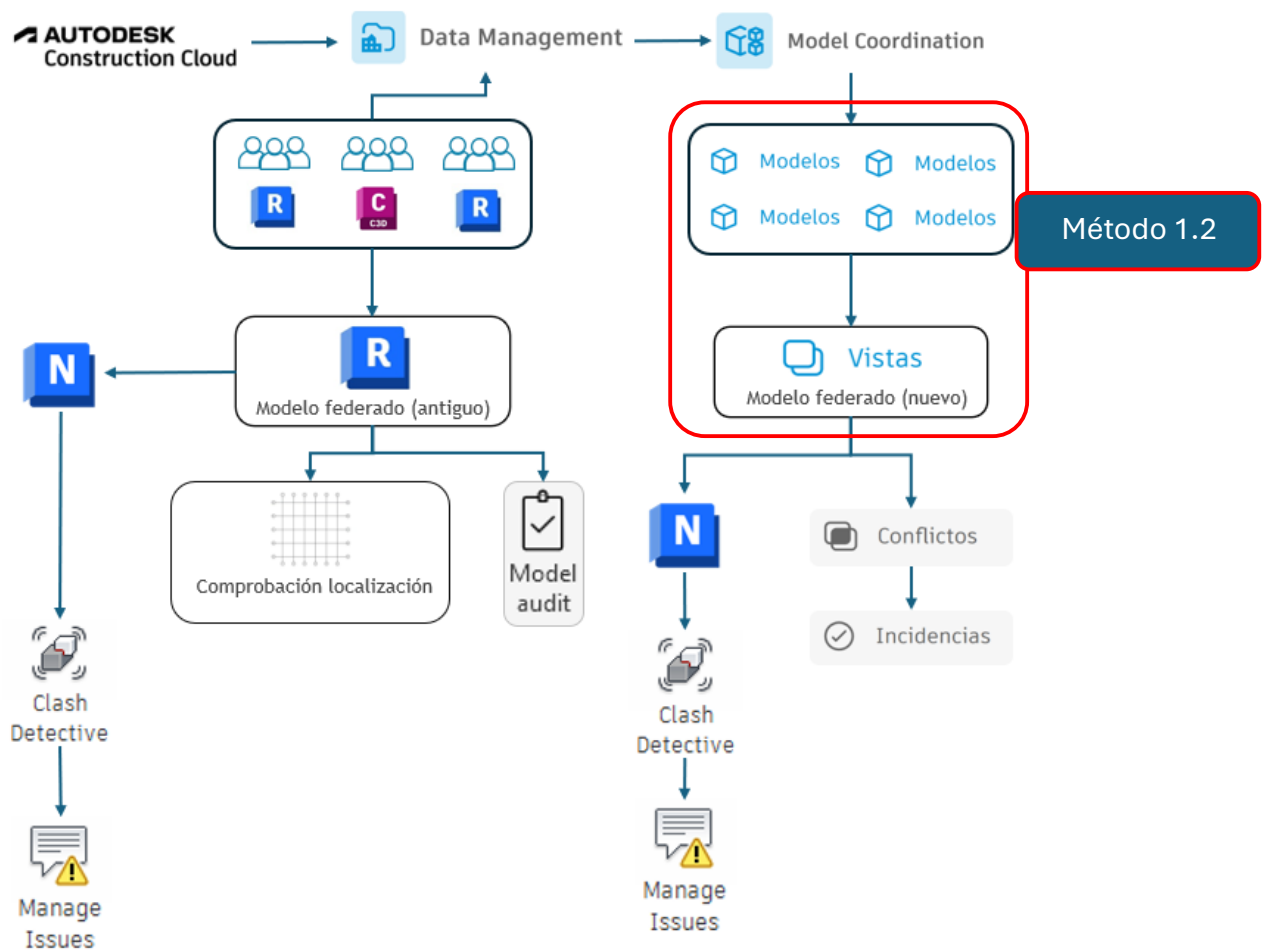


Ilustración 57. Método 1.2 de federación de modelos dentro del diagrama de flujos de trabajos en el nuevo metro de Alejandría.

Para la creación de los *modelos federados*, es necesario la creación de un *espacio de coordinación* dentro de *Model Coordination*. El *espacio de coordinación* consiste en carpetas dentro de *Model Coordination* donde se ubican las vistas

previamente seleccionadas de los modelos que se han extraído en *Revit* de las diferentes disciplinas, como es posible observar en la Ilustración 58:

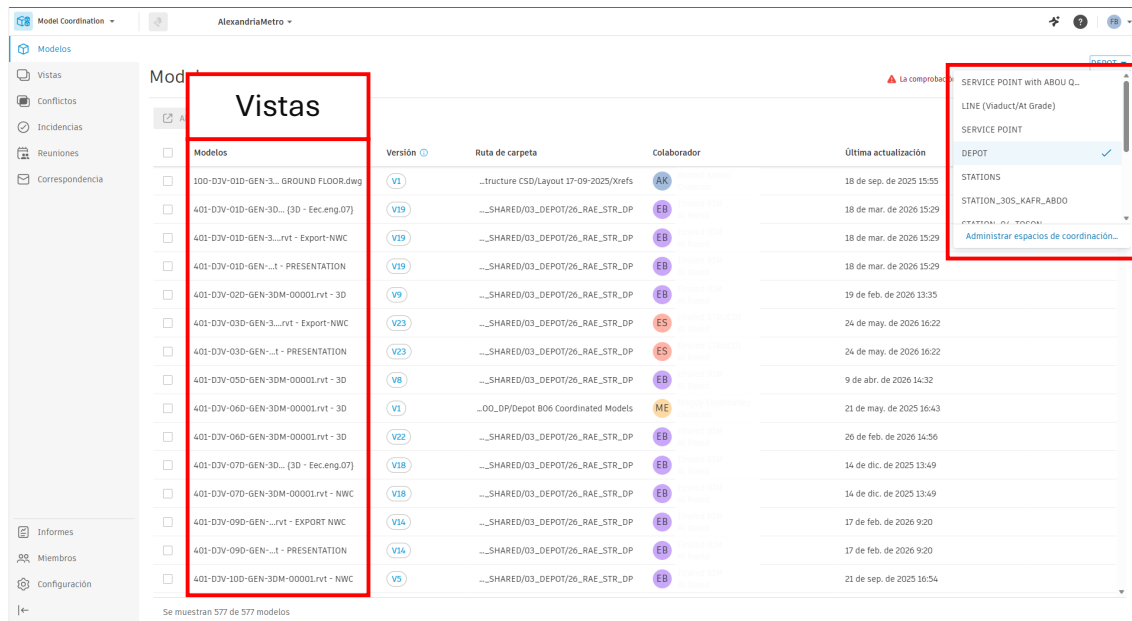


Ilustración 58. Vistas extraídas de los modelos en Model Coordination. Fuente: elaboración propia

Dichas vistas, consisten, dentro de los modelos de *Revit* de las disciplinas, en configuraciones de visualización que son guardadas para poder controlar que es lo que se quiere ver en las vistas que después son exportadas. Por ejemplo, a continuación, en la Ilustración 59, se muestra el modelo estructural de *Revit* del edificio 15D en ACC con las vistas que presenta el modelo:

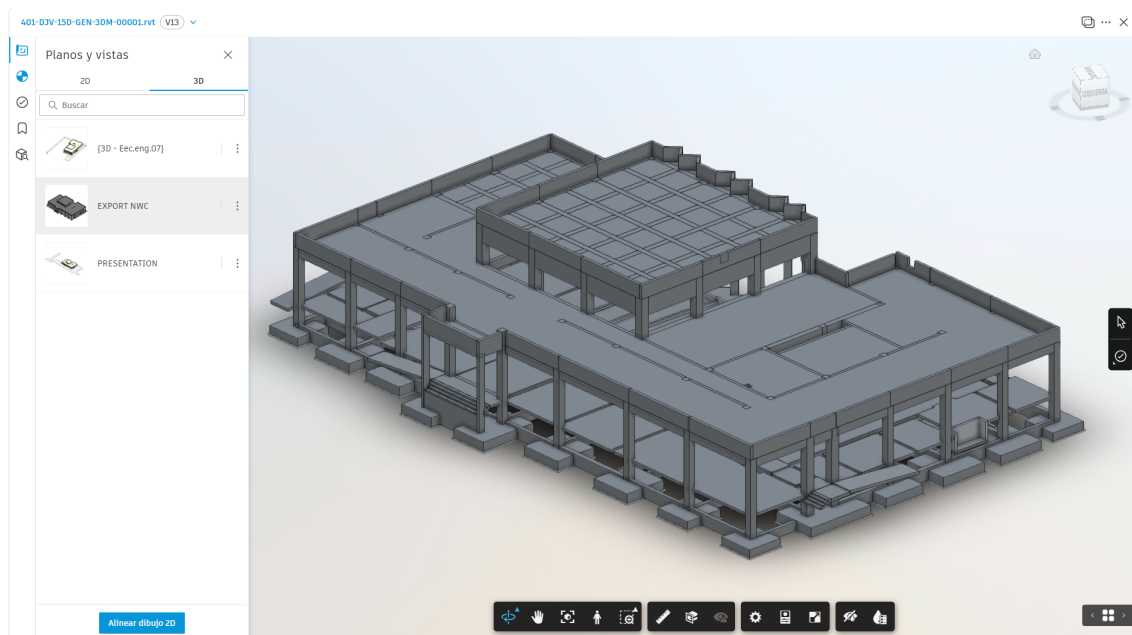


Ilustración 59. Vistas del modelo estructural en ACC. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, presenta 3 vistas, la primera una de trabajo, una segunda llamada “EXPORT NWC” que únicamente contiene el modelo y finalmente una llamada “PRESENTATION” que contiene además del modelo, los modelos vinculados de las demás disciplinas.

Para que esas vistas sean visibles, es necesario seleccionar de donde queremos que sean extraídas, para ellos es necesario ir a “Configuración” y seleccionarlás. En este caso han sido seleccionadas las carpetas del DEPOT dentro de la carpeta SHARED, donde se ubican todos los modelos subidos por las disciplinas del proyecto para esta tipología:

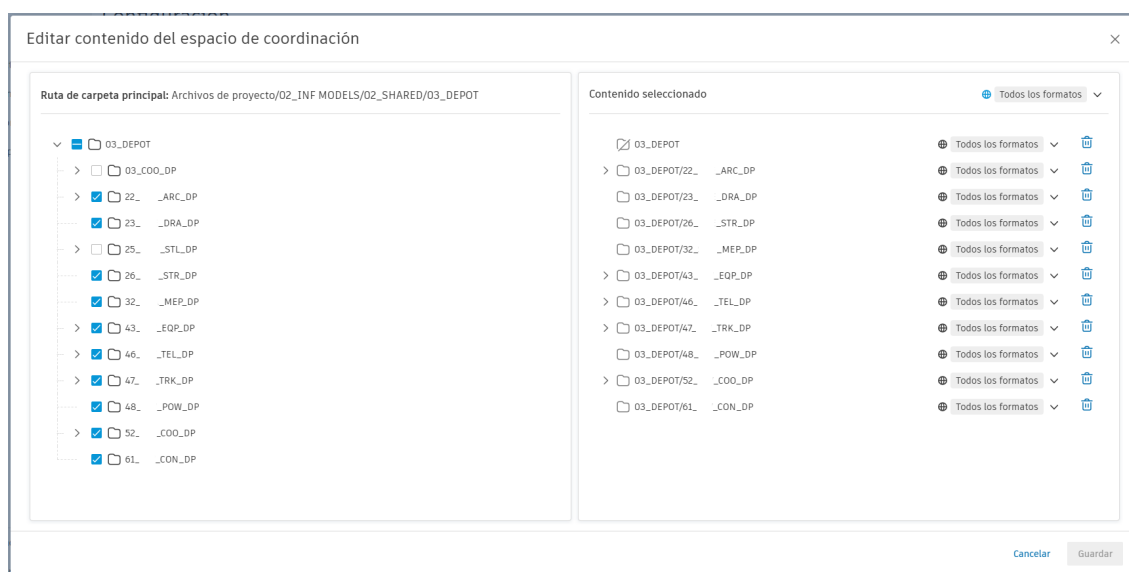


Ilustración 60. Selección de las carpetas para las vistas. Fuente: elaboración propia

Con las vistas ya creadas, para la creación de los modelos, es necesario establecernos en el *espacio de coordinación* que nos concierna y seleccionar las vistas que nos interesen para la creación del *modelo federado*.

Para ello, es filtrado en este caso la infraestructura 15D, seleccionando todas las vistas de todas las disciplinas que presenten la designación “Export NWC”. Cuando todas las vistas sean integradas, nos aseguremos que las vistas no presenten otros modelos evitando así duplicidades en el *modelo federado*, ya que esto ocasiona problemas en la gestión de los modelos con la creación de las colisiones. A continuación, en la Ilustración 61, se puede observar las vistas seleccionadas del modelo en cuestión:

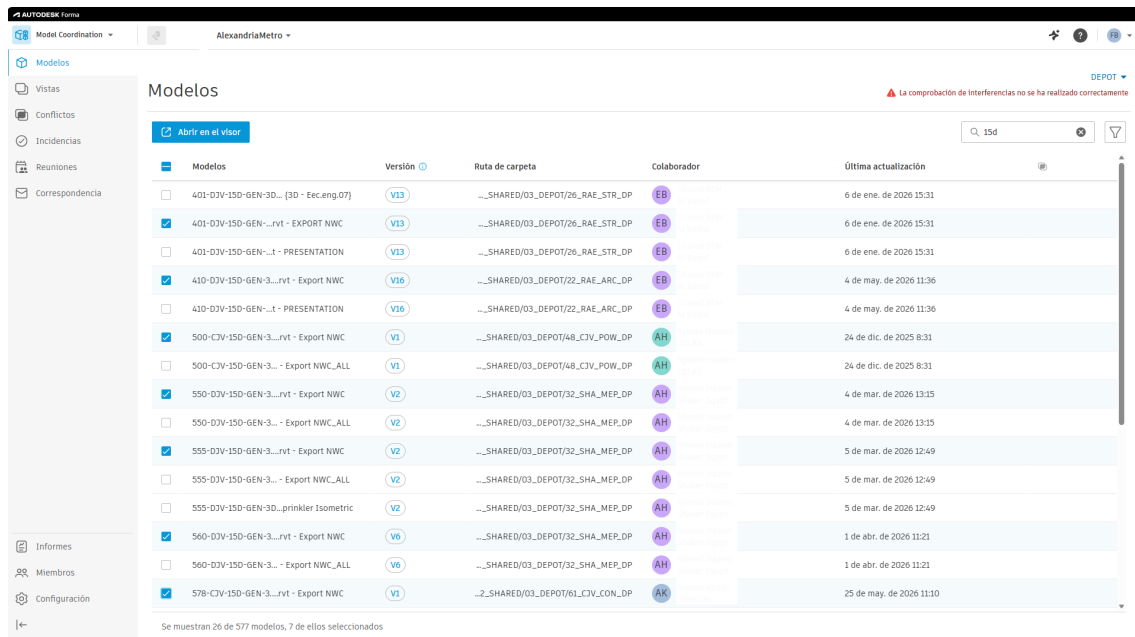


Ilustración 61. Selección de vistas para la federación de los modelos. Fuente: elaboración propia

Con ello, al tener los modelos seleccionados, es posible darle a “Abrir en el visor” y ver el *modelo federado*:

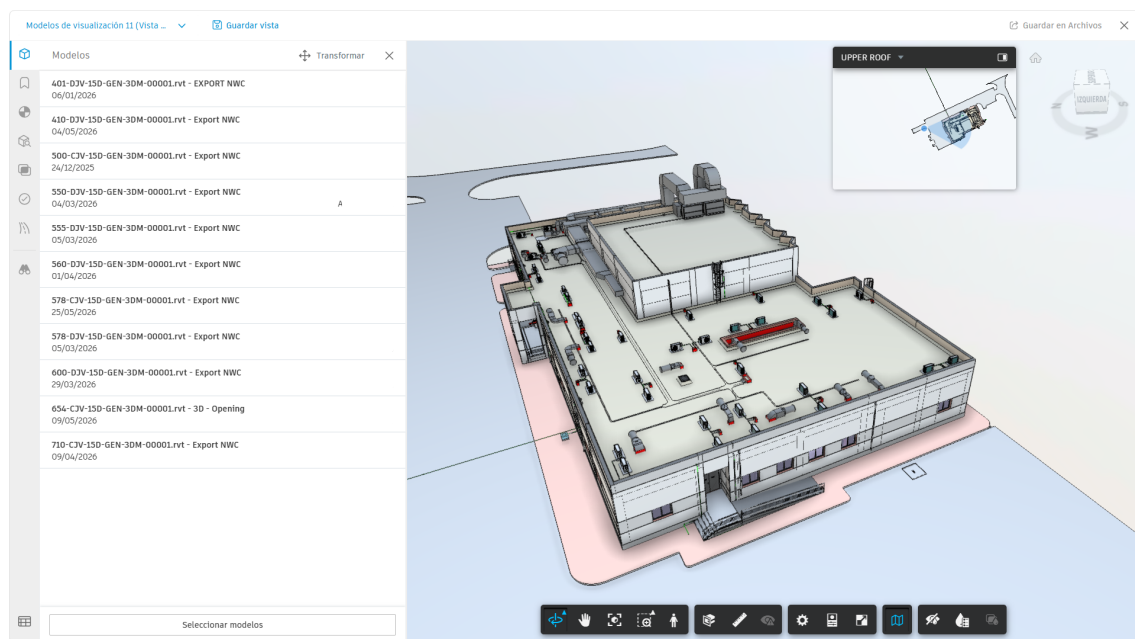


Ilustración 62. Modelo federado en Model Coordination. Fuente: elaboración propia

Una vez se crea, es posible darle a guardar vista para que se quede guardado en el apartado de “Vistas” dentro de *Model Coordination*:

AUTODESK Forma

Model Coordination - AlexandriaMetro

Modelos

Vistas

Conflictos

Incidencias

Reuniones

Correspondencia

Informes

Miembros

Configuración

DEPOT

La comprobación de interferencias no se ha realizado correctamente

Título	Guardar en Archivos	Guardado por última vez en Archivos	Creado por	Actualizado el	Privacidad	Detalles
980-DIV-180-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	el viernes pasado a las 14:19		>
980-DIV-160-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	el viernes pasado a las 14:16		>
980-DIV-170-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:16		>
980-DIV-150-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:22		>
980-DIV-120-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:16		>
980-DIV-140-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:16		>
980-DIV-130-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:16		>
980-DIV-110-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:15		>
980-DIV-100-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:15		>
980-DIV-090-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:18		>
980-DIV-080-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:14		>
980-DIV-070-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:24		>
980-DIV-060-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:23		>
980-DIV-050-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:23		>
980-DIV-040-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:17		>
980-DIV-030-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:14		>

Ilustración 63. Listado de vistas de modelos federados. Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, debido a que el módulo de *Modelo Coordination* no es accesible para todos los miembros y disciplinas del proyecto, es posible guardar una copia con el modelo congelado en *Data Management*, más en concreto en la carpeta SHARED para que cualquier miembro del proyecto, incluyendo los promotores, tengan acceso a él.

También es posible mediante *Navisworks*, abrir la vista para posteriormente guardarla como un *archivo NWD* como en el caso del método 1 de *federación de modelos*.

6.4.3.1 Ventajas

Tiempo:

Debido a que todo el proceso de *federación de modelos* es llevado a cabo en la nube, no es necesario el uso de programas locales, lo que conlleva que no es necesario cargar localmente ningún modelo, además de que no es necesario llevar a cabo ninguna exportación (ya que se hace automáticamente cuando los modelos pertenecientes a las disciplinas son cargados desde *Data Management* mediante los *espacios de coordinación*).

Con ello, se consigue federar modelos desde 2 minutos, en el mejor de los casos, hasta 4-5 minutos si el modelo es demasiado grande.

Automatización:

En sintonía con el caso anterior, una vez es creada la vista del *modelo federado* con los modelos de las disciplinas, la vista es actualizada inmediatamente es abierto. Sin embargo, para que ello suceda, es necesario que todas las disciplinas superpongan los modelos que vayan creando sobre los modelos antiguos para que se vayan creando versiones sobre el propio archivo, ya que, si no es así, se crea un archivo nuevo que hay que introducir en la vista del *modelo federado* a mano nuevamente.

Adicionalmente, si miembros del proyecto que no poseen el módulo de *Model Coordination*, es necesario realizar la copia congelada del modelo manualmente para que se quede guardado en *Data Management* cada vez que el modelo es actualizado para que posean la versión más reciente.

6.4.3.2 Desventajas

Control de los modelos:

Debido a que los modelos poseen vínculos de los modelos de otras disciplinas, al crear las vistas que después son usadas en el *espacio de coordinación*, pueden contener vínculos no deseables, ya que no se ha establecido bien la vista, normalmente la vista “Export NWC” que ha sido mencionada previamente.

En la Ilustración 64, es posible observar un fallo del modelo estructural de una de las estaciones:

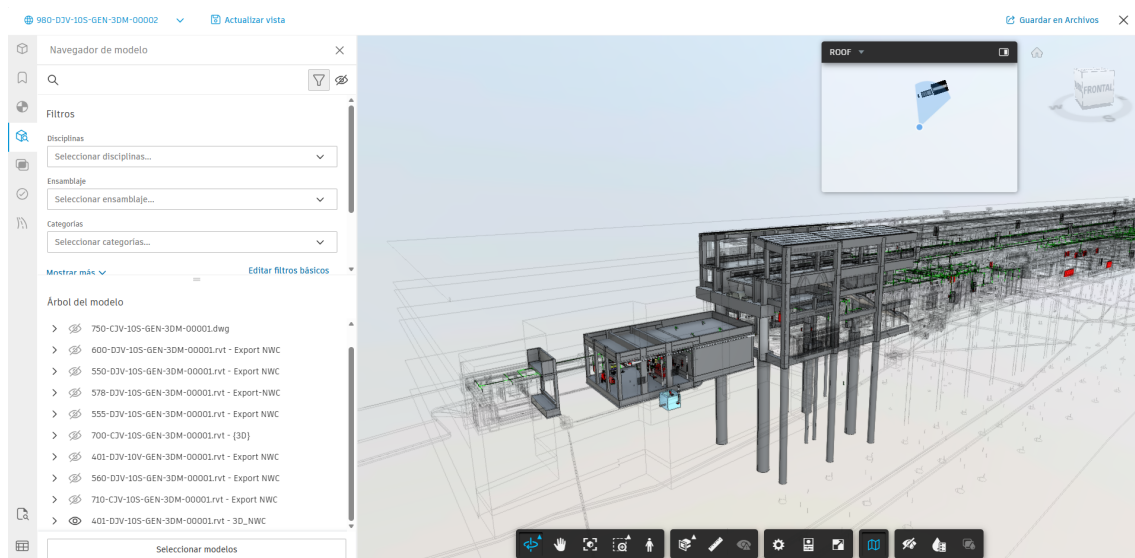


Ilustración 64. Fallo de la vista del modelo estructural en la vista. Fuente: elaboración propia

Además, es posible observar que dicho modelo cuenta con otros elementos que no forman parte de la estructura, en este caso el modelo contra incendios.

Como se mencionó previamente, esto causa duplicidades que perjudican gravemente la visualización de los modelos, además de la detección de *interferencias*, ya que se harán chocar elementos que no deberían estar ahí, incrementando drásticamente las colisiones, colisiones que no son reales de ese modelo.

Para que esto no suceda, es necesario el control de que las disciplinas creen los modelos y vistas correctamente, a continuación, en la Ilustración 65, se puede observar el control que se lleva a cabo mediante una hoja Excel de las estaciones que es compartida con cada una de las disciplinas:

Station Number	Station	Type	Viaduct In station 401 V	Arch 410	STR Steel 407	STR 401S	Storm Drainage 580	last MEP in federated by	550 - HVAC	600 - BMS	560 - Electrical	555 - Fire Fighting	578 - Plumbing	CJV 654 - Builders work	710 - Telecom/UPS
025	Abo Qir	Type 3	Export NWC OK	Hide model lines	-	Export NWC OK	Not shared	Shaker	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	name Export NWC	3d view elements far
045	Toson	Type 4	Export NWC OK	Hide model lines	Export NWC OK	Export NWC OK	Hide RVT links name Export NWC	CJV	Hide RVT links	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	name Export NWC	Include 700 model
065	Al-Maamoura	Type 3	Export NWC OK	Hide STR link name Export NWC	-	3d view elements far Name Export NWC	Not shared	Shaker	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	name Export NWC	Include 700 model
085	Al-Eslah	Type 4	Export NWC OK	Export NWC OK	Hide levels	Hide ARCH link name Export NWC	Hide levels name Export NWC	Shaker	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	name Export NWC	3d view elements far
105	Al-Montazah	Type 5	Export NWC OK	Export NWC OK	-	Export NWC OK	Not shared	Shaker	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	name Export NWC	3d view elements far
125	Al-Mandara	Type 5	Export NWC OK	Export NWC OK	-	Export NWC OK	Hide RVT links name Export NWC	Shaker	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	name Export NWC	Export NWC OK
145	Al-Asafa	Type 3	Export NWC OK	Export NWC OK	-	Export NWC OK	Hide CAD name Export NWC	CJV	Hide ARCH links	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	name Export NWC	Include 700 model
165	Miami	Type 3	Export NWC OK	Hide model lines	-	Hide CAD name Export NWC	Hide levels name Export NWC	CJV	Hide RVT links	Export NWC OK	Hide RVT links	Hide STR link	Export NWC OK	name Export NWC	Include 700 model
185	Sidi Bishr	Type 3	Export NWC OK	Export NWC OK	-	Export NWC OK	Hide CAD name Export NWC	CJV	Hide RVT links	Export NWC OK	hide RVT links	Export NWC OK	Export NWC OK	name Export NWC	3d view elements far
205	Mohammed Naguib	Type 3	Export NWC OK	Hide model lines	-	Parilla view name Export NWC	Not shared	Shaker	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	name Export NWC	Include 700 model
225	Victoria-Raml Tram	Type 5-INT	Export NWC OK	Hide model lines	-	name Export NWC	Not shared	Shaker	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	Not shared	name Export NWC	Export NWC OK
245	Ghebril	Type 5	Export NWC OK	Hide STR link name Export NWC	-	Hide ARCH link name Export NWC	hide levels name Export NWC	Shaker	Export NWC OK	hide levels	hide levels	hide levels	3d view elements far away	name Export NWC	Hide RVT links
265	Al-Souq	Type 5	Export NWC OK	No 3D view	-	Hide ARCH link name export NWC	Not shared	Shaker	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK	hide STR link	Export NWC OK	Export NWC OK	Export NWC OK
285	Al-Zahira	Type 5	Export NWC OK	Hide STR link name Export NWC	-	Hide ARCH link Name Export NWC	Not shared	Shaker	3d view elements far	Export NWC OK	Export NWC OK	Not shared	Not shared	name Export NWC	Export NWC OK

Ilustración 65. Control de las vistas de las estaciones. Fuente: elaboración propia

En la hoja Excel, se puede observar desde modelos no compartidos, modelos con nombre incorrecto hasta algunos que presentan vinculados otros modelos que no deberían estar.

Debido a que los modelos son actualizados continuamente, el control de las vistas ha de ser consecuentemente también continuo, además de comunicar la corrección de los mismo a las disciplinas para que realicen las correcciones lo antes posible, para que la coordinación de los modelos sea efectiva.

Calidad de la información:

Debido a que los modelos no se visualizan desde *Revit* o *Navisworks*, se pierde la práctica totalidad de la información que ellos albergaban. Como se puede observar a continuación, únicamente se puede observar los niveles que presentan cada uno de los modelos que alberga el *modelo federado*:

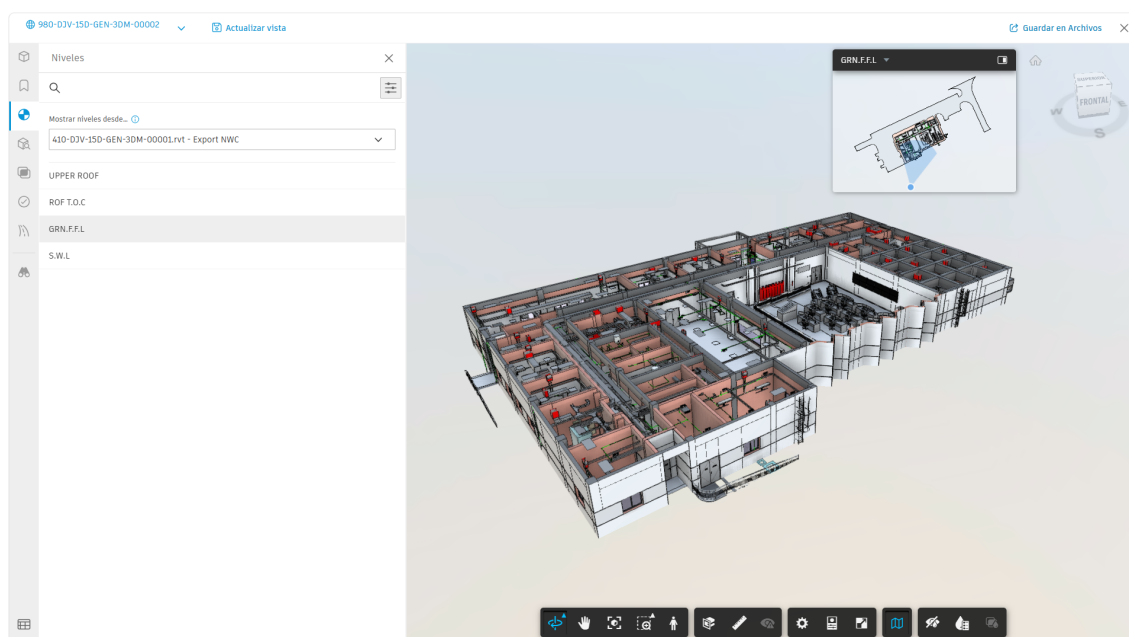


Ilustración 66. Niveles de la vista del modelo federado. Fuente: elaboración propia

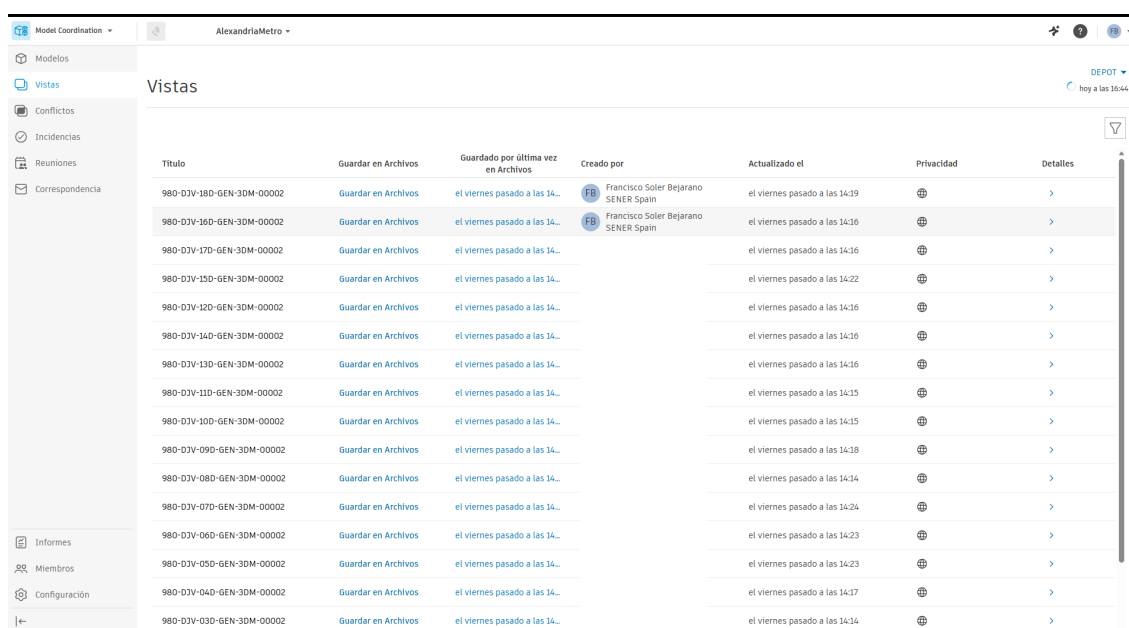
Además, si es seleccionado cualquier elemento del *modelo federado*, no es posible ver la información que presentaba en *Revit* o *Navisworks*, siendo necesario abrir el modelo en *Revit* o *Navisworks* si fuera necesario comprobar la información, perdiendo una de las ventajas que presentaba esta metodología para la *federación de los modelos*.

Con la pérdida de información, tampoco es posible comprobar el posicionamiento de los modelos, siendo delegado simplemente a una revisión visual de los modelos.

Trazabilidad:

Otras de los inconvenientes observados es la imposibilidad de rastrear las vistas creada de los *modelos federados* en los *espacios de coordinación* mediante versiones de los mismo. Esto es debido a que usa el método tradicional, se puede ver quien lo ha creado y actualizado, pero no existen versiones previas ni quien las hizo. Esto imposibilita tener un seguimiento de las diferentes versiones que se han ido creando, así como el responsable de estos.

Como se puede observar en la Ilustración 67, únicamente se muestra quién ha hecho la última actualización y cuando:



Título	Guardar en Archivos	Guardado por última vez en Archivos	Creado por	Actualizado el	Privacidad	Detalles
980-DJV-180-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	el viernes pasado a las 14:19	🔒	>
980-DJV-160-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	el viernes pasado a las 14:16	🔒	>
980-DJV-170-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:16	🔒	>
980-DJV-150-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:22	🔒	>
980-DJV-120-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:16	🔒	>
980-DJV-140-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:16	🔒	>
980-DJV-130-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:16	🔒	>
980-DJV-110-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:15	🔒	>
980-DJV-100-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:15	🔒	>
980-DJV-090-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:18	🔒	>
980-DJV-080-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:14	🔒	>
980-DJV-070-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:24	🔒	>
980-DJV-060-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:23	🔒	>
980-DJV-050-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:23	🔒	>
980-DJV-040-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:17	🔒	>
980-DJV-030-GEN-3DM-00002	Guardar en Archivos	el viernes pasado a las 14...		el viernes pasado a las 14:14	🔒	>

Ilustración 67. Trazabilidad de las vistas en espacio de coordinación. Fuente: elaboración propia

Escalabilidad:

Actualmente, los *espacios de coordinación* presentan únicamente 20 carpetas, lo que, en el caso de que se quiera catalogar los diferentes tipos de infraestructuras para tener una mayor organización de estos, únicamente podría tener hasta 20 carpetas, limitando su capacidad para proyectos de gran envergadura.

Además, el tener muchas vistas de *modelos federados* en el mismo *espacio de coordinación*, significa que es necesario extraer más vistas de más carpetas de modelos de más disciplinas, lo que supone una considerable pérdida de rendimiento por parte del servido de ACC debido a la gran cantidad de vistas de modelos que cargar.

6.4.3.3 Análisis multicriterio

Con las ventajas y desventajas expuestas anteriormente, se procederá a la evaluación de cada uno de los criterios del análisis multicriterio:

- **Tiempo de ejecución (T): 5**
 - o **Justificación:** debido a que es el proceso que menor tiempo consume de los evaluados, siendo de aproximadamente 1 o 2 minutos dependiendo de la cantidad de modelos.

- **Nivel de automatización (A): 4**

- o **Justificación:** aunque es posible automatizar prácticamente el proceso de actualización, es necesario, si hay errores, solucionarlo manualmente, además de que las vistas congeladas hay que realizarlas de igual manera manualmente.

- **Trazabilidad de la información (Ti): 3**

- o **Justificación:** aunque las vistas creadas en los *espacios de coordinación* presentan una trazabilidad limitada, las copias congeladas a partir de ellas en *Data Management* sí que presentan trazabilidad de versiones e información, como es posible observaren la Ilustración 68:

Nombre	Versión	Indicadores	Marcas	Incidence	Tamaño	Última actualización	Actualizado por	Versión añadida por	Estado de revisión
980-D3V-010-GEN	V1				144,3 KB	5 de jun de 2026 14:21	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-010-GEN	V1				131,8 KB	29 de oct de 2025 14:03			
980-D3V-020-GEN	V5				9 KB	5 de jun de 2026 14:15	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-030-GE	V6				46,7 KB	5 de jun de 2026 14:15	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-040-GE	V5				5,5 KB	5 de jun de 2026 14:17	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-040-GE	V1				4,1 KB	16 de abr de 2026 13:36	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-050-GE	V5				397,1 KB	5 de jun de 2026 14:24	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-060-GE	V11				364,5 KB	5 de jun de 2026 14:24	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-070-GEN	V6				87,4 KB	5 de jun de 2026 14:25	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-080-GE	V5				8,5 KB	5 de jun de 2026 14:14	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-090-GE	V5				23,1 KB	5 de jun de 2026 14:19	Francisco Soler...	Francisco Soler...	
980-D3V-100-GEN	V5				17 KB	5 de jun de 2026 14:15	Francisco Soler...	Francisco Soler...	

Ilustración 68. Trazabilidad de las copias congeladas a partir de las vistas. Fuente: elaboración propia.

- **Calidad de la información (Ci): 2**

- o **Justificación:** debido a que únicamente es posible observar las niveles y nombre de los elementos.

- **Escalabilidad (E): 3**

- o **Justificación:** aunque hay una limitación de los *espacios de coordinación*, las vistas que se pueden tener en cada *espacio de coordinación* son bastante extensas, lo que supone que prácticamente la capacidad de guardar *modelos federados* es ilimitada. Únicamente que el rendimiento del servidor decrece con la cantidad de vistas.

Cálculo de la puntuación ponderada:

A continuación, se procederá con el cálculo de la puntuación mediante la obtención de los criterios y los pesos obtenidos previamente:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i = 0,25 * 5 + 0,2 * 4 + 0,15 * 3 + 0,2 * 2 + 0,1 * 3 = 3,2$$

Como se puede observar, presenta como una solución adecuada. Esto es debido a que, aunque presente muchas ventajas en cuanto a la gestión del tiempo, con una reducción significativa del tiempo necesario para hacerlo, ya que se reduce a unos pocos minutos, además de un nivel de automatización más alto que el modelo tradicional.

En cuanto a la pérdida de control de los modelos e información, siempre que las disciplinas hagan correctamente los modelos y las vistas, no supone problemas mayores.

6.4.4 Conclusiones

A continuación, en la Tabla 3, se recoge los resultados de las puntuaciones obtenidas mediante el análisis de los dos métodos, mediante el método tradicional con *Revit* y *Navisworks* (método 1) y mediante el módulo *Model Coordination* de ACC (método 2):

Tabla 3. Resultados estudio federación de modelos. Fuente: elaboración propia

Rango de puntuación	Pesos (wi)	Método 1.1	Método 2.1
Tiempo de ejecución	0,25	1	5
Nivel de automatización	0,20	1	4
Trazabilidad de la información	0,15	5	3
Calidad de la información	0,20	5	2
Escalabilidad	0,10	5	3
Suma ponderada		2,70	3,20

Como se puede observar, el método 2, basado en el uso de *Model Coordination* dentro de *Autodesk Construction Cloud (ACC)* y gestionado completamente en la nube, presenta una mejor puntuación en comparación con el método tradicional.

En el método 1, la *federación de modelos* se realiza de forma más clásica, ya sea mediante la vinculación de modelos en *Revit* o mediante su agregación en *Navisworks*. Este enfoque permite un mayor control directo sobre los modelos, así como una gestión más detallada de los archivos, las versiones y los procesos de revisión. Sin embargo, depende en gran medida de procesos manuales, exportaciones y actualizaciones constantes, lo que puede ralentizar la coordinación y aumentar el riesgo de trabajar con información desactualizada.

Por el contrario, el método 2 permite federar automáticamente los modelos en la nube a medida que estos se publican en *ACC*, eliminando la necesidad de procesos manuales intermedios. Esta automatización mejora de forma significativa la rapidez y eficiencia en la coordinación, ya que los modelos se integran y analizan casi en tiempo real.

No obstante, este enfoque también presenta algunas limitaciones, como una menor capacidad de gestión directa sobre los modelos o menor flexibilidad en ciertos procesos avanzados en comparación con herramientas de escritorio como *Navisworks*.

Aun así, dado que la tecnología en la nube de *ACC* es relativamente reciente y se encuentra en constante evolución, es razonable prever que estas limitaciones se vayan reduciendo progresivamente. En este sentido, se espera que la brecha entre ambas metodologías continúe ampliándose a favor del entorno “cloud”, a medida que Autodesk siga desarrollando y refinando las herramientas de coordinación, automatización y gestión de modelos en la nube.

6.5 Estudio de soluciones para la creación de colisiones

6.5.1 Introducción

El presente estudio de soluciones tiene como finalidad averiguar, dentro de dos metodologías para la creación de colisiones, cuál de ellas resulta más eficiente y versátil para llevarlas a cabo, así como comparar si hay discrepancias en la creación de colisiones entre ambos métodos. Con ello, se busca realizar una comparativa mediante un estudio multicriterio con los criterios y pesos mencionados en la sección 6.2 de “Metodología de evaluación multicriterio de soluciones”.

Con ello, se busca comparar si las metodologías en la nube pueden ser un sustituto a los programas tradicionales ejecutados de manera local.

Para dicho análisis será llevado a cabo mediante el edificio (09D) mostrado a continuación, debido a que ya presenta un *espacio de coordinación* propio, así como mayor envergadura para que la creación de colisiones sea más extensa y se pueda detectar mayores discrepancias entre los modelos:



Ilustración 69. Modelo para análisis de colisiones en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

Para considerar que se produzca una colisión entre dos modelos, se considerará una tolerancia de 1 mm, siendo la tolerancia el margen de solapamiento que se permite antes de que se considere colisión. Esto permite observar en mayor detalle todas las colisiones que pueden ser creadas y que verificar que no haya errores, ya que, si se aumenta la tolerancia, podrían ocultarse algunos de ellos alterando el propio estudio.

6.5.2 Método 2.1

El método 2.1 correspondiente al método mencionado en el capítulo 5 de “Flujo de trabajo actual en el metro de Alejandría”, consiste en el análisis de la creación de las colisiones a partir de los *modelos federados* en *Revit* mediante la herramienta *Navisworks*, más en concreto con la herramienta *Clash Detective*, como es posible observar en la Ilustración 70 del diagrama general de los flujos de trabajo:

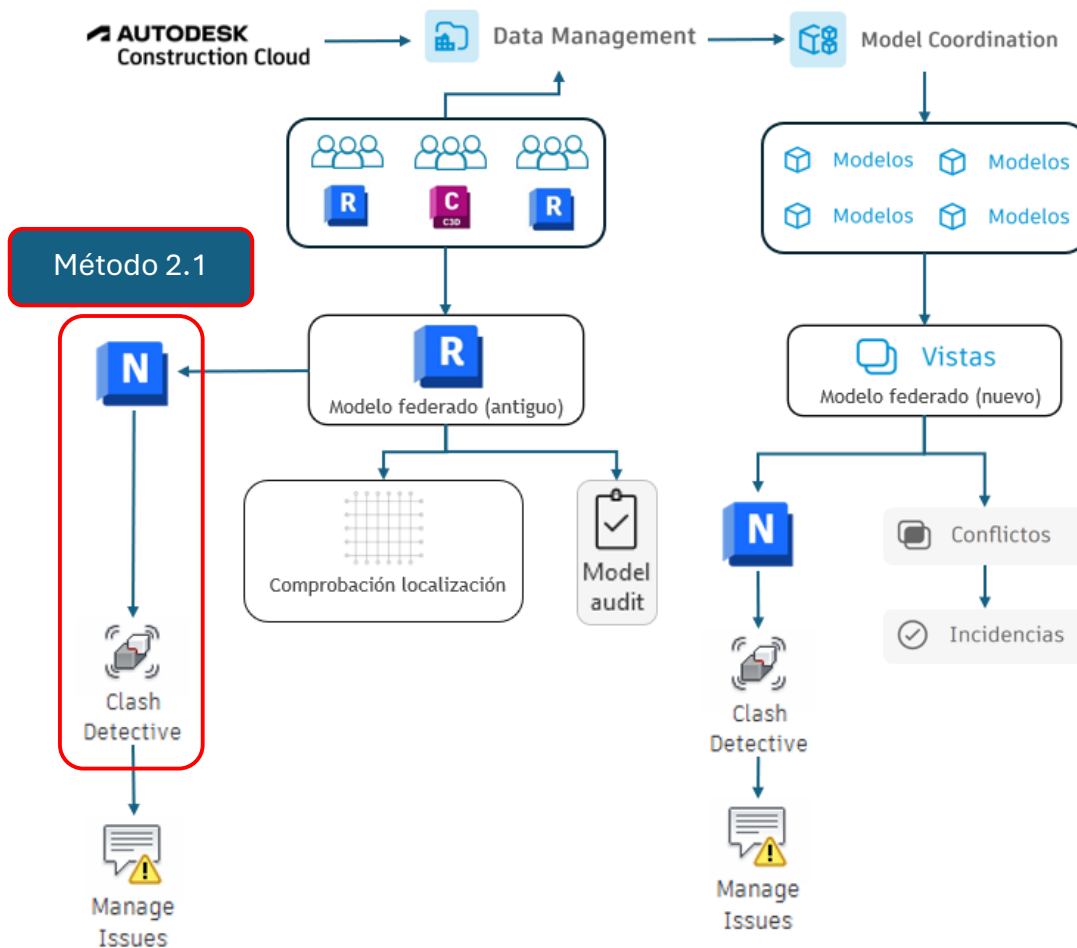


Ilustración 70. Método 2.1 de creación de colisiones dentro del diagrama de flujos de trabajos en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

Como ya se explicó en apartados anteriores, para la creación de colisiones es necesario la creación de *listado de colisiones*, en la cual, en cada uno de ellos es necesario indicar aquellos elementos que se quieren colisionar. En este caso, es posible seleccionar modelos de cada una de las disciplinas (“Standard”), el modelo en su conjunto (“Compact”), propiedades (“Properties”) y grupos (“Sets”) como se puede apreciar en la Ilustración 71:

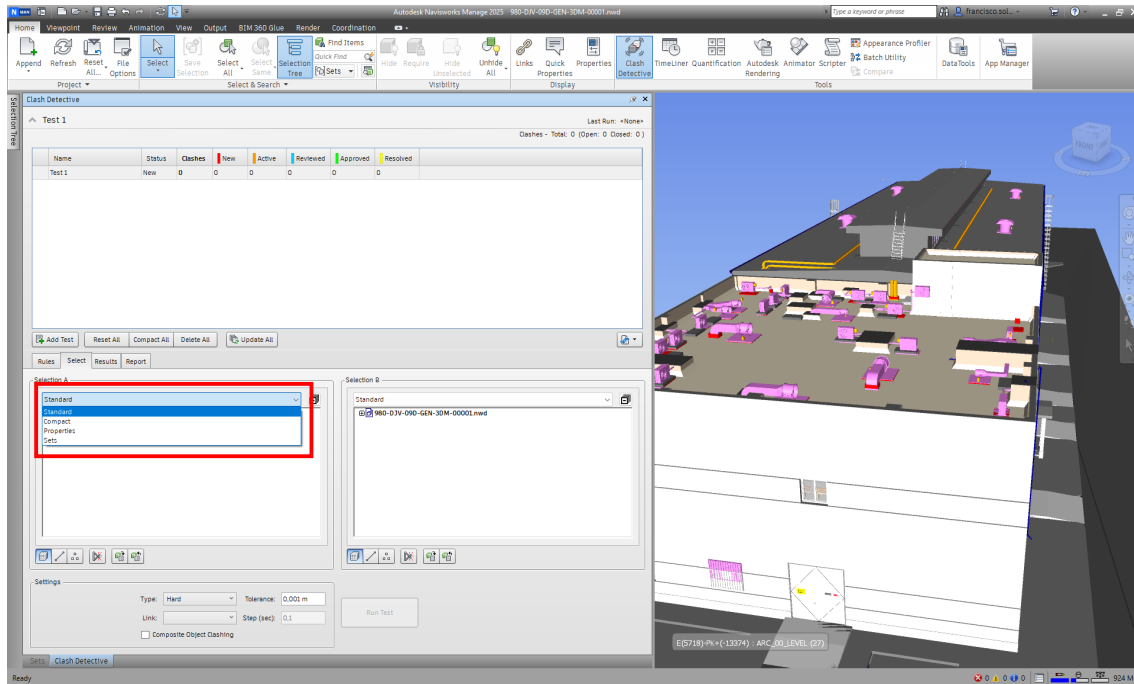


Ilustración 71. Tipos de selección en listado de colisiones. Fuente: elaboración propia

Normalmente, es utilizado la opción “Sets” debido a que, para su creación, se pueden realizar a partir de búsquedas. Es posible, por ejemplo, buscar el nombre de una disciplina mediante “Find ítems”, por ejemplo “401-DJV”, y buscará en el *árbol de selección* el modelo que tenga ese nombre, así no hace falta seleccionarlo manualmente ya que la propia búsqueda lo encontrará.

Cuando son creados los listados, es posible darle a correr las pruebas (*lista de colisiones*) para que se produzca los resultados de colisiones de los elementos seleccionados.

6.5.2.1 Ventajas

Versatilidad:

Una de las ventajas detectadas es la capacidad de crear un listado de colisiones a partir de una gran variedad de elementos. Aunque normalmente son creados a partir de los modelos que presenta el *modelo federado* mediante la búsqueda por nombre, existe la capacidad de crear *listas de colisiones* a partir de cualquier cosa.

Un ejemplo claro de ello es la creación de grupos (“sets”) mediante la herramienta “Find Items” la cual permite seleccionar entre todos los modelos cualquier elemento por búsqueda, como por ejemplo en este caso bandeja de cables (“cable trays”) y posteriormente ser guardado como un set mediante “Save Search”:

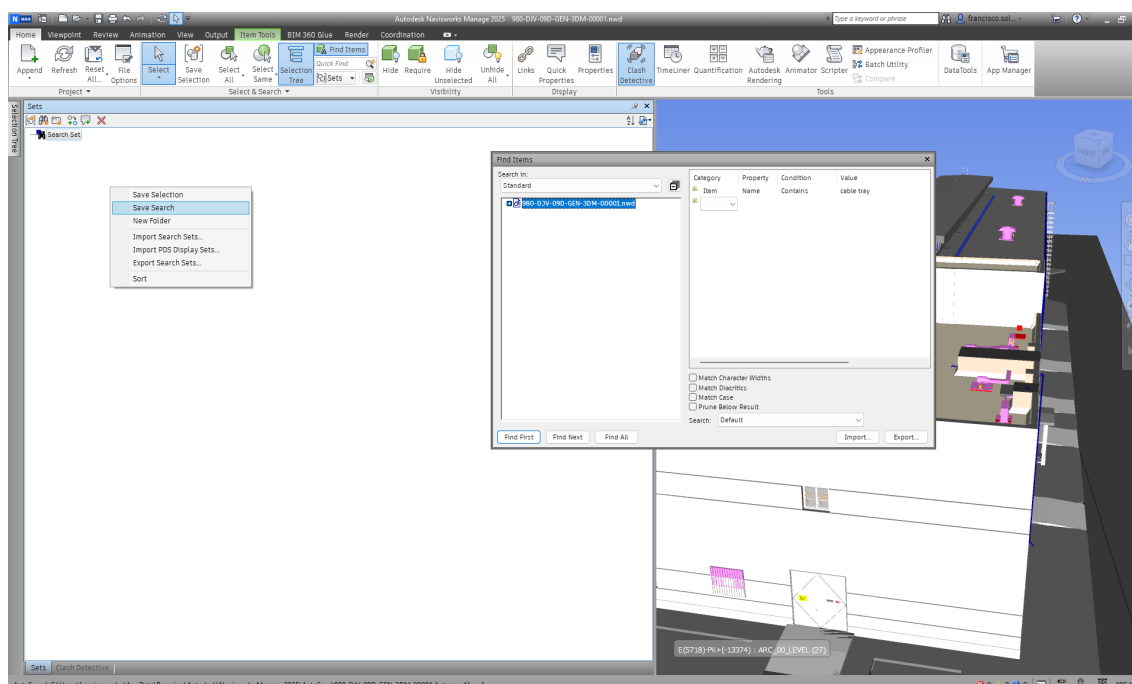


Ilustración 72. Herramienta de búsqueda para bandeja de cables. Fuente: elaboración propia

Además, si se quiere, se puede hacer otro para, por ejemplo, las vigas estructurales de la edificación, y hacerlos colisionar:

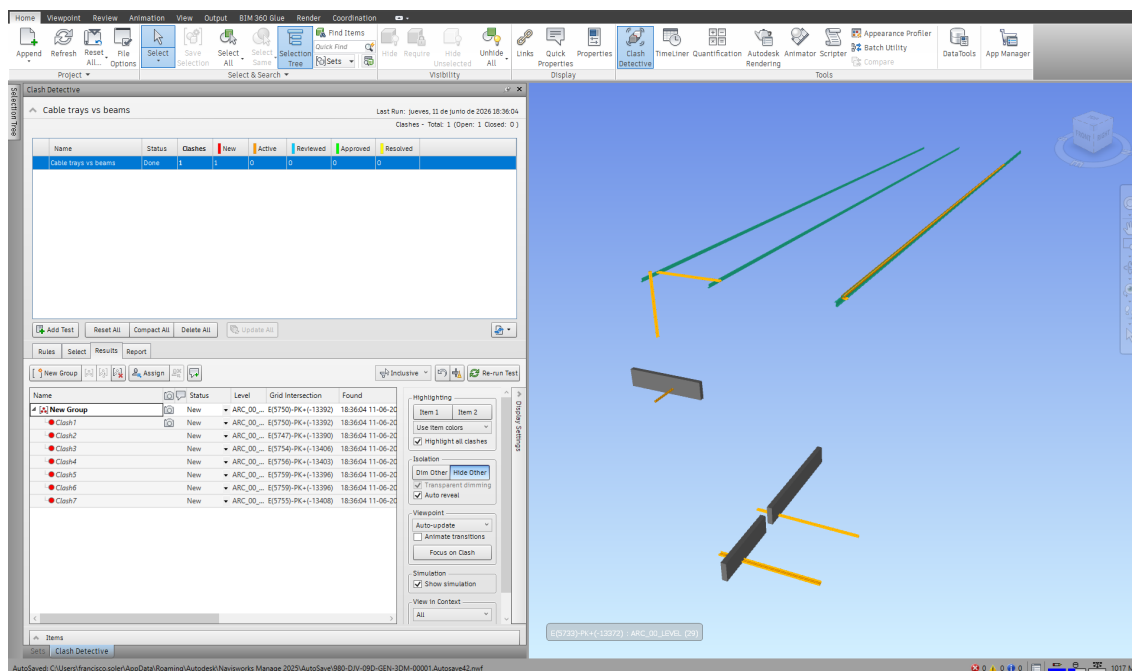


Ilustración 73. Colisión de bandeja de cables y vigas. Fuente: elaboración propia

Lo que le concede una gran versatilidad para analizar diferentes aspectos de una misma infraestructura.

Escalabilidad y automatización:

Una de las ventajas de poder crear sets y *listas de colisiones* en *Navisworks*, es la posibilidad de poder ser exportado en un fichero .xml y ser importado en otros modelos. Además, si los sets son creados mediante la búsqueda de nombre, en el archivo importado, los sets reconocen inmediatamente los elementos que contiene ese nombre, lo que automatiza completamente la creación de sets en otros modelos.

Control de la información:

Finalmente, otras de las ventajas que proporciona *Navisworks*, es la posibilidad de dotar de colores a cada uno de los sets creados, lo que facilita enormemente la tarea de clasificar y entender visualmente cada uno de los elementos en su contexto.

No es lo mismo entender el contexto que origina una colisión en esta situación, por ejemplo, en la Ilustración 74:

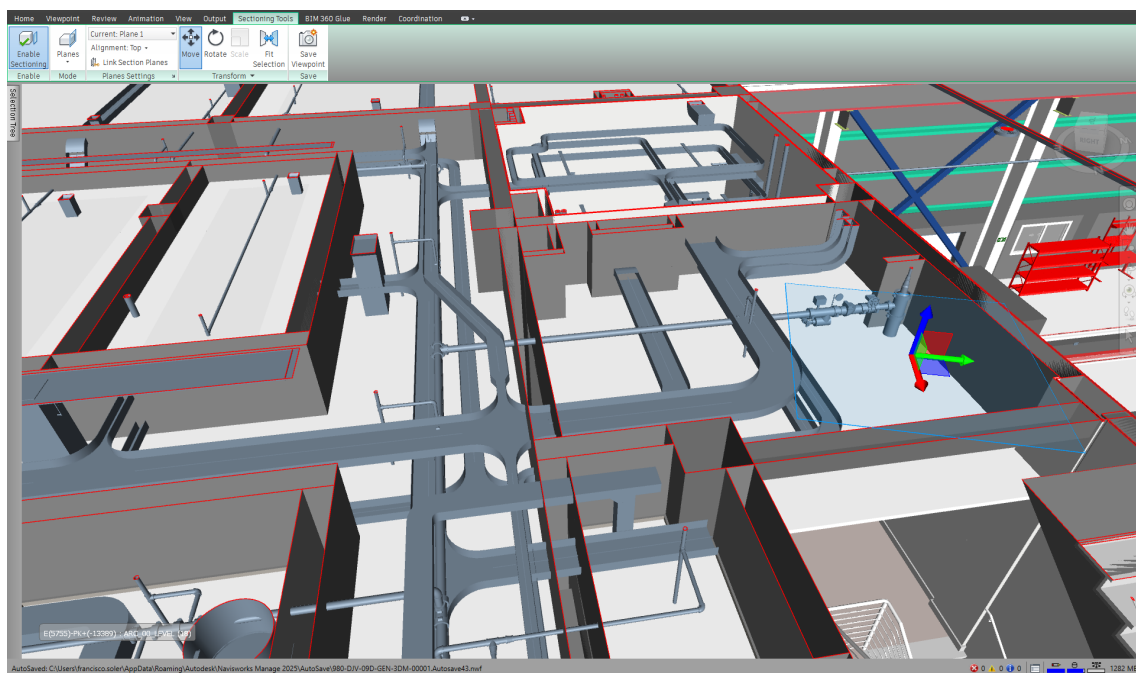


Ilustración 74. Instalaciones sin ningún esquema de color. Fuente: elaboración propia

Que, en la situación de la Ilustración 75, donde cada una de las disciplinas de las instalaciones es coloreada de un color para poder identificar claramente aquellos elementos que colisionan, para que no sea necesario ir a comprobar a que disciplina corresponde cada uno de los elementos que están colisionando:

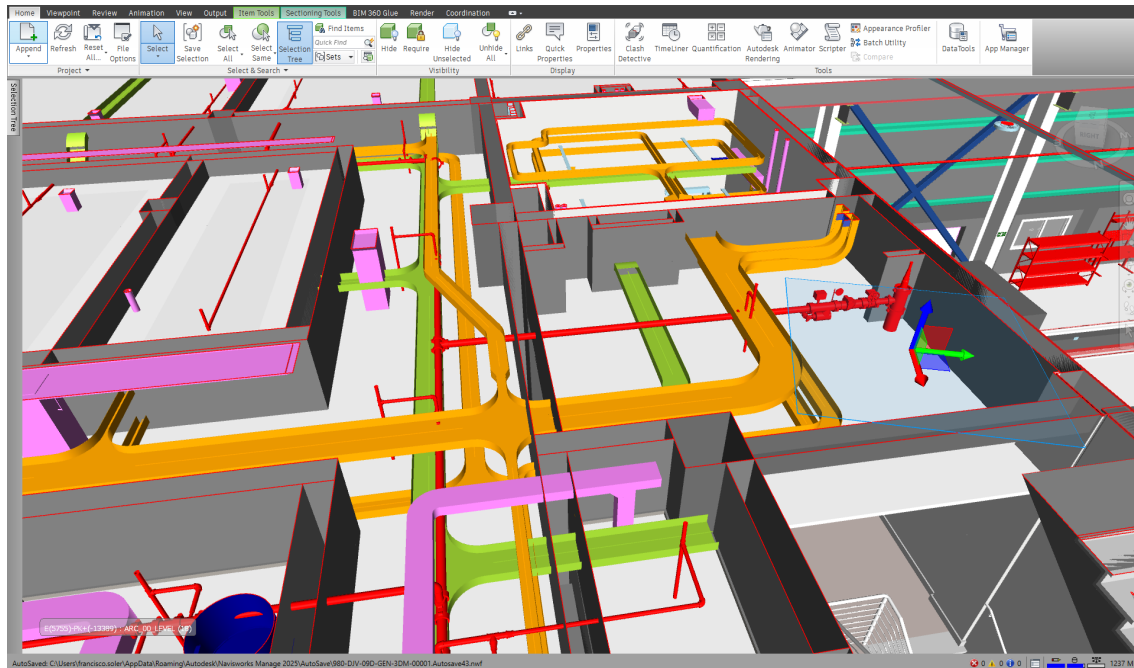


Ilustración 75. Instalaciones con esquema de colores. Fuente: elaboración propia

Esto, además, permite inmediatamente observar colisiones dentro de un mismo modelo, que normalmente no son razón de colisión, ya que son elementos que han de estar uno en contacto con otro, y sin un esquema de colores definido esas apreciaciones no son posibles de detectar tan fácilmente.

Trazabilidad de las colisiones:

Mediante la creación de las colisiones en *Navisworks*, cuando son actualizadas las *listas de colisiones* en posteriores revisiones, es posible saber que *colisiones* son nuevas (“New”), activas (“Active”) o han sido solucionadas (“Resolved”), ya que, las colisiones que antes eran nuevas pasan a ser catalogadas como activas, las que eran activas permanecen en activas y las que se han solucionado pasan a resueltas y las nuevas se catalogan como nuevas. Esto permite un control del estado de cada uno de ellos en cada una de sus fases de vida, un ejemplo de ello es el listado de colisiones mostrado en la Ilustración 76.

Name	Status	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	
O-EQU-REST	Done	1	0	1	0	0	0	
O-EQU-STR	Done	4	0	4	0	0	0	
O-MEP-MEP	Done	22	2	4	0	0	16	
O-MEP-STR	Done	53	2	47	0	0	4	
O-TEL-MEP	Done	34	13	0	0	0	21	
O-TEL-STR	Done	4	0	0	0	0	4	
O-TRACK-REST	Done	0	0	0	0	0	0	
O-TRACK-STR	Done	100	0	100	0	0	0	

Ilustración 76. Trazabilidad de las colisiones. Fuente: elaboración propia

6.5.2.2 Desventajas

Representación de las colisiones:

Uno de los problemas que se han detectado, es un deficiente método para representar visualmente elementos rellenos (sólidos), ya que son representados únicamente mediante su superficie exterior, dejando su interior completamente vacío.

Esto, para la comprobación de *colisiones* entre instalaciones no supone un problema grave, ya que son normalmente elementos que no presentan casi espesor, como las bandejas de cables o conducciones, pero cuando se observan elementos de la estructura, sí que es notorio esta deficiencia, ya que, si hay elementos huecos, no es posible observar si es así ya que tienen la misma representación que un elemento relleno.

A continuación, se puede observar un claro ejemplo de esta situación donde varios elementos de la estructura y arquetas chocan entre sí:

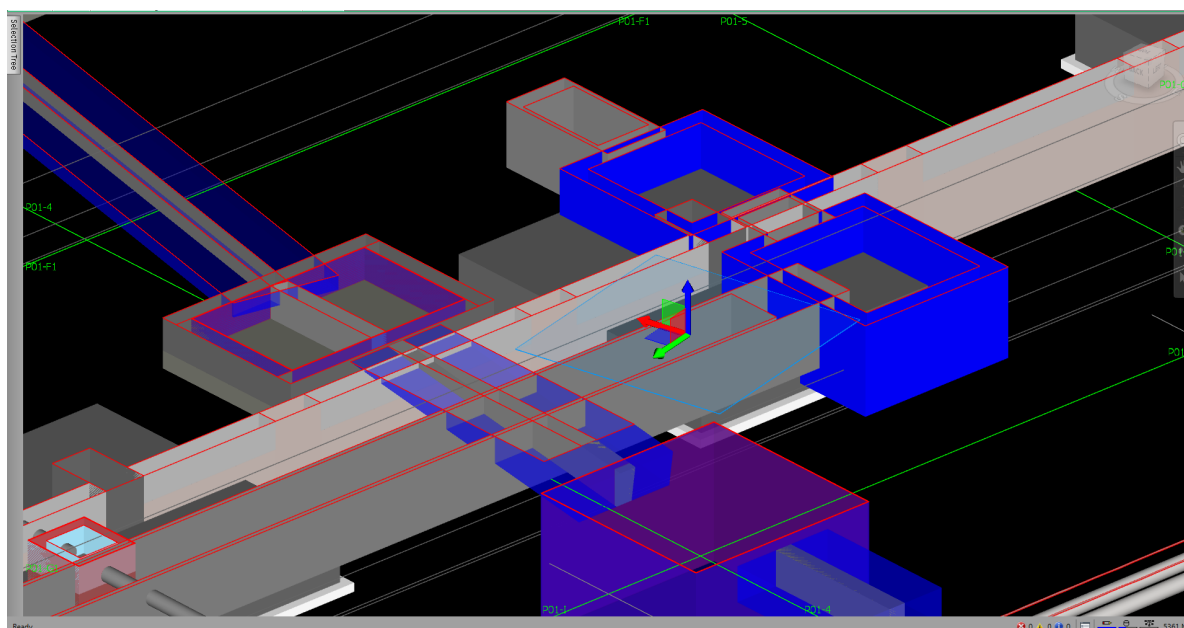


Ilustración 77. Colisión entre estructura y arquetas. Fuente: elaboración propia

Esto puede ocasionar confusiones, que, si no son resueltas adecuadamente, puede ser trasladadas a obras ocasionando los problemas consecuentes de su no resolución.

Adicionalmente, la asignación de colores, en este caso el color que viene por defecto en los modelos, especialmente en las arquetas mediante el color azul, permite una mejora en el entendimiento, pero aun así no soluciona el problema de fonde de la representación de los sólidos de los elementos.

6.5.2.3 *Análisis multicriterio*

Con las ventajas y desventajas expuestas anteriormente, se procederá a la evaluación de cada uno de los criterios del análisis multicriterio:

- **Tiempo de ejecución (T): 4**
 - o **Justificación:** una vez es creado los sets y la lista de colisiones para poder importarlos, el tiempo para la creación de colisiones se reduce drásticamente, debido a que para abrir el modelo en NWD requiere apenas unos segundos y la creación de las *colisiones* aproximadamente lo mismo.
- **Nivel de automatización (A): 3**
 - o **Justificación:** debido a que los sets y la lista de colisiones es necesario crearlas manualmente e importarlos, pero únicamente es necesario importarlos la primera vez y cada vez que los modelos son abiertos solo es necesario ejecutar la opción de actualizar las colisiones.
- **Trazabilidad de la información (Ti): 5**
 - o **Justificación:** debido a que es posible saber la condición de cada una de la colisión en todo su proceso, desde que es creado (“New”), hasta que está en proceso o lleva tiempo creado (“Active”) y es resuelto (“Resolved”).

- **Calidad de la información (Ci): 4**
 - **Justificación:** debido a que únicamente se muestra las *colisiones* exactas que se presentan en el modelo, fácilmente accesible desde la tabla de lista de colisiones, aunque a la hora de mostrar las *colisiones* gráficamente pueda causar confusiones.
- **Escalabilidad (E): 5**
 - **Justificación:** debido a que es aplicable a tantos modelos como sea necesario, no hay limitación en la cantidad de archivos. Además, con la importación de sets y *listados de colisiones*, que tampoco tienen limitación, su escalabilidad aumenta considerablemente.

Cálculo de la puntuación ponderada:

A continuación, se procederá con el cálculo de la puntuación mediante la obtención de los criterios y los pesos obtenidos previamente:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i = 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 3,65$$

Como se puede observar, presenta como una solución adecuada. Esto es debido a que presenta una gran variedad de ventajas, desde su reducido tiempo de ejecución de apenas segundos o minutos, siempre que es configurado previamente, su escalabilidad con su capacidad para adaptarse a proyectos de gran envergadura y la versatilidad en el análisis de *colisiones* pudiendo seleccionar una gran cantidad de elementos para su ejecución.

6.5.3 Método 2.2

El método 2.2 para la creación de colisiones corresponde a la metodología mediante la aplicación de la herramienta “*Model Coordination*”, más en concreto mediante la opción “*Conflictos*” dentro de *Autodesk Construction Cloud (ACC)* mediante el uso en la nube, permitiendo una gestión integral de las colisiones dentro de una misma plataforma de trabajo.

Esto se puede observar en la Ilustración 78 marcada en el diagrama de flujos de trabajo general:

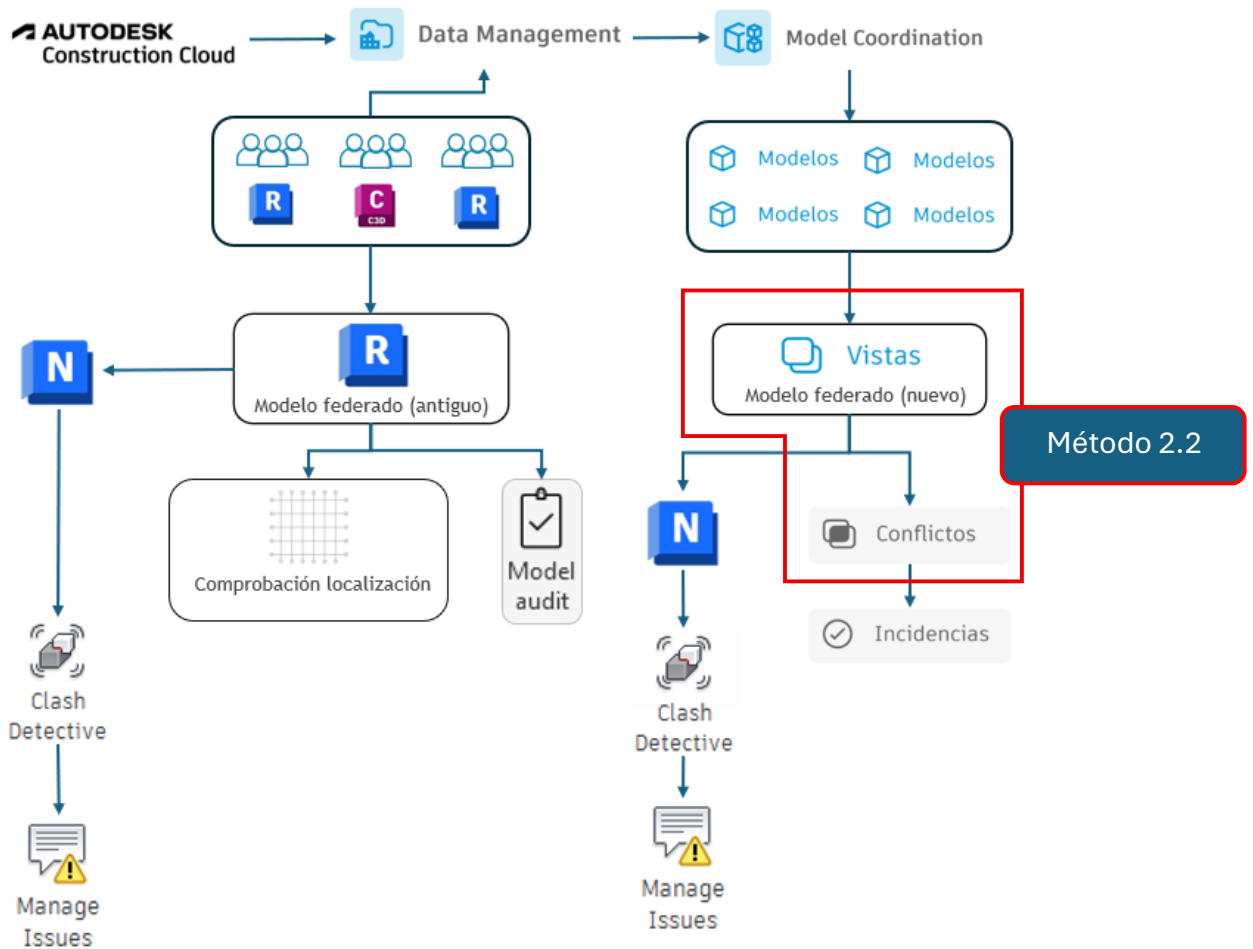


Ilustración 78. Método 2.2 de creación de colisiones dentro del diagrama de flujos de trabajos en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

Como ya ha sido explicado en apartados anteriores, en la *federación de modelos* en *Model coordination*, para la creación de colisiones, es necesario establecer un *espacio de coordinación* dentro de *Model Coordination*, en el cual han de estar los modelos de las disciplinas o, en su caso, un *modelo federado* en *Revit* para que *Model Coordination* pueda extraer las vistas de los modelos que serán usados para la creación de las interferencias.

A continuación, en la Ilustración 79, será mostrado el segundo caso de los mencionados, donde se ha federado un modelo en *Revit* mediante la metodología tradicional, el cual se ha almacenado en la carpeta SHARED y ha sido configurado el *espacio de coordinación* para que solo extraiga las vistas de la disciplina de la carpeta en la que ha sido dispuesto únicamente ese *modelo federado*:

AUTODESK Form

Model Coordination - AlexandriaMetro

Modelos

Abrir en el visor

Buscar modelos

Modelos	Versión	Ruta de carpeta	Colaborador	Última actualización	@
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 401	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	241
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 407	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	479
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 410	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	607
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 550	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	330
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 555	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	160
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 560	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	130
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 578	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	394
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 600	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	170
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 654	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	63
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 710	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	73
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 750	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	121
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 800	VS2	..EL_COO_SPACE/DEPOT_090_BUILDING	Francisco Soler Bejarano SENER Spain	ayer a las 19:13	19

Se muestran 12 de 12 modelos

Ilustración 79. Vistas extraídas del modelo federado en Model Coordination. Fuente: elaboración propia

Con las vistas extraídas en el espacio de coordinación, es posible acceder a la opción “Conflictos” en *Model Coordination*, donde se presenta una matriz de colisiones para cada uno de los modelos de las disciplinas respecto a los demás:

AUTODESK Form

Model Coordination - AlexandriaMetro

Interferencias

Rejilla de interferencias Comprobaciones de interferencias Cerrado

Buscar modelos Seleccionar una vista Todos los modelos de 12

¿Qué tiene interferencias? Configuración

	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 401	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 407	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 410	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 550	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 555	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 560	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 578	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 600	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 654	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 710	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 750	980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 800
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 401 241 grupos de interferencias		84	169	15	5	7	24	5	18		4	3
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 407 479 grupos de interferencias	328		430	3	1	8	3	4	8			1
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 410 607 grupos de interferencias	231	91		187	80	75	194	82	26	53	8	6
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 550 330 grupos de interferencias	27	5	235		4	4	7	43	30	11		
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 555 160 grupos de interferencias	9	1	127	5			2	15		24		3
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 560 130 grupos de interferencias	3	8	111	3			1	8	5			
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 578 394 grupos de interferencias	41	4	328	11	2	2		1	62	5		
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 600 170 grupos de interferencias	9	6	127	24	10	7	1		2	10		
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 654 63 grupos de interferencias	29	4	28	14		3	21	2		3		
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 710 73 grupos de interferencias			48	6	19		5	10	8			
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 750 121 grupos de interferencias	118		9									
980-DV-090-GEN-3DM-00001.rvt - 800 19 grupos de interferencias	8	1	18		2							

Ilustración 80. Matriz de colisiones mediante Model Coordination. Fuente: elaboración propia

Si es seleccionada cualquiera de las casillas de la matriz de colisiones, con *colisiones*, es automáticamente dirigido a las *colisiones* creadas entre los dos modelos seleccionados:

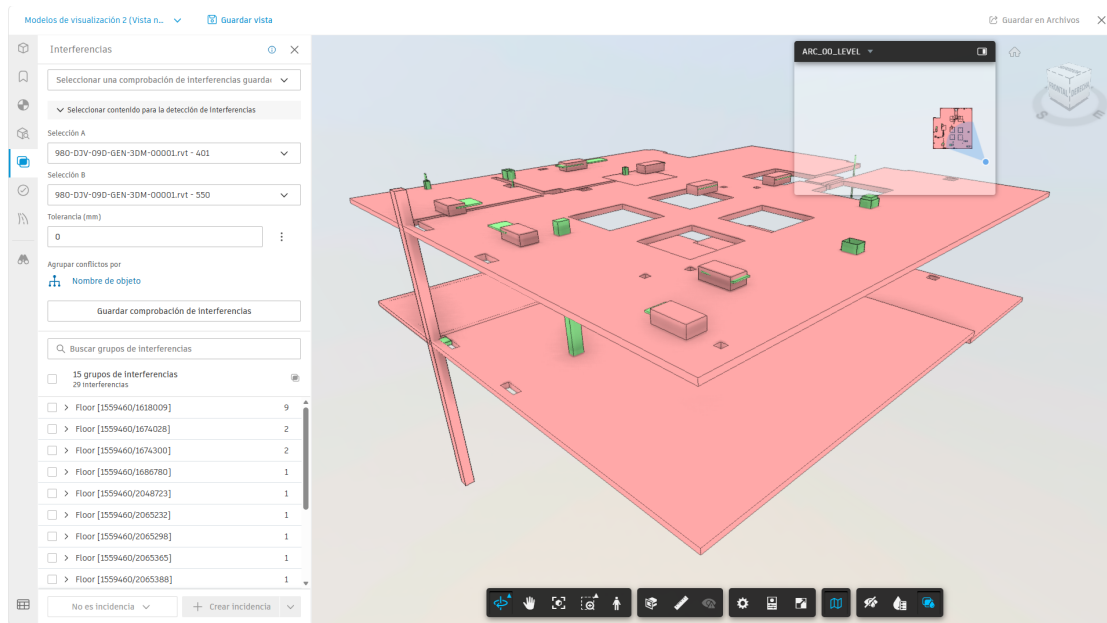


Ilustración 81. Colisiones creadas a partir de la matriz de colisiones. Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, es posible crear las *colisiones* mediante la creación de una vista, seleccionando todos los modelos en el apartado de modelos y abriéndolos en el visor como se muestra en la Ilustración 82:

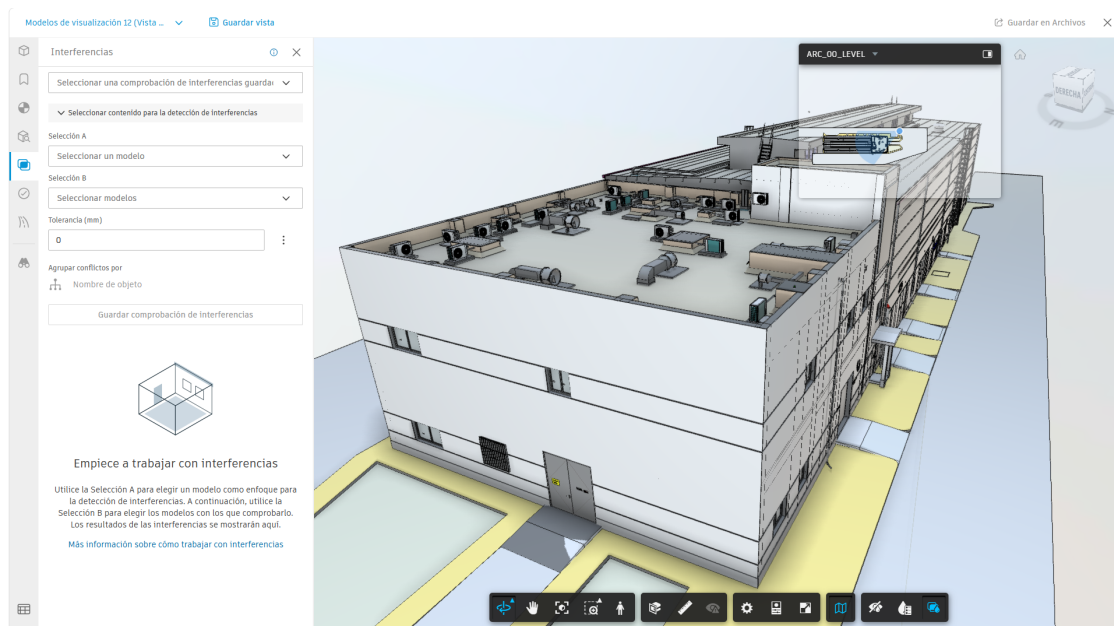


Ilustración 82. Creación de colisiones mediante las vistas. Fuente: elaboración propia

De esta manera al desplegar “Selección A” y “Selección B” es posible seleccionar cualquier modelo de disciplina e ir cambiado, cosa que de la anterior manera no era posible ya que se selecciona dos modelos concretos en la matriz.

6.5.3.1 Ventajas

Automatización:

Una de las principales ventajas es la creación automática de la matriz de colisiones una vez son extraídas las vistas de los modelos configurando el *espacio de coordinación*, simplificando la tarea de realizarlo de manera manual en el caso de que únicamente se busque comprobar la colisión entre modelos de disciplina.

Adicionalmente, se puede observar que la matriz no es simétrica. Esto es debido a que, para la creación de la matriz, no representa cantidad de colisiones, si no cantidad de grupos de colisiones que la herramienta haya detectado. Un ejemplo de ello es la colisión de una losa mediante diferentes elementos de instalaciones. El choque entre la losa y los elementos solo produce un grupo, ya que es solo una losa colisionando con todo lo demás (aquí lo importante es la losa), mientras que el choque de los elementos de las instalaciones producirá tantos grupos como elementos haya chocado con la losa (lo importante es cada elemento de las instalaciones), proporcionando de manera automática diferentes perspectivas de los choques producidos:

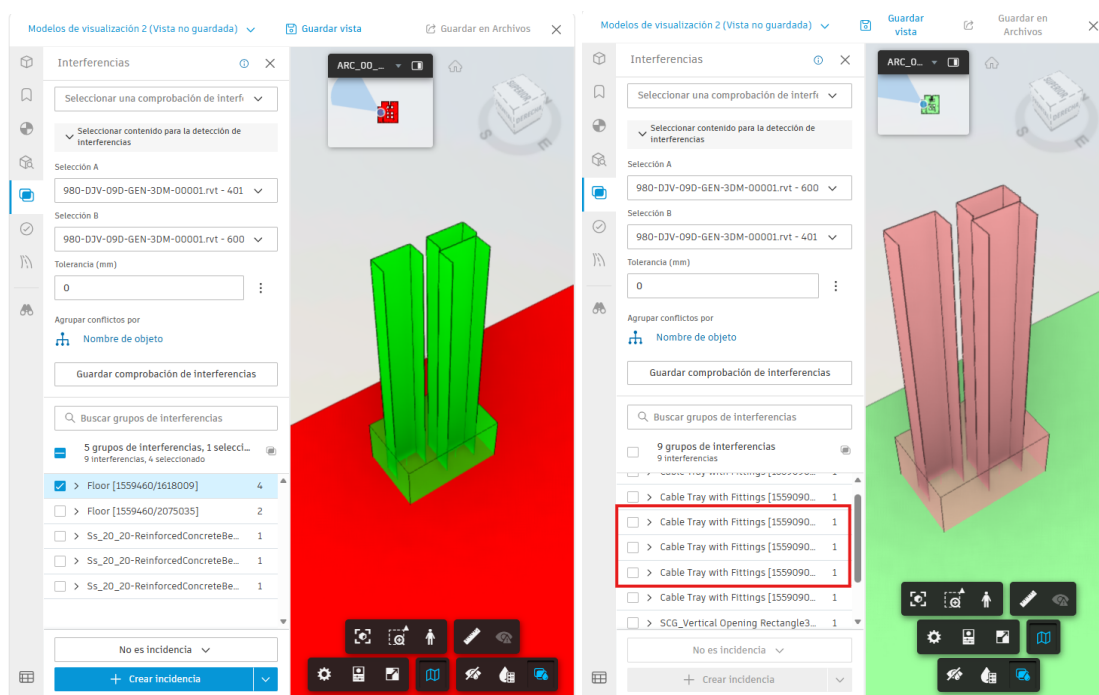


Ilustración 83. Diferencias entre grupos de colisiones en matriz de colisiones. Fuente: elaboración propia

Representación de las colisiones:

Se puede observar, que los gráficos mostrados por el visor de *Autodesk Construction Cloud*, en general, son más amigables para la inspección visual de los elementos, ya que rellena los elementos sólidos. Esto es perfectamente visible en el caso mostrado en la Ilustración 77 pero esta vez mostrado mediante el visor de ACC:

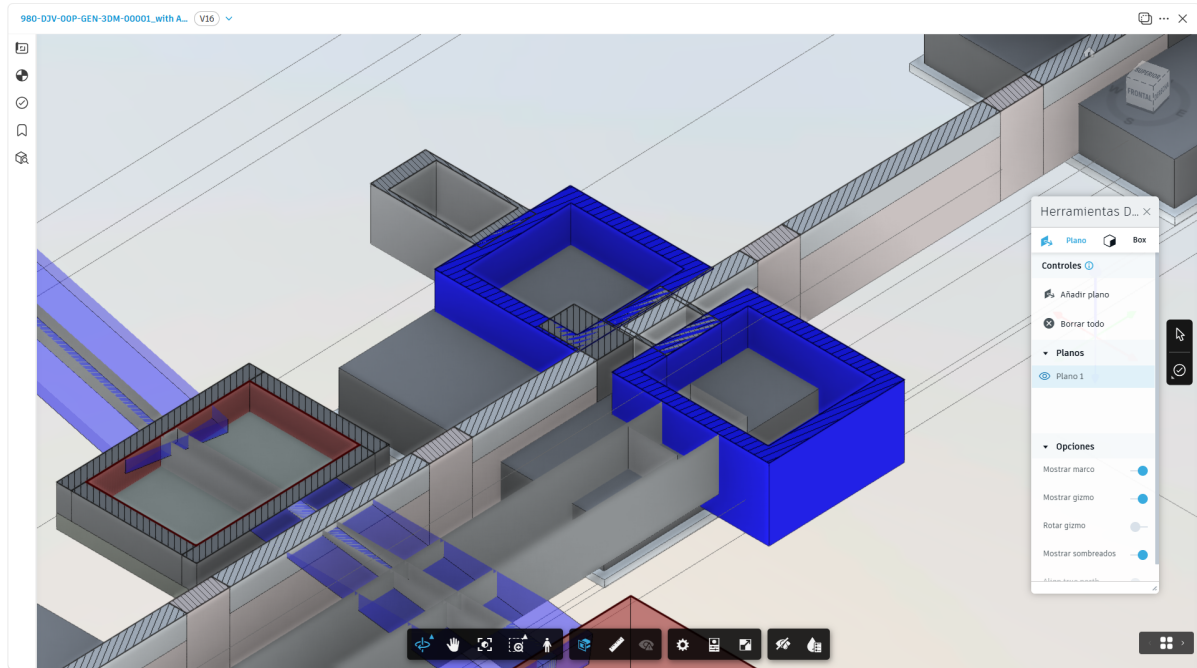


Ilustración 84. Colisiones mostradas mediante visor de ACC. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, se pueden distinguir más claramente los objetos rellenos como las vigas y las arquetas en contraposición de aquellos elementos vacíos como los elementos entre arquetas, que son utilizados para indicar, que, en la posición marcada, es necesario la creación de un hueco para el paso de conducciones.

6.5.3.2 Desventajas

Calidad de la información:

Como se mencionó previamente, la creación de la matriz de interferencias no muestra el número de *colisiones*, si no el número de grupo de colisiones, lo que proporciona una magnitud o aproximación a la baja de la cantidad de colisiones, pero no su cantidad exacta.

Este problema ocasiona, que, para saberlo, es necesario entrar a cada una de las casillas de la matriz de colisiones. Para mostrar un ejemplo de ello, en esta casilla es indicado una cantidad de 15:

Model Coordination - AlexandriaMetro

Interferencias

Rejilla de interferencias Comprobaciones de interferencias Cerrado

Buscar modelos Seleccionar una vista Todos los modelos de 12

	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 401	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 407	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 410	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 550	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 555	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 560	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 578	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 600	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 654	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 710	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 750	980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 800
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 401 241 grupos de interferencias		84	169	15	5	7	24	5	18		4	3
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 407 479 grupos de interferencias	328		430	3	1	8	3	4	8			1
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 410 607 grupos de interferencias	231	91		187	80	75	194	82	26	53	8	6
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 550 330 grupos de interferencias	27	5	255		4	4	7	43	30	11		
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 555 160 grupos de interferencias	9	1	127	5			2	15		24		3
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 560 130 grupos de interferencias	3	8	111	3			1	8	5			
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 578 394 grupos de interferencias	41	4	328	11	2	2		1	62	5		
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 600 170 grupos de interferencias	9	6	127	24	10	7	1		2	10		
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 654 63 grupos de interferencias	29	4	28	14		3	21	2		3		
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 710 73 grupos de interferencias			48	6	19		5	10	8			
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 750 121 grupos de interferencias	118		9									
980-DV-09D-GEN-3DM-00001.rvt - 800 19 grupos de interferencias	8	1	18		2							

Ilustración 85. Indicación de grupo de colisiones en la matriz de colisiones. Fuente: elaboración propia

Si es presionada la casilla indicada en rojo, al abrirse el visor, se puede observar que la cantidad de colisiones no son 15 colisiones, si no 29 colisiones. Ya que 15 son los grupos que automáticamente ha creado la herramienta para clasificar todas las colisiones creadas:

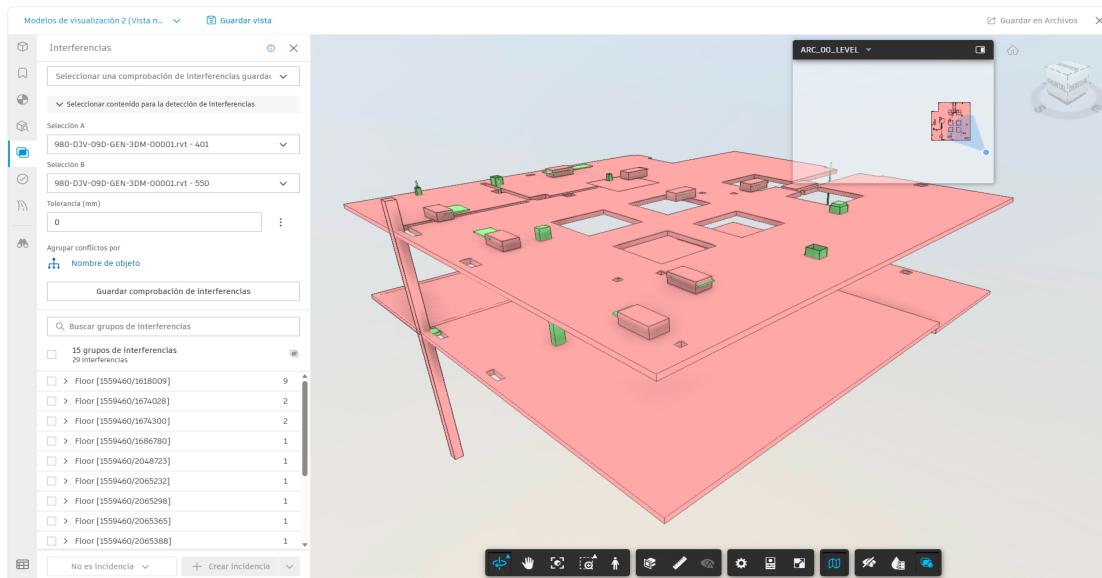


Ilustración 86. Diferencia entre grupo de colisiones y colisiones. Fuente: elaboración propia

Esto produce que se pueda subestimar la cantidad de colisiones observando la matriz de colisiones, pudiendo confundir la gravedad de estos ya que se puede pensar que su cantidad es menor. Además, teniendo que entrar en cada una de las casillas para saber su número real, se pierde parte del componente de automatización que presentaba la creación de la matriz de colisiones.

Adicionalmente, no es posible colisionar varios modelos con varios modelos, cosa que se suele hacer normalmente en las edificaciones donde se colisionan todos los modelos de las instalaciones entre ellos. En este caso, en “Selección A” solo es posible seleccionar un modelo, mientras que en “Selección B” se permite la selección de varios, lo que imposibilita lo descrito, siendo necesario recurrir a su intersección individualmente:

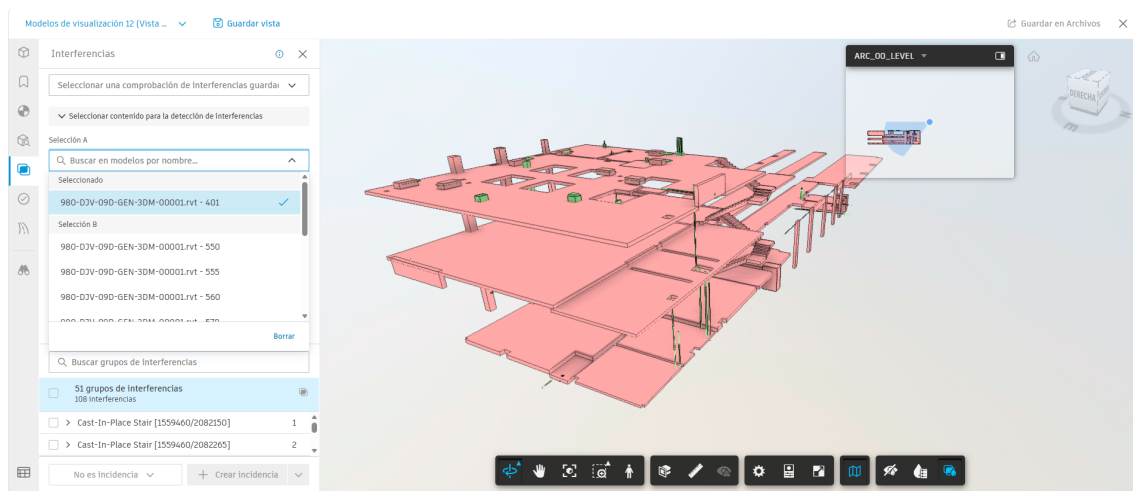


Ilustración 87. Selección única para modelos en "Selección A" de Model Coordination. Fuente: elaboración propia

Escalabilidad:

Debido a que las colisiones se evalúan en un *espacio de coordinación*, la cantidad de ellos se limita únicamente a 20 espacios, lo que, solamente se puede comprobar 20 edificaciones o infraestructuras simultáneamente. Teniendo en cuenta que el proyecto presenta más de 50, resulta una limitación clara, especialmente para proyectos de gran envergadura.

Esto es debido a que en cada *espacio de coordinación* solo es posible evaluar un edificio simultáneamente, ya que si se supera la cantidad de modelos en el espacio no es posible crear colisiones, ya que se supera una cantidad máxima estipulada, y por ende tampoco la matriz de colisiones como se puede observar a continuación en la Ilustración 88:

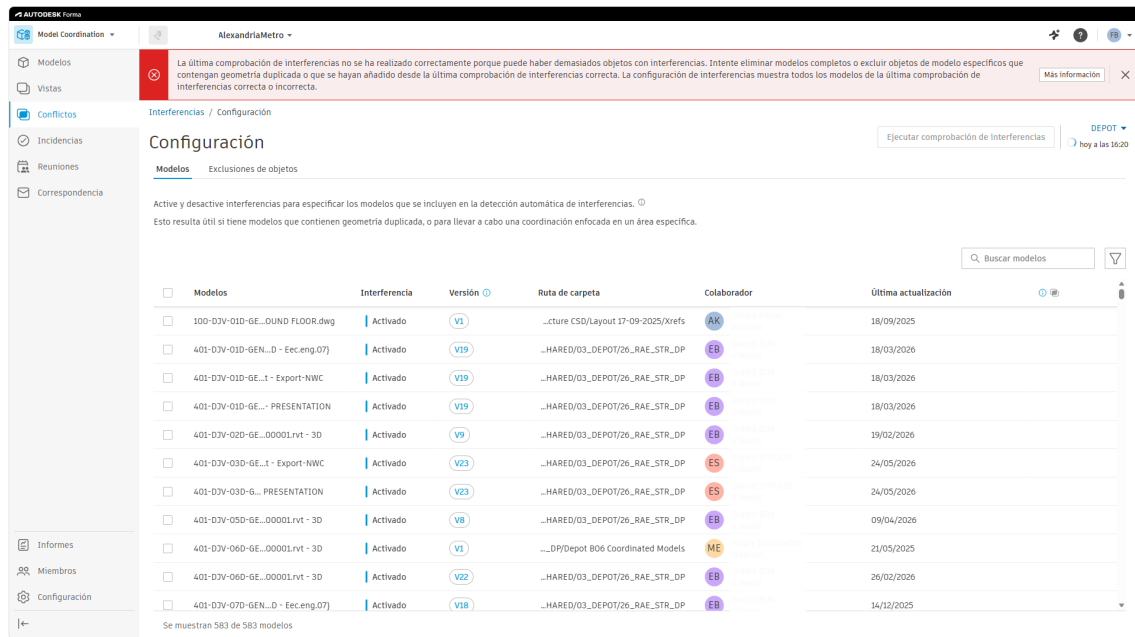


Ilustración 88. Error de cantidad máxima de vistas para la creación de colisiones. Fuente: elaboración propia

Además, si se intentase escoger una carpeta general con todas los modelos de disciplinas, y crear vistas de *modelos federados*, como en la sección 6.4.3 de creación de *modelos federados* mediante *Model Coordination*, cuando es abierto cualquiera de las vistas, y presionamos la opción de “Interferencias”, se muestra que se ha producido un error a la hora de crear las colisiones, como es posible observar a continuación:

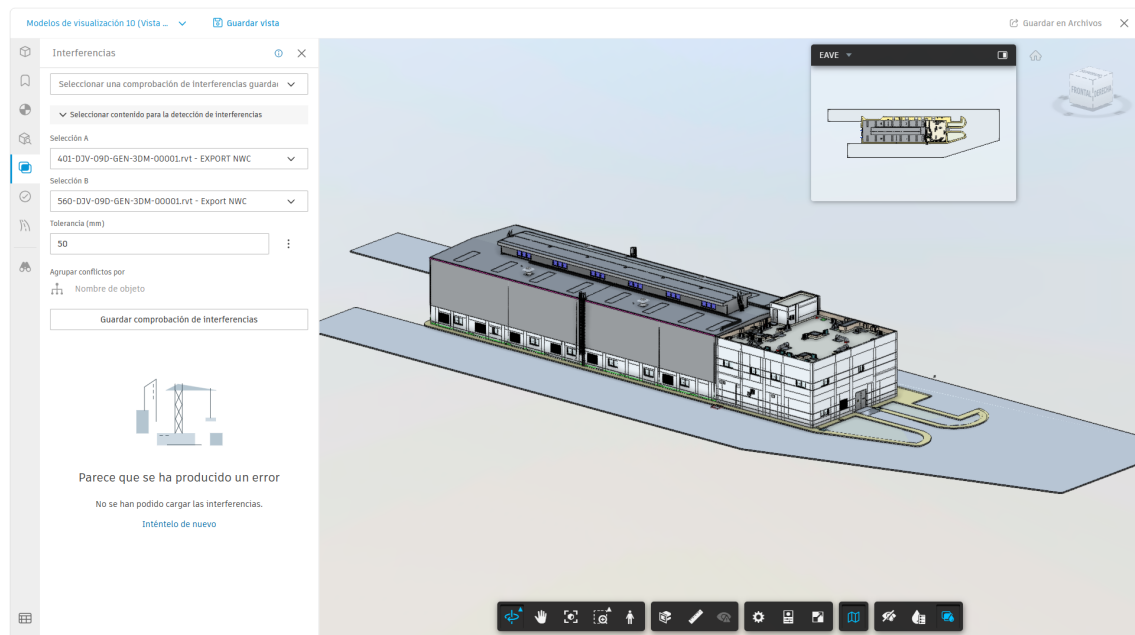


Ilustración 89. Error al crear colisiones con exceso de vistas en espacio de coordinación. Fuente: elaboración propia

Versatilidad:

Cuando es creada una matriz de colisiones mediante los modelos de las disciplinas, no es posible crear colisiones mediante otra selección de elementos de los modelos, cediéndose únicamente a los acabados de mencionar. Además, si se realiza mediante las vistas, solo es posible crear las colisiones a través de los modelos, no se pueden seleccionar otros elementos de los modelos que no sean los modelos en sí, aunque permite, una vez creada las colisiones, filtrar las colisiones creadas por diferentes tipos de atributos.

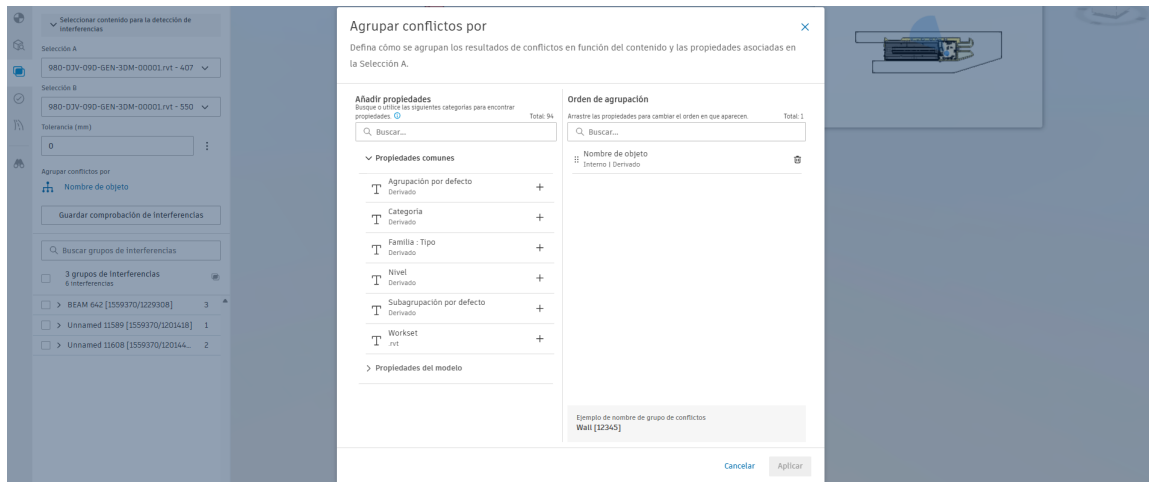


Ilustración 90. Agrupación de colisiones por atributo. Fuente: elaboración propia

Aunque normalmente esta configuración es suficiente, si se quiere realizar estudios más especializados de colisiones, como por ejemplo evaluar todas las bandejas de cables con solo las vigas de la estructura, la opción de “Interferencias” no lo permite de manera directa, siendo necesario recurrir a *Navisworks* para su realización o ir a los modelos una vez creadas las colisiones e ir filtrando por búsqueda de atributo las bandejas de cables y vigas.

6.5.3.3 Análisis multicriterio

Con las ventajas y desventajas expuestas anteriormente, se procederá a la evaluación de cada uno de los criterios del análisis multicriterio:

- **Tiempo de ejecución (T): 5**
 - o **Justificación:** debido a que una vez se configura el *espacio de coordinación*, la creación de la matriz de colisiones y por ende las colisiones asociadas a la matriz es automático no siendo necesario tiempo para ello.

- **Nivel de automatización (A): 4**

- o **Justificación:** debido a que la creación de la matriz es automática, aunque en el caso que se quiera analizar colisiones más específicas, es necesario realizarlo de manera manual, siendo esas búsquedas posibles de ser guardadas para no tener que repetirla:

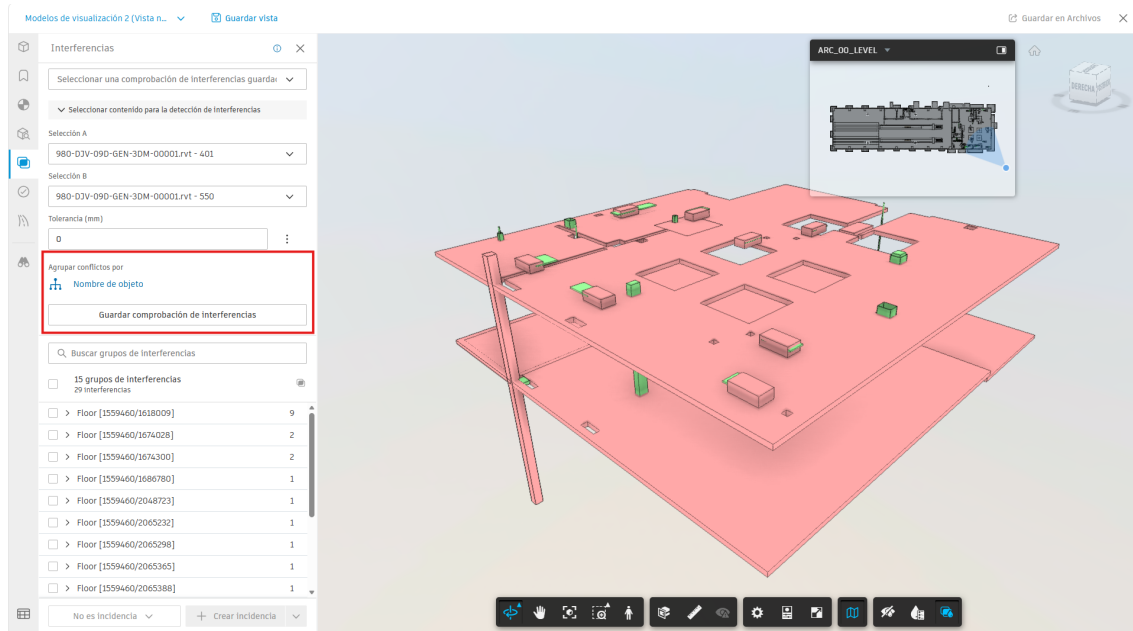


Ilustración 91. Automatización de búsqueda de colisiones. Fuente: elaboración propia

- **Trazabilidad de la información (Ti): 2**

- o **Justificación:** debido a que únicamente es posible clasificar cada una de las colisiones en dos categorías, si es una colisión o no lo es. Aunque en el caso de que no lo sea, es posible indicar entre una variedad de categorías el motivo por el cual no lo es:

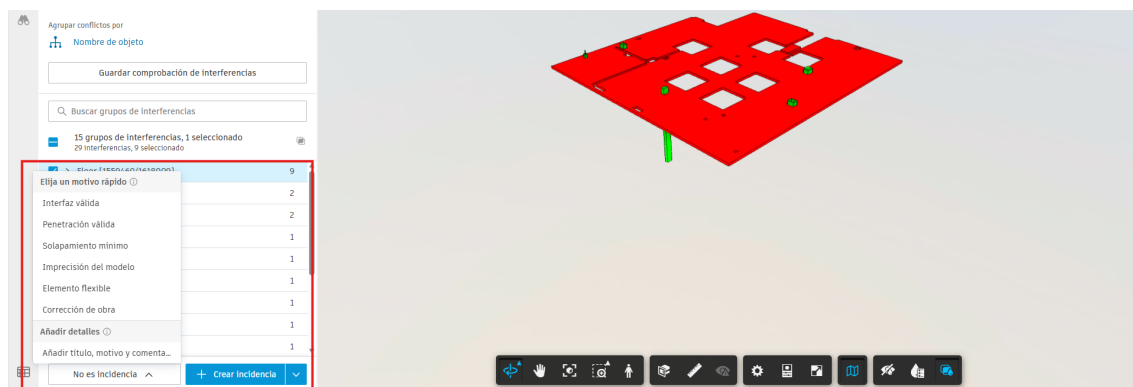


Ilustración 92. Justificación de motivo de no incidencia. Fuente: elaboración propia

- **Calidad de la información (Ci): 3**
 - o **Justificación:** aunque mediante la matriz de colisiones es fácil observar la información de las colisiones, el hecho de que sean mostrado los grupos de colisiones y no el número total de colisiones dificulta evaluar correctamente la información de las colisiones.
- **Escalabilidad (E): 2**
 - o **Justificación:** debido a que únicamente es posible tener 20 *espacios de coordinación*, en el cual en cada uno de ellos solo es posible o aconsejable tener una única edificación, resulta una gran limitante en cuanto a proyectos de gran envergadura.

Cálculo de la puntuación ponderada:

A continuación, se procederá con el cálculo de la puntuación mediante la obtención de los criterios y los pesos obtenidos previamente:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i = 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 = 3,15$$

Como se puede observar, se presenta como una solución adecuada. Esto es debido a su gran ventaja relacionada con la capacidad en poco tiempo y de manera automática de la creación de todas las colisiones entre los modelos mediante la creación de la matriz de colisiones y sin la necesidad de especificar qué elementos han de ser colisionados. Sin embargo, su limitada capacidad para coordinar proyectos de gran envergadura debido a su escasa cantidad de *espacios de coordinación* y una menor versatilidad penaliza drásticamente el resultado obtenido.

6.5.4 Listado de colisiones y análisis

A continuación, serán especificados los modelos de las diferentes disciplinas que serán utilizados para la creación de colisiones dentro del *modelo federado* descrito previamente(09D) para poder evaluar la comparativa entre las dos metodologías descritas, entre ellos serán utilizados aquellos que puedan ocasionar una mayor cantidad de colisiones, así como problemas reales en obra:

- 401: Modelo estructural

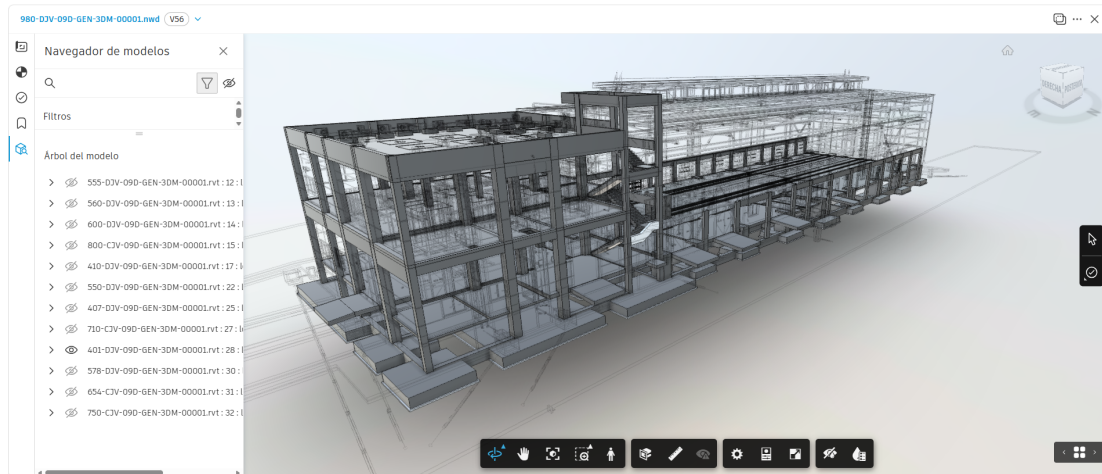


Ilustración 93. Modelo estructural. Fuente: elaboración propia

- 550: Sistema de ventilación

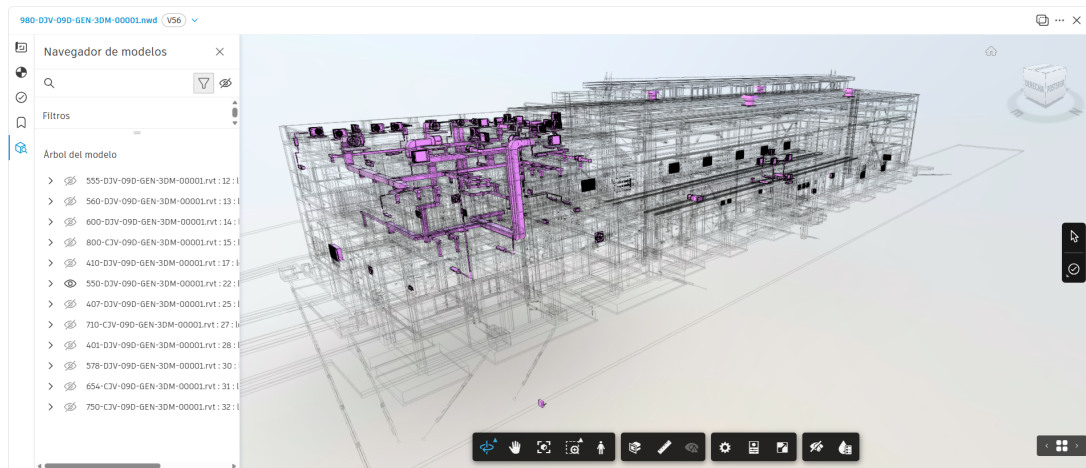


Ilustración 94. Modelo de ventilación. Fuente: elaboración propia

- 600: Sistema de gestión de edificios

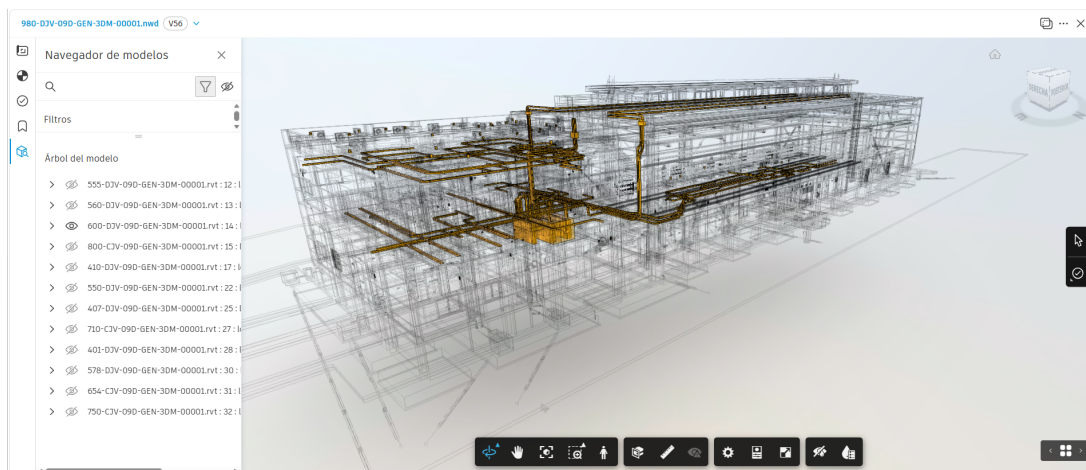


Ilustración 95. Modelo de gestión del edificio. Fuente: elaboración propia

- 560: Sistema eléctrico

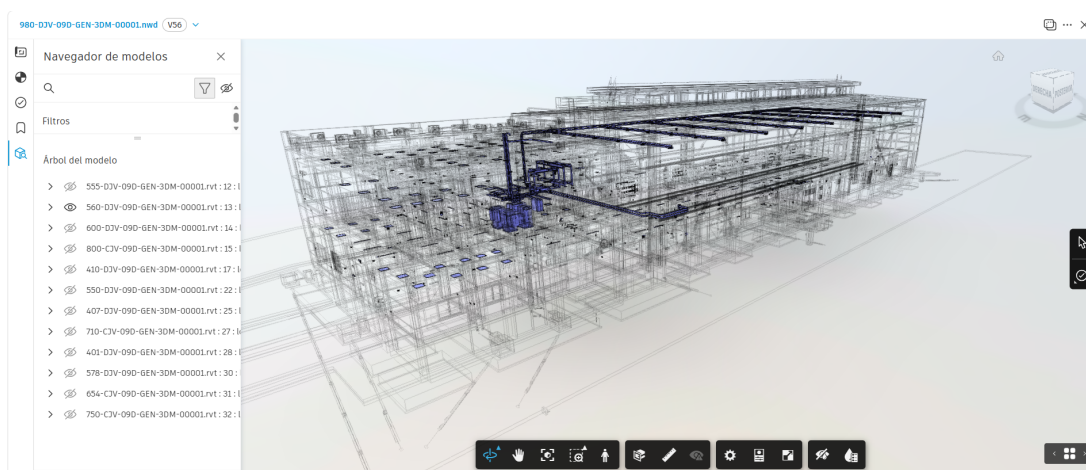


Ilustración 96. Modelo eléctrico. Fuente: elaboración propia

- 555: Sistema contra incendio

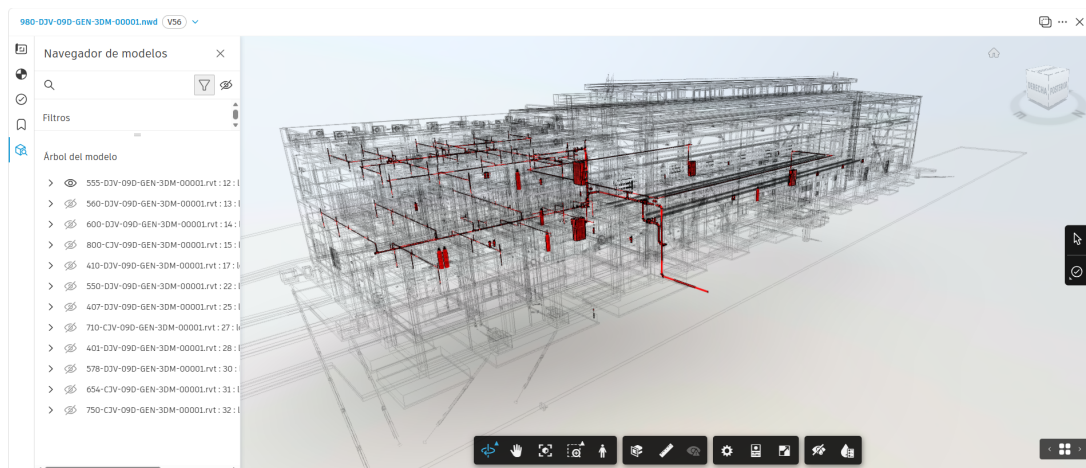


Ilustración 97. Modelo contra incendios. Fuente: elaboración propia

- 578: Sistema de saneamiento

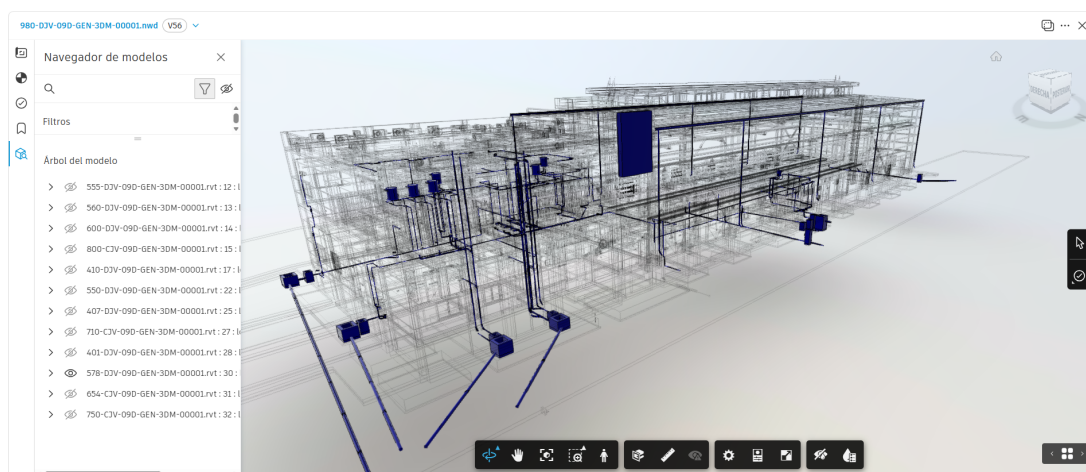


Ilustración 98. Modelo de saneamiento. Fuente: elaboración propia

- 710: Comunicaciones

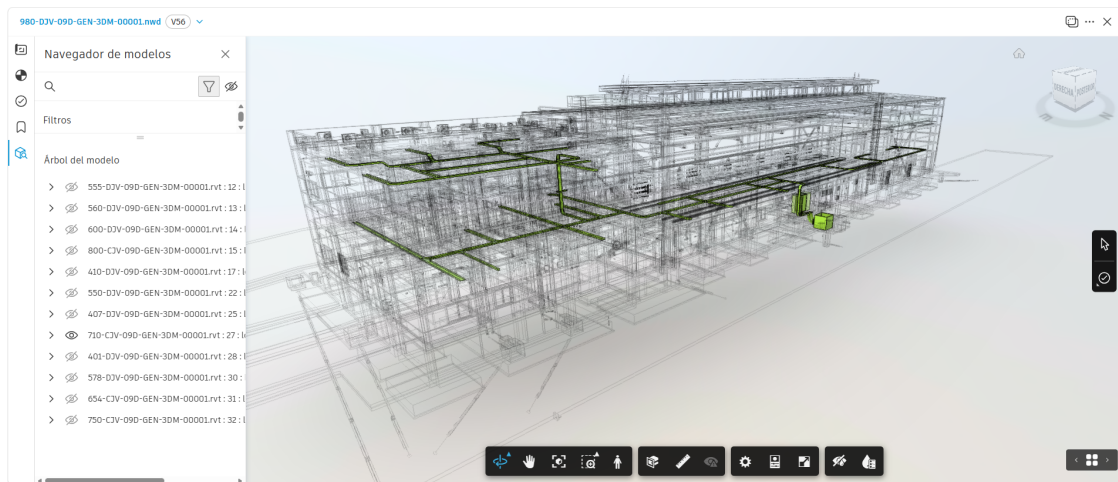


Ilustración 99. Modelo de telecomunicaciones. Fuente: elaboración propia

Con los modelos previamente descritos, serán creados la siguiente lista de colisiones para poder discernir si se presenta alguna diferencia entre las metodologías:

- 550 - 401
- 600 - 401
- 560 - 401
- 555 - 401
- 578 - 401
- 710 – 401

Como se puede observar, serán únicamente evaluados cada una de las instalaciones con la estructura de la edificación, dejando de lado las colisiones de las instalaciones entre ellas debido a que las colisiones con la estructura son aquellas que presentan mayor gravedad. Con ello, será suficiente para constatar si hay diferencias entre las metodologías y además que, en *Model Coordination*, no permite el choque de varios modelos entre ellos de manera simplificada, siendo requerido ir uno a uno alargando innecesariamente el estudio.

Para la creación de las colisiones, en cuanto a *Navisworks*, será creada la lista de colisiones entre los modelos descritos previamente mediante la herramienta “*Clash Detective*”. Debido a que no se van a crear grupos de modelos para crear las colisiones, no serán creados sets para la creación de las listas, directamente serán seleccionados los modelos concernientes mediante la opción (Standard):

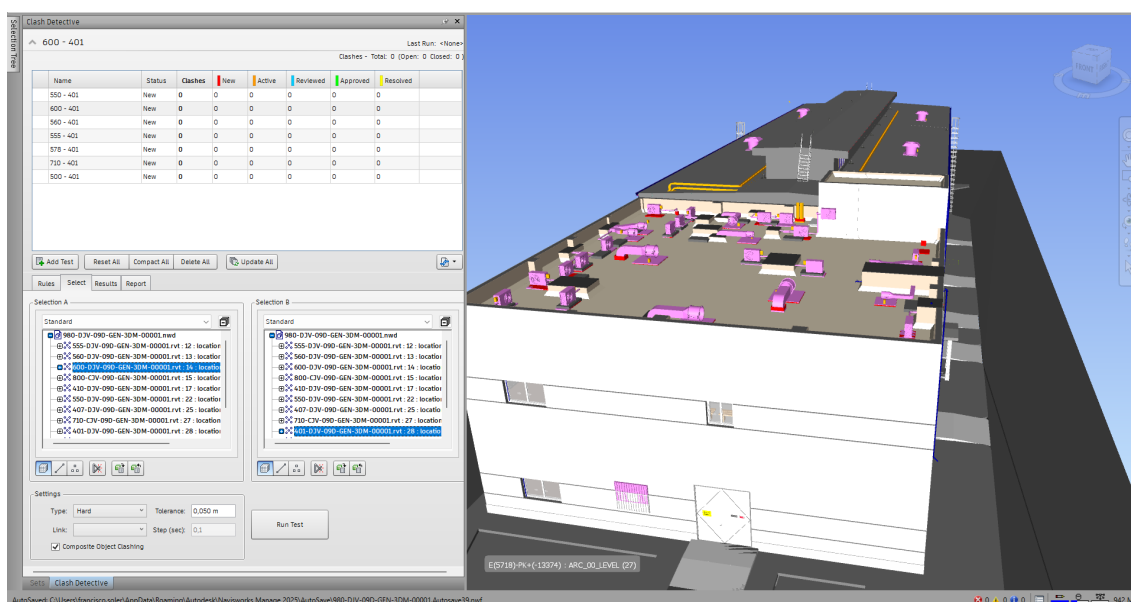


Ilustración 100. Creación de listado de colisiones en Navisworks. Fuente: elaboración propia

En cuanto a *Model Coordination*, una vez es configurado el espacio de coordinación, directamente ya es posible evaluar los resultados mediante la selección de las casillas en la matriz de colisiones, siendo las casillas marcadas en la Ilustración 101:

	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 401	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 407	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 410	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 550	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 555	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 560	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 578	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 600	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 654	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 710	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 750	980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 800
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 401 241 grupos de interferencias		84	169	15	5	7	24	5	18		4	3
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 407 479 grupos de interferencias	328		430	3	1	8	3	4	8			1
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 410 607 grupos de interferencias	231	91		187	80	75	194	82	26	53	8	6
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 550 330 grupos de interferencias	27	5	255		4	4	7	43	30	11		
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 555 160 grupos de interferencias	9	1	127	5			2	15		24		3
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 560 130 grupos de interferencias	3	8	111	3			1	8	5			
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 578 394 grupos de interferencias	41	4	328	11	2	2		1	62	5		
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 600 170 grupos de interferencias	9	6	127	24	10	7	1		2	10		
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 654 63 grupos de interferencias	29	4	28	14		3	21	2		3		
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 710 73 grupos de interferencias			48	6	19		5	10	8			
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 750 121 grupos de interferencias	118		9									
980-DIV_090-GEN-3DM-00001.rvt - 800 19 grupos de interferencias	8	1	18		2							

Ilustración 101. Indicación de modelos a colisionar en matriz de colisiones. Fuente: elaboración propia

Aunque tengan resultados diferentes, al ser grupos de colisiones, es indiferente si se utiliza la fila como la columna seleccionada, ya que, aunque sean diferentes grupos, las colisiones creadas siguen siendo las mismas en ambos casos.

Lista de colisión: 550 – 401

Colisiones creadas en Navisworks = 28

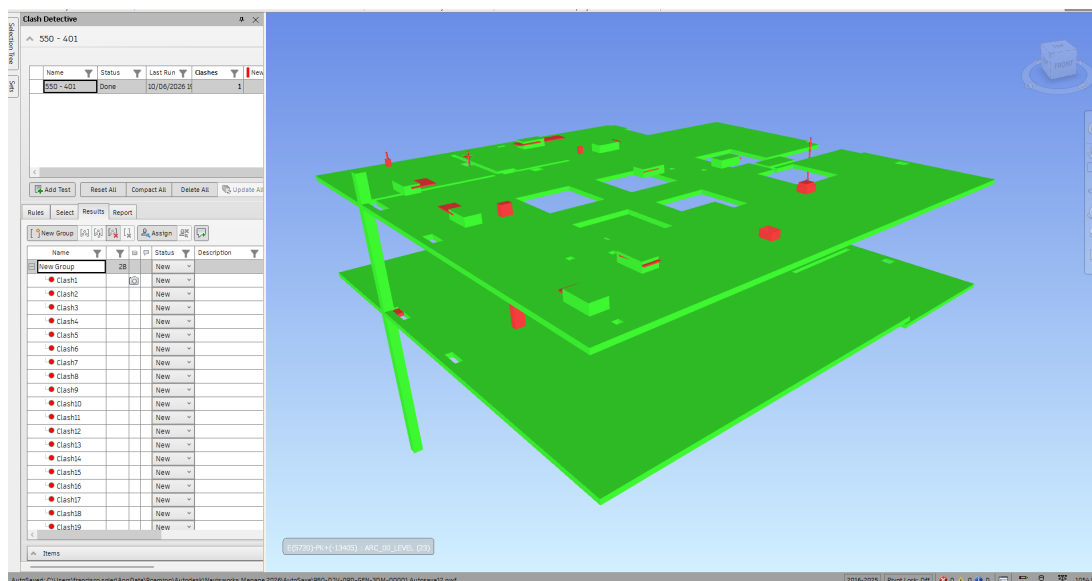


Ilustración 102. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 550. Fuente: elaboración propia

Elementos creados en Model Coordination = 28

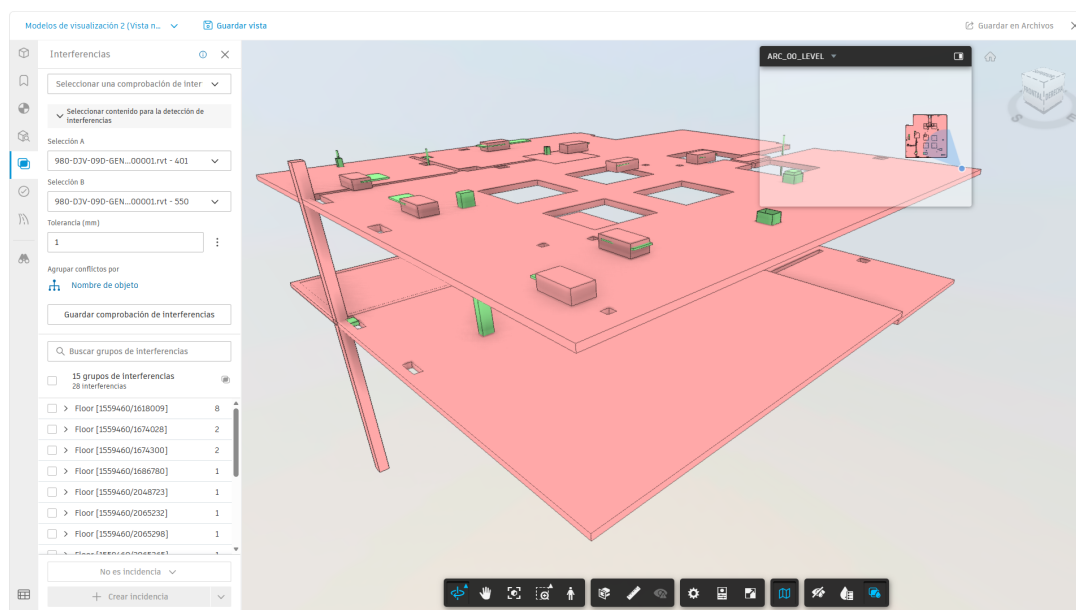


Ilustración 103. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 550. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, no se aprecia discrepancias en los modelos mediante ambas metodologías.

Lista de colisión: 600 – 401

Colisiones creadas en Navisworks = 9

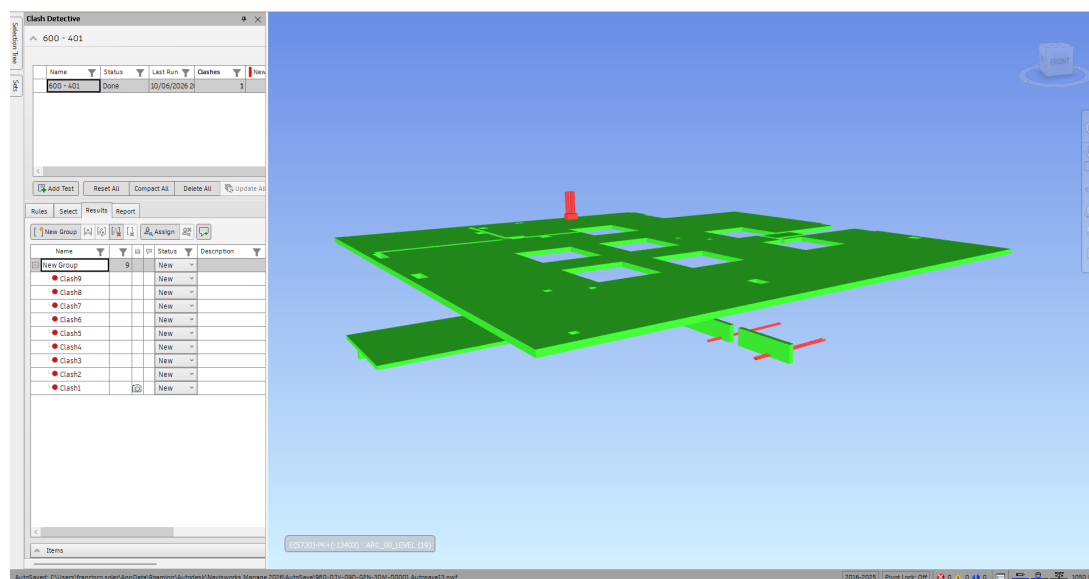


Ilustración 104. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 600. Fuente: elaboración propia

Colisiones creadas en Model Coordination = 9

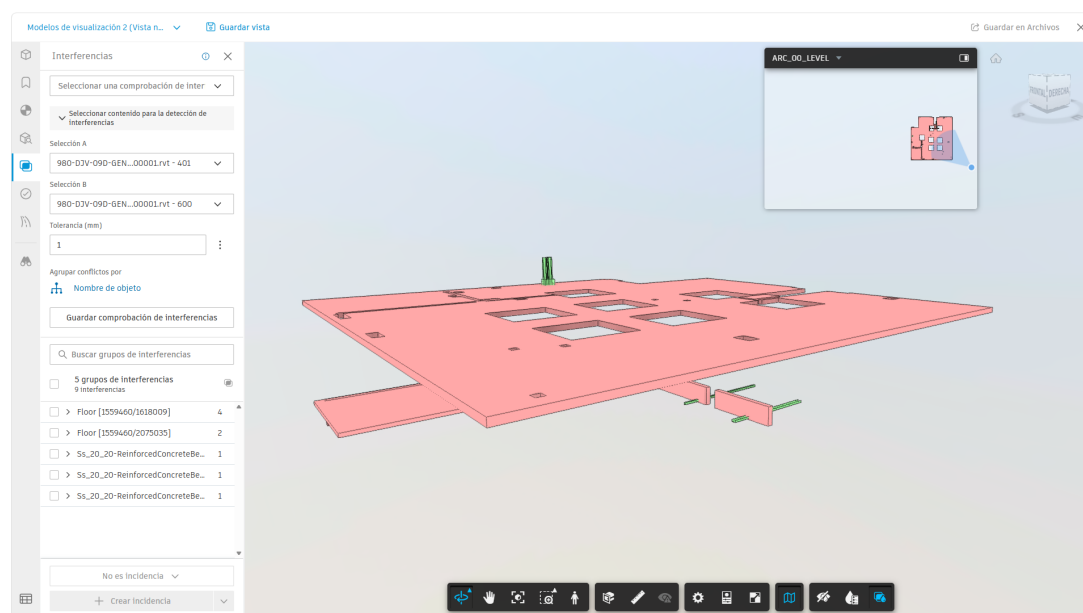


Ilustración 105. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 600. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, no se aprecia discrepancias en los modelos mediante ambas metodologías.

Lista de colisión: 560 – 401

Colisiones creadas en Navisworks = 3

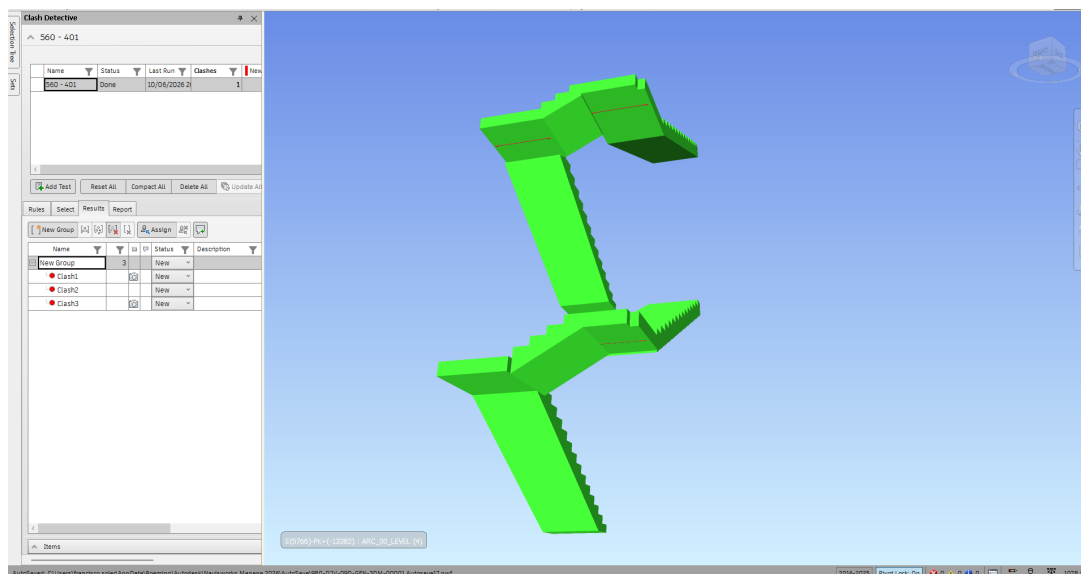


Ilustración 106. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 560. Fuente: elaboración propia

Colisiones creadas en Model Coordination = 8

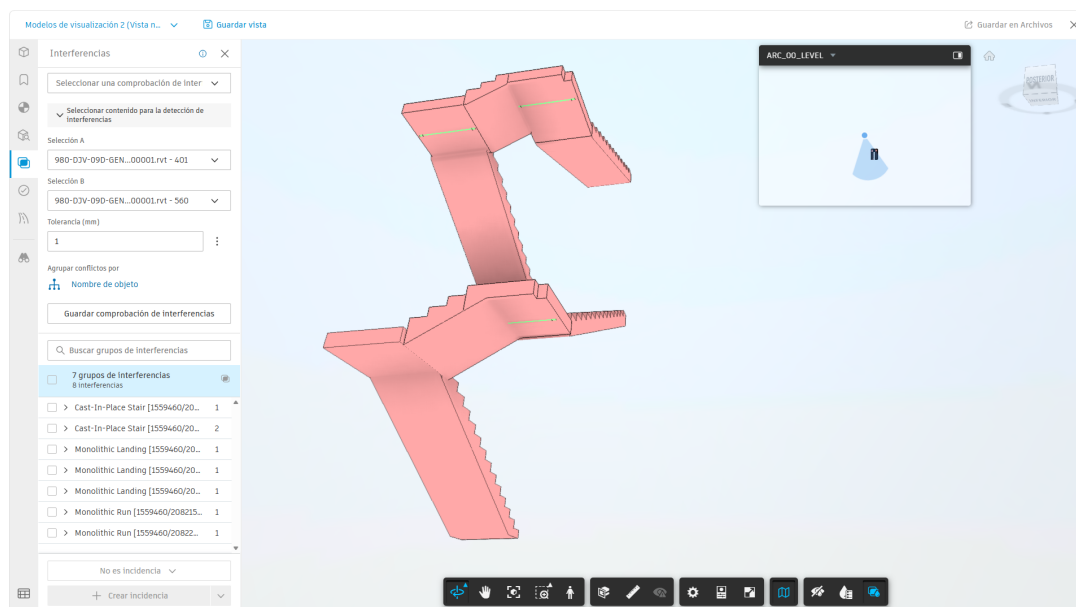


Ilustración 107. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 560. Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar, el análisis de Model Coordination presenta 8 colisiones, 5 colisiones más que en el análisis mediante Navisworks.

Esto es debido a la manera en que ambas metodologías segmentan los elementos de los modelos.

En *Navisworks*, la escalera es dividida únicamente en tres segmentos, lo que ocasiona que en cada uno de los tres segmentos se produzca una sola *colisión* con las luminarias, cómo es posible observar en la Ilustración 108:

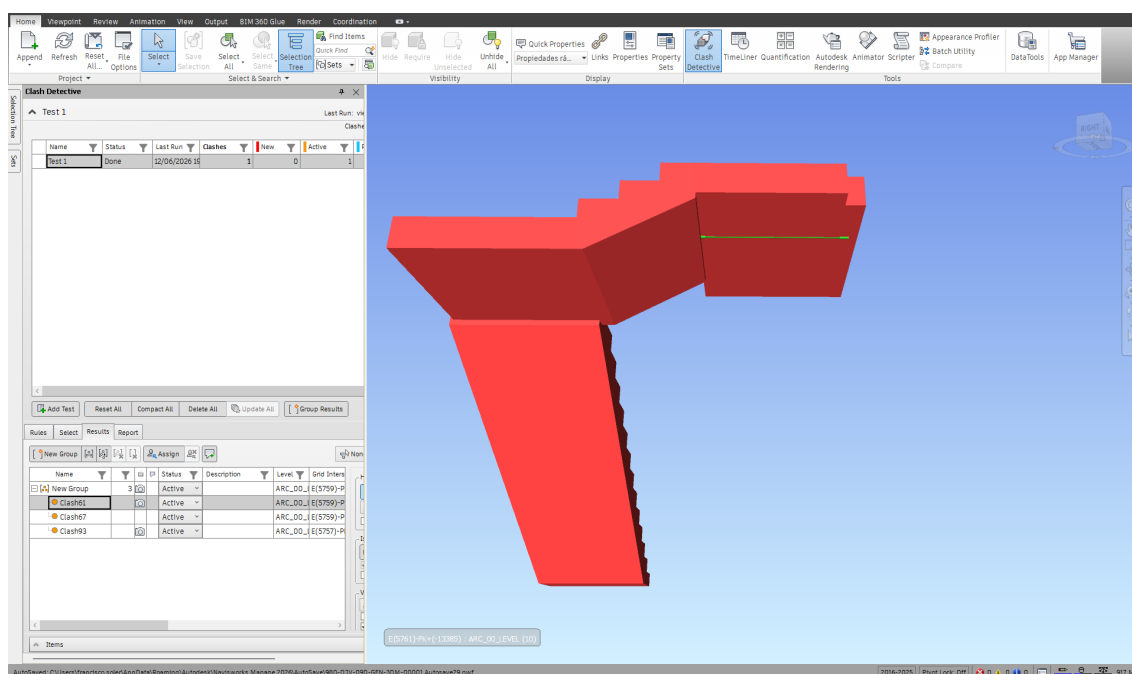


Ilustración 108. Segmentos producidos por colisiones en Navisworks. Fuente: elaboración propia

Sim embargo, en *Model Coordination* es capaz de dividir la escalera en más elementos, multiplicando el número de colisiones creados, como es posible observaren la Ilustración 109:

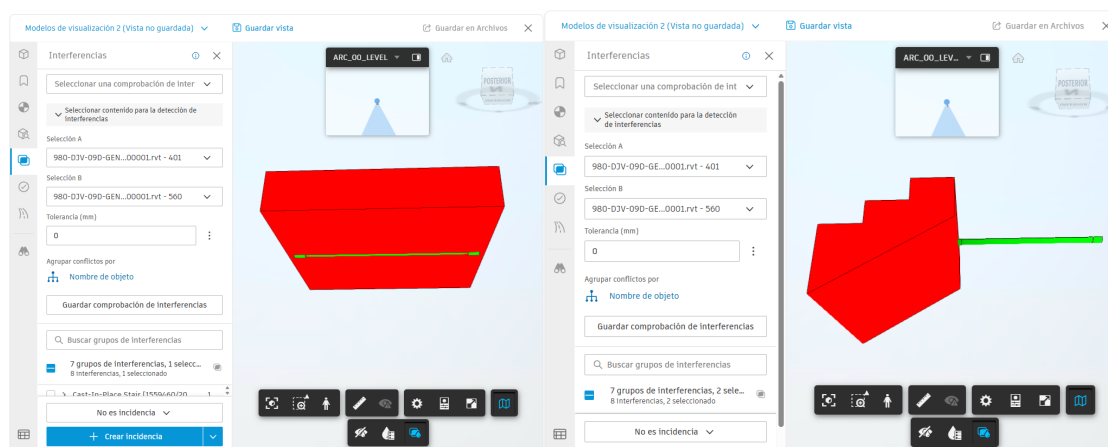


Ilustración 109. Segmentos producidos por colisiones en Model Coordination. Fuente: elaboración propia

Lista de colisión: 555 – 401

Colisiones creadas en Navisworks = 10

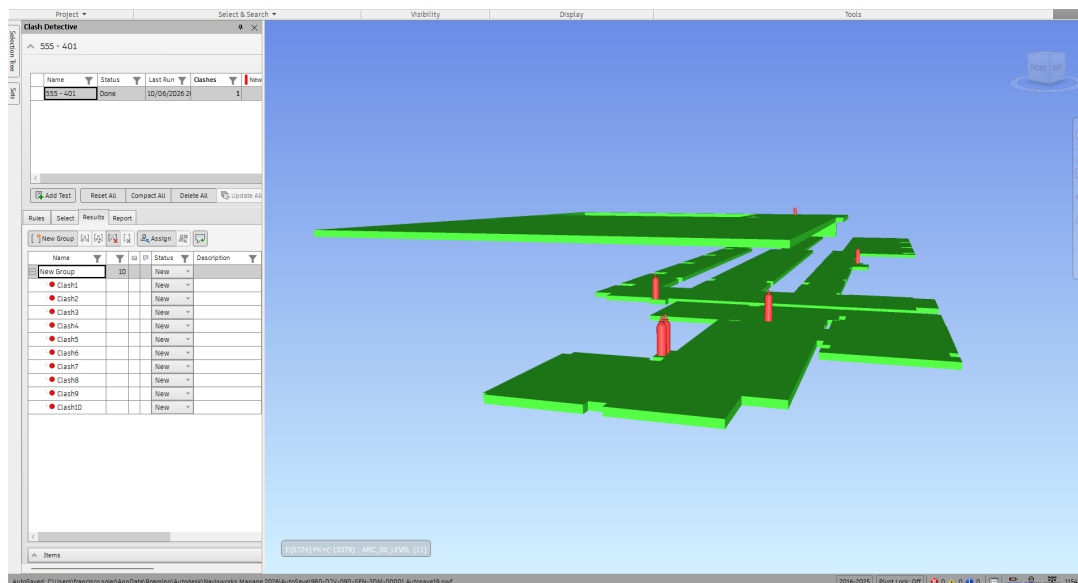


Ilustración 110. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 555. Fuente: elaboración propia

Colisiones creadas en Model Coordination = 10

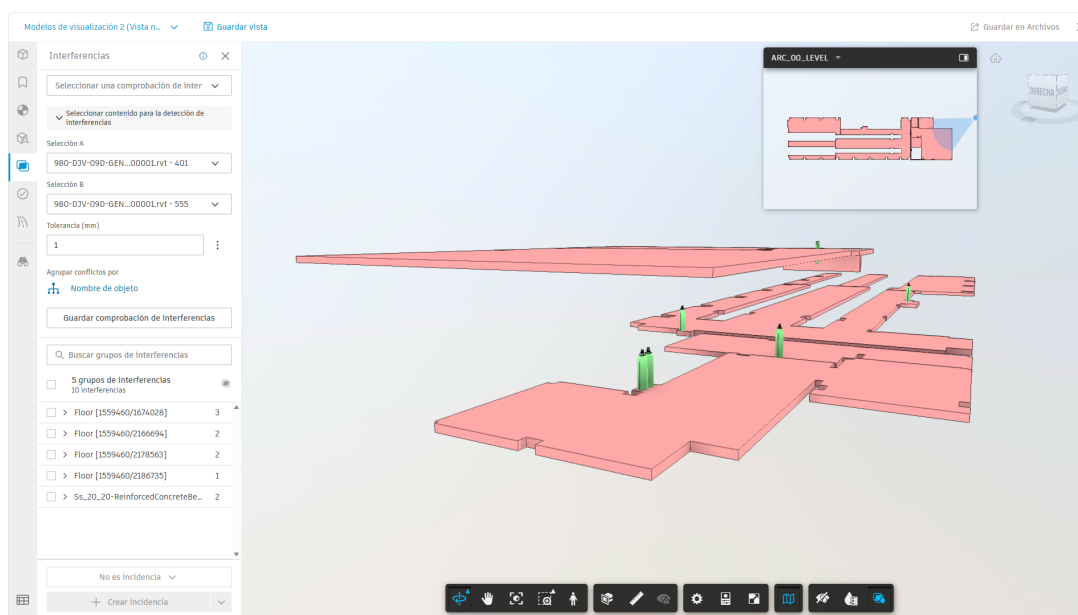


Ilustración 111. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 555. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, no se aprecia discrepancias en los modelos mediante ambas metodologías.

Lista de colisión: 578 – 401

Colisiones creadas en Navisworks = 53

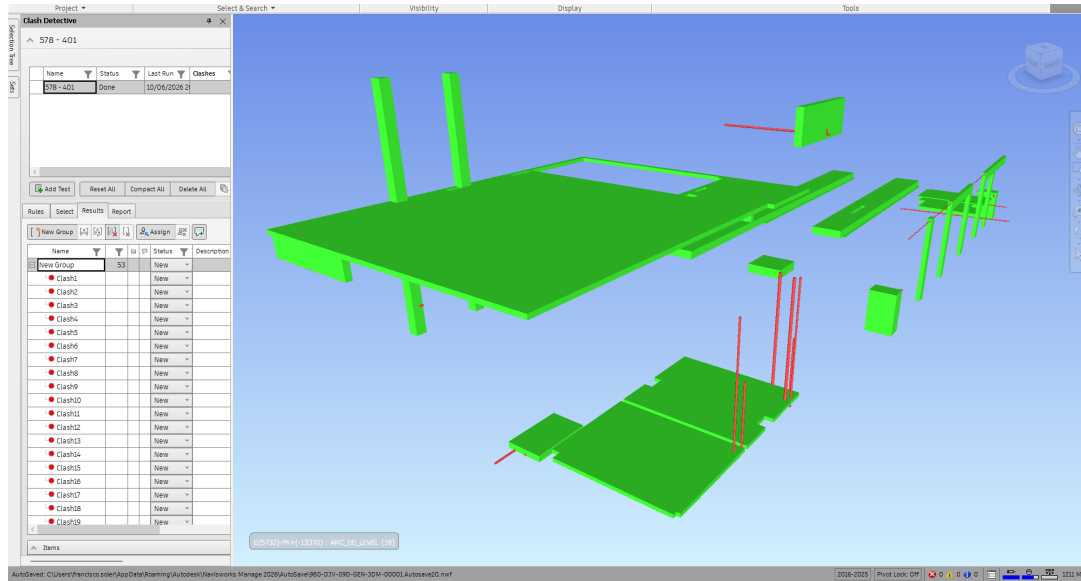


Ilustración 112. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 578. Fuente: elaboración propia

Colisiones creadas en Model Coordination = 53

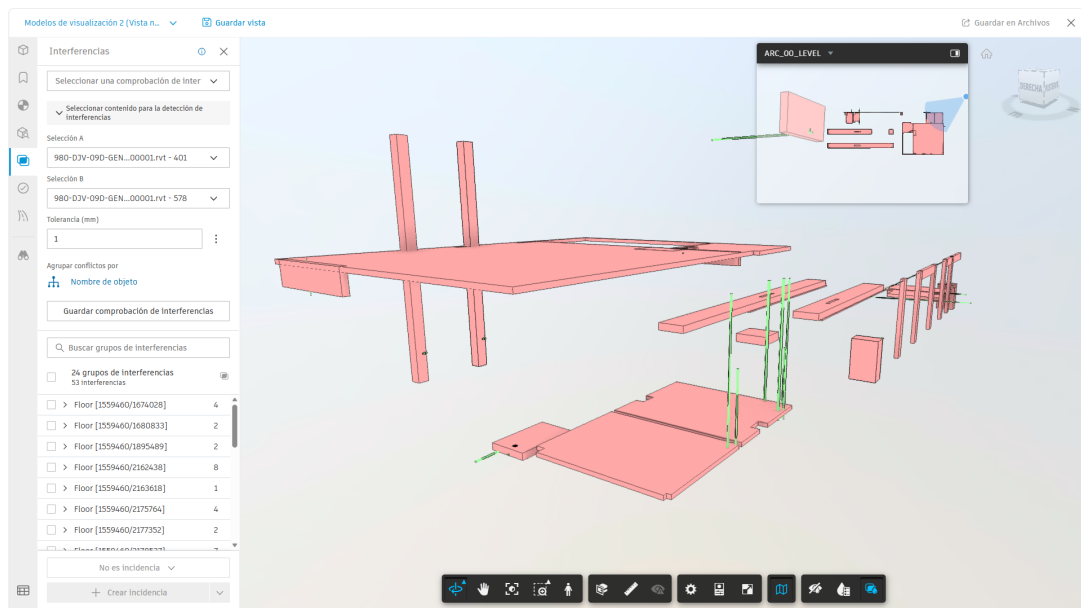


Ilustración 113. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 578. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, no se aprecia discrepancias en los modelos mediante ambas metodologías.

Lista de colisión: 710 – 401

Colisiones creadas en Navisworks = 0

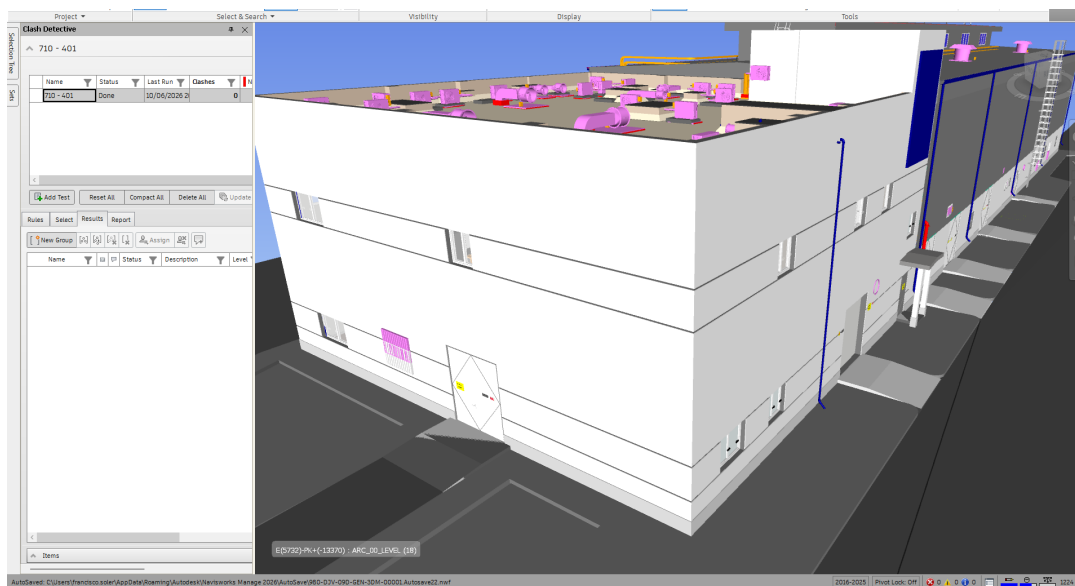


Ilustración 114. Colisiones creadas en Navisworks con modelo 710. Fuente: elaboración propia

Colisiones creadas en Model Coordination = 0

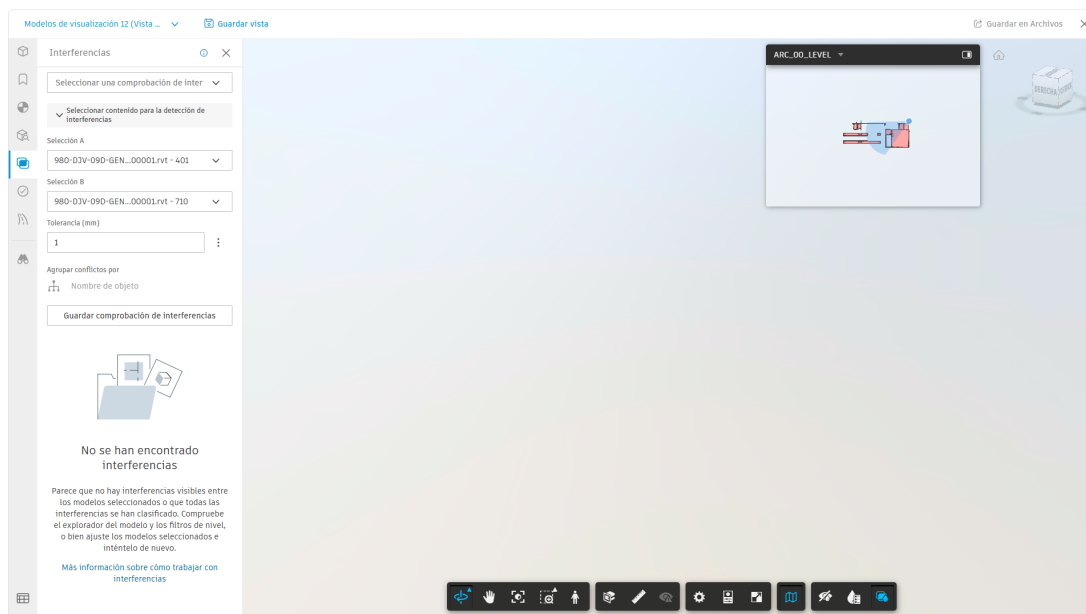


Ilustración 115. Colisiones creadas en Model Coordination con modelo 710. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, no se aprecia discrepancias en los modelos mediante ambas metodologías.

6.5.5 Conclusiones

Análisis de metodologías:

A continuación, se recoge los resultados de las puntuaciones obtenidas mediante el análisis de los dos métodos, mediante el método tradicional para la creación de *colisiones* mediante *Navisworks* y el método nuevo mediante la herramienta en la nube *Model Coordination* de Autodesk Construction Cloud:

Tabla 4. Resultados estudio federación de modelos. Fuente: elaboración propia

Rango de puntuación	Pesos (wi)	Método 2.1	Método 2.2
Tiempo de ejecución	0,25	5	5
Nivel de automatización	0,20	3	4
Trazabilidad de la información	0,15	5	2
Calidad de la información	0,20	4	3
Escalabilidad	0,10	5	2
Suma ponderada		3,65	3,15

Como se puede observar en la Tabla 4, el método 1, basado en *Navisworks* en entorno local, presenta una puntuación superior al método implementado en la nube mediante *Model Coordination*. Esta diferencia se justifica principalmente por la madurez y el grado de desarrollo funcional de *Navisworks*, el cual ha sido durante años la herramienta de referencia para la detección y gestión de *colisiones* en entornos *BIM*.

En este sentido, *Navisworks* ofrece una mayor versatilidad en la configuración de las pruebas de colisión, permitiendo definir conjuntos de búsqueda (sets) y los tipos de *interferencias*. Además, dispone de funcionalidades avanzadas para la clasificación, agrupación y filtrado de colisiones, lo que facilita un análisis más preciso y adaptado a las necesidades del proyecto.

Por otro lado, el flujo de trabajo en *Navisworks* permite un seguimiento más exhaustivo del ciclo de vida de las colisiones, incluyendo la posibilidad de modificar estados (new, active, reviewed, approved...), agrupar incidencias de forma manual o semiautomática y aplicar estrategias de gestión más complejas.

En contraste, la herramienta *Model Coordination* de ACC, al estar basada en un entorno cloud, presenta actualmente ciertas limitaciones en cuanto a la personalización y profundidad del análisis. Si bien ofrece ventajas en tiempo, su capacidad de configuración de colisiones y su control detallado aún no alcanzan el nivel de sofisticación de *Navisworks*.

Finalmente, dado que la tecnología en la nube de *Autodesk Construction Cloud* es relativamente reciente y se encuentra en constante evolución, es razonable prever que las diferencias actuales entre ambas metodologías tiendan a reducirse progresivamente. A medida que se incorporen nuevas funcionalidades y se mejore la capacidad de configuración y análisis, es probable que las soluciones en la nube no solo igualen, sino que potencialmente superen a las herramientas tradicionales en determinados aspectos, especialmente en entornos colaborativos y proyectos de gran escala.

Análisis de colisiones:

Como se ha podido observar, la creación de colisiones mediante ambas metodologías es prácticamente idéntica, siendo una única discrepancia mediante las colisiones ocasionas entre los modelos 560 y 401.

Sin embargo, esta discrepancia no resulta en un aumento real del número de colisiones, debido a que no es que en *Model Coordination* se hayan detectado nuevas colisiones, si no que, mediante la manera que tiene de considerar las geometrías dentro de un mismo elemento ocasiona múltiples de ellos.

El objetivo es detectar que efectivamente, hay una luminaria que está colisionan con el descansillo de la escalera, siendo en ambos casos ese objetivo satisfecho satisfactoriamente. Con ello se llega a la conclusión que ambas metodologías para la creación de colisiones no presentan diferencia alguna.

6.6 Estudio de soluciones para la gestión de colisiones e incidencias

6.6.1 Introducción

El presente estudio de soluciones tiene como finalidad averiguar, dentro de tres metodologías distintas para la gestión de colisiones e incidencias, cuál de ellos resulta más eficiente para llevar a cabo la gestión. Con ello se busca realizar una comparativa mediante un estudio multicriterio con los criterios y pesos mencionados previamente.

6.6.2 Método 3.1

El método 3.1, correspondiente al método mencionado en el capítulo 5 de “Flujo de trabajo actual en el metro de Alejandría” para la gestión de colisiones e incidencias, corresponde al método actual mencionado en la sección 5.3 de “Gestión de colisiones e incidencias”, que se puede observar en la Ilustración 116 marcado en el diagrama de los flujos de trabajo:

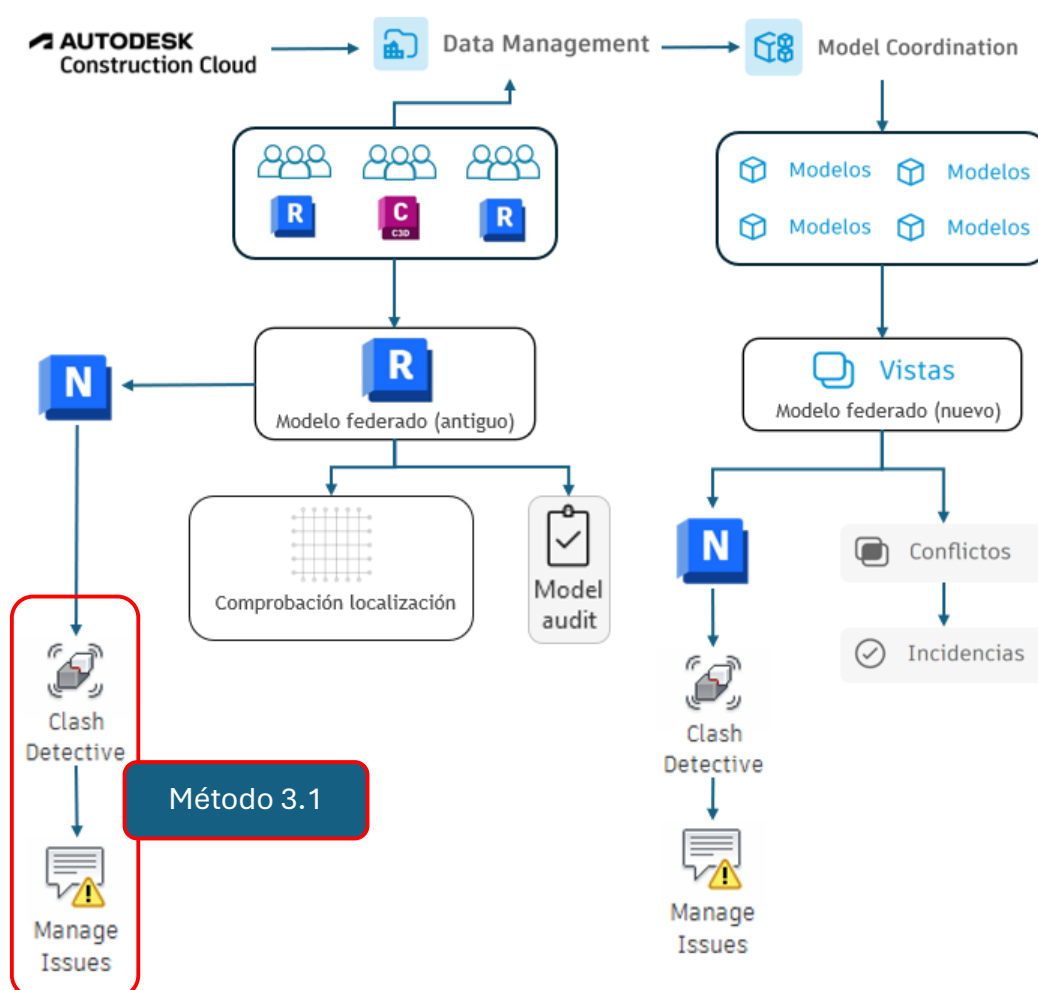


Ilustración 116. Método 3.1 de gestión de colisiones e incidencias en el diagrama de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

En él, como se mencionó, las colisiones son creadas en el *modelo federado* mediante el *archivo NWF* de Navisworks a través de la herramienta *Clash Detective*, ya que es el lugar donde se realizan todas las configuraciones y actualizaciones, debido a que de ahí se guardan copias congeladas en *formato NWD*. Además, el *formato NWD* es el formato más accesible ya que contiene todos los modelos en el propio archivo y es posible ser abierto por el visor de *Autodesk Construction Cloud*.

Con la copia ya guardada en *formato NWD*, en ella, se analizan cada una de las *colisiones* para evaluar si presentan un gran impacto en la edificación, o muchas veces como grupo de colisiones si el origen de la *colisión* es común, por ejemplo, una bandeja de cable que colisiona múltiples veces con columnas:

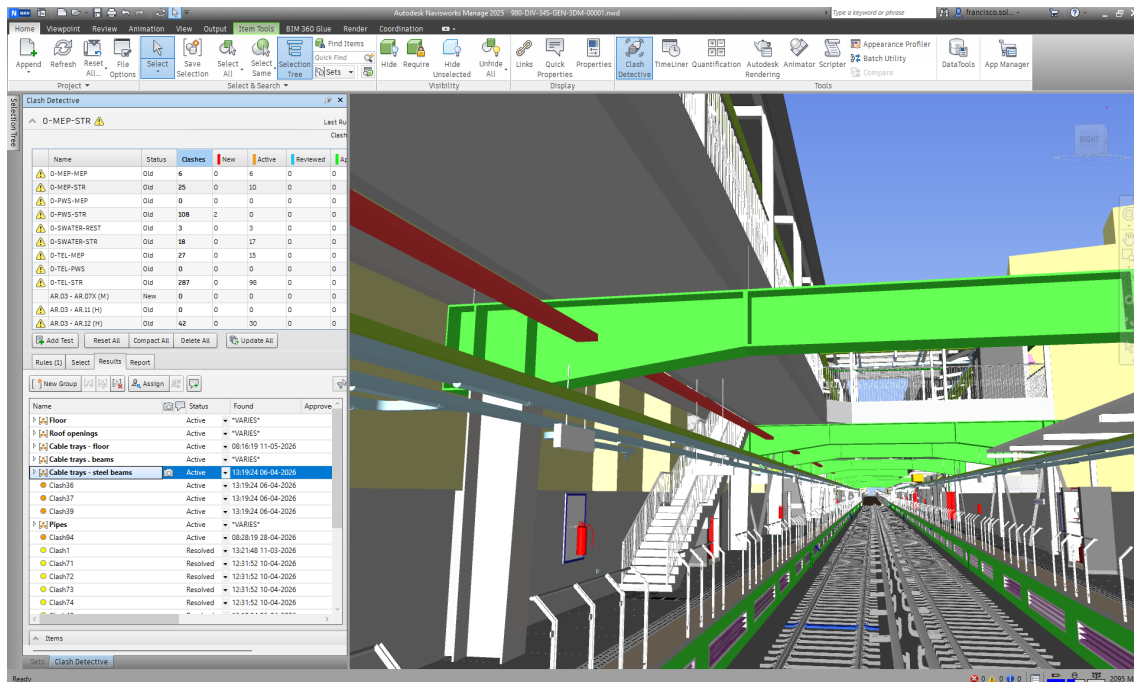


Ilustración 117. Ejemplo de grupo de colisiones de una bandeja colisionando con múltiples vigas.
Fuente: elaboración propia

Una vez se detectan colisiones que supongan un verdadero impacto en el proyecto, se procede a la creación de incidencias mediante la herramienta *Manage Issues*, en la cual mediante la interfaz se rellena una plantilla donde se establecen diferentes categorías como por ejemplo el responsable, una fotografía de las colisiones, ubicación... Una vez completada, se crea la incidencia y se notifica inmediatamente al responsable asignado mediante correo electrónico para que sea solventada en el menor tiempo posible, así como usar la misma incidencia creada para establecer una comunicación con el creador de la incidencia, un claro ejemplo de ello es el siguiente, donde se notifica que la abertura solicitada en la losa no es posible ser creada:

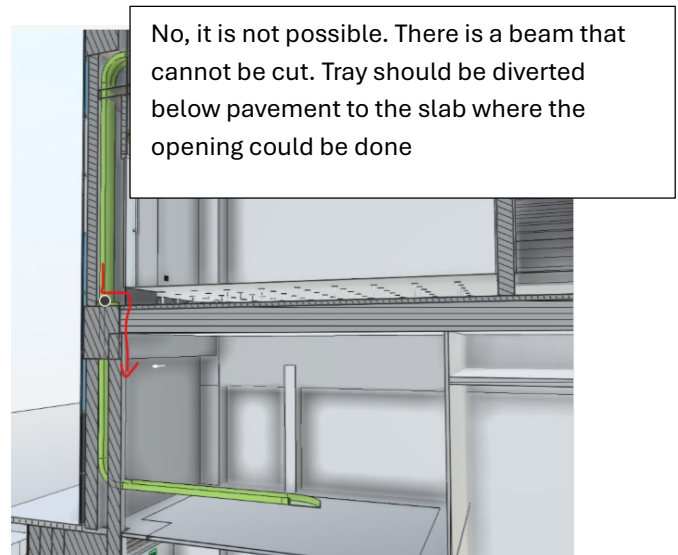
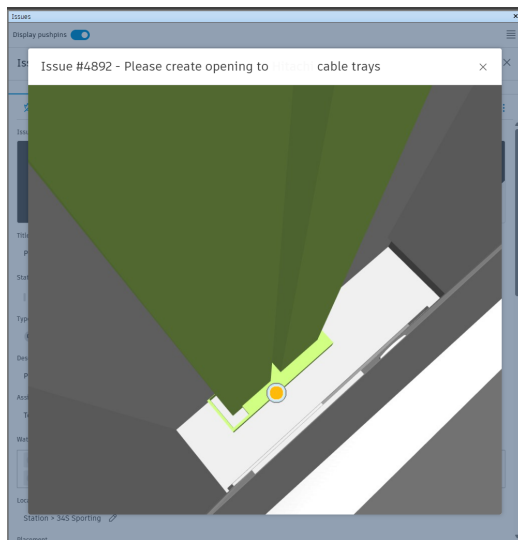


Ilustración 118. Respuesta a incidencia creada para creación de abertura en losa. Fuente: elaboración propia

Cabe mencionar, que lo mencionado previamente es común a los 3 métodos que son y serán explicada en este estudio de soluciones.

6.6.2.1 Ventajas

Versatilidad:

Debido a que las incidencias son creadas en el *modelo NWD*, los cuales se guardan en *Data Management*, cualquier usuario del proyecto puede acceder al archivo, tanto desde el visor de *Autodesk Construction Cloud* como mediante *Navisworks*. Además, aunque el archivo en cuestión sea sustituido por una versión más reciente, las incidencias creadas no son borradas de los modelos, si no que se mantienen y van evolucionando con el tiempo según el modelo van cambiando.

6.6.2.2 Desventajas

Trazabilidad y control de las colisiones:

Una de las desventajas claras, es que, para la creación de la *incidencia*, es necesario marcar el elemento que está haciendo *colisión*, para que la *incidencia* pueda almacenar la identificación del elemento y así poder hacer el seguimiento de este, así como poder, cada vez que se abre esa incidencia, poner un punto de vista de la incidencia, y para ello hace falta marcarlo para obtener su ubicación.

El problema de ello es que no se presenta una vinculación directa de la *colisión* y la *incidencia*. En el momento que la colisión es solucionada, porque en una posterior actualización los dos elementos que estaban chocando ya no lo están, inmediatamente la *colisión* cambia a “Resolved” mientras que la *incidencia* sigue como abierta.

Además, *Navisworks* permite cambiar la categoría de la *colisión* manualmente y cambiar el nombre de la *colisión*, como se puede observar en la Ilustración 119:

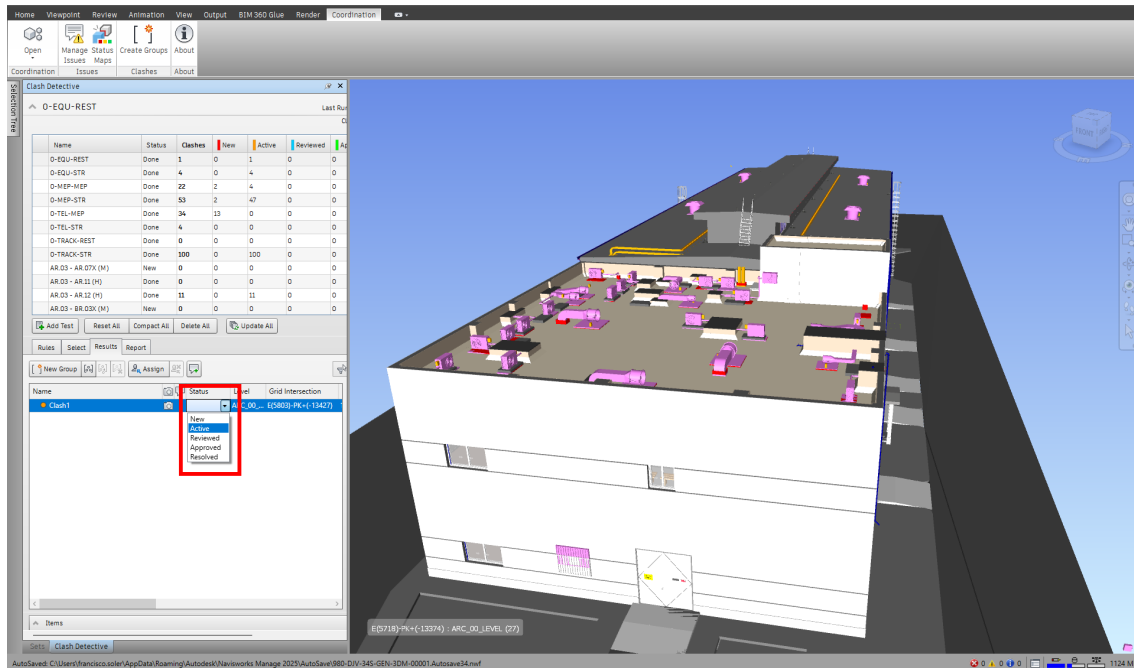


Ilustración 119. Cambio de categoría de las colisiones. Fuente: elaboración propia

Esto permite de manera manual indicar por ejemplo si la *colisión* esta revisada o aprobada ya que no supone un problema y, además, en el caso de revisada ponerle el nombre de la *incidencia* que se ha creado a ella, consiguiendo así un seguimiento manual de las *colisiones* a partir de las *incidencias*.

El problema de lo mencionada es que la ser los *archivos NWD* constantemente sustituidos por versiones más recientes, todos los cambios realizados en las *incidencias* son perdidos por la nueva versión, inutilizando lo creado.

Ante esta limitación, se podría pensar que, en lugar de hacer las *incidencias* en el *archivo NWD*, hacerlo en el *archivo NWF* que es donde se hace toda la configuración y donde nunca es sustituido por otra versión ya que solo presenta los vínculos. Esto sería lo ideal, ya que se haría todo de manera integrada y después ser guardado con *archivo NWD* para que pueda verlo todos los usuarios.

El principal problema de ello es que, si se quisiera hacer las incidencias, no se podría llevar a cabo debido a que, al abrir *Manage Issues* advierte de que ello no es posible:

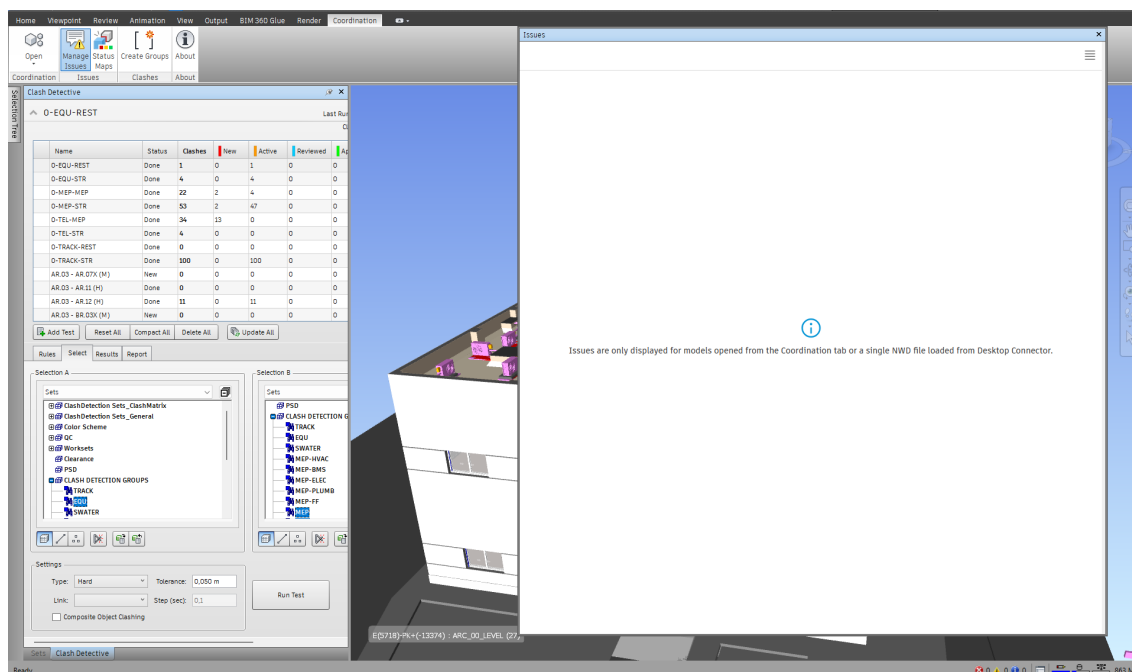


Ilustración 120. Error al crear incidencias en archivo NWF en Navisworks. Fuente: elaboración propia

Para solucionar dicho problema, se podría intentar mover el *archivo NWF*, que actualmente se ubica en la carpeta de trabajo WIP a una de las carpetas de SHARED en las cuales los *espacios de coordinación* extraen los modelos para el módulo de *Model Coordination*. Sin embargo, si es probado sale el mismo error que el caso explicado anteriormente.

Finalmente, otra de las alternativas que podrían ser probadas, es que en la versión de *Navisworks 2026* que presenta una nueva característica en la cual se pueden enlazar las *colisiones* con la *incidencia* creada. Para ello, únicamente lo que habría que hacer es en la *lista de colisiones*, seleccionar botón derecho, seleccionar dentro del desplegable el botón “Actions” y finalmente seleccionar la opción “Create Issue” como se puede apreciar en Ilustración 121.

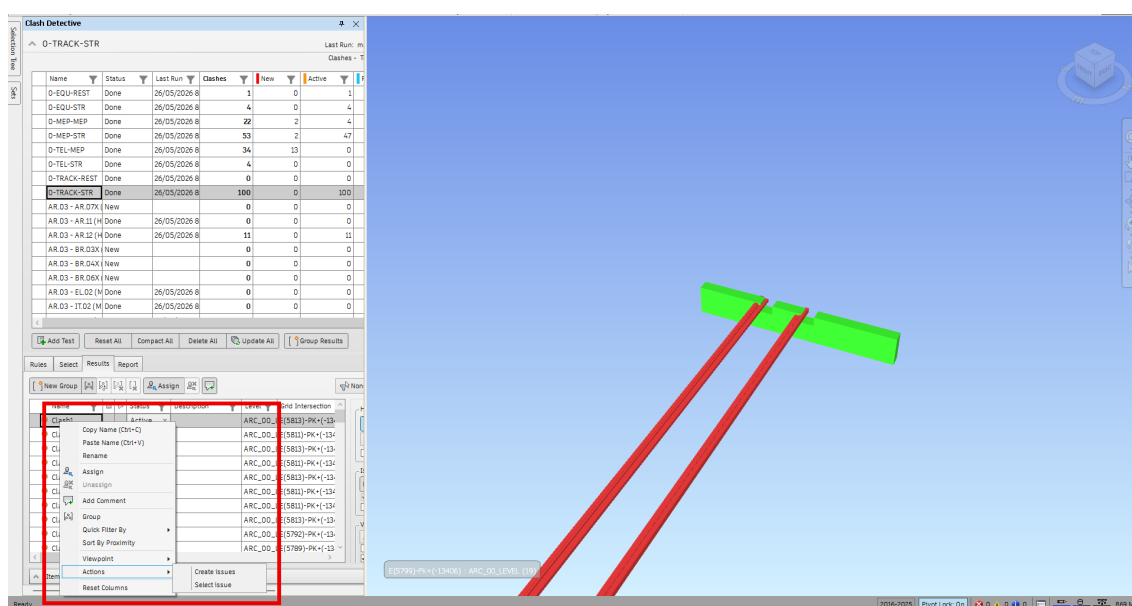


Ilustración 121. Creación de incidencia a partir de la colisión. Fuente: elaboración propia

Con esta opción, al ser creada la *incidencia* indicando directamente la *colisión*, debería vincularse ambos, con lo que, si la *colisión* cambia de estado, la *incidencia* también debería y viceversa. Sin embargo, es posible observar a continuación que se produce un error con la misma naturaleza que el mostrado en la Ilustración 121:

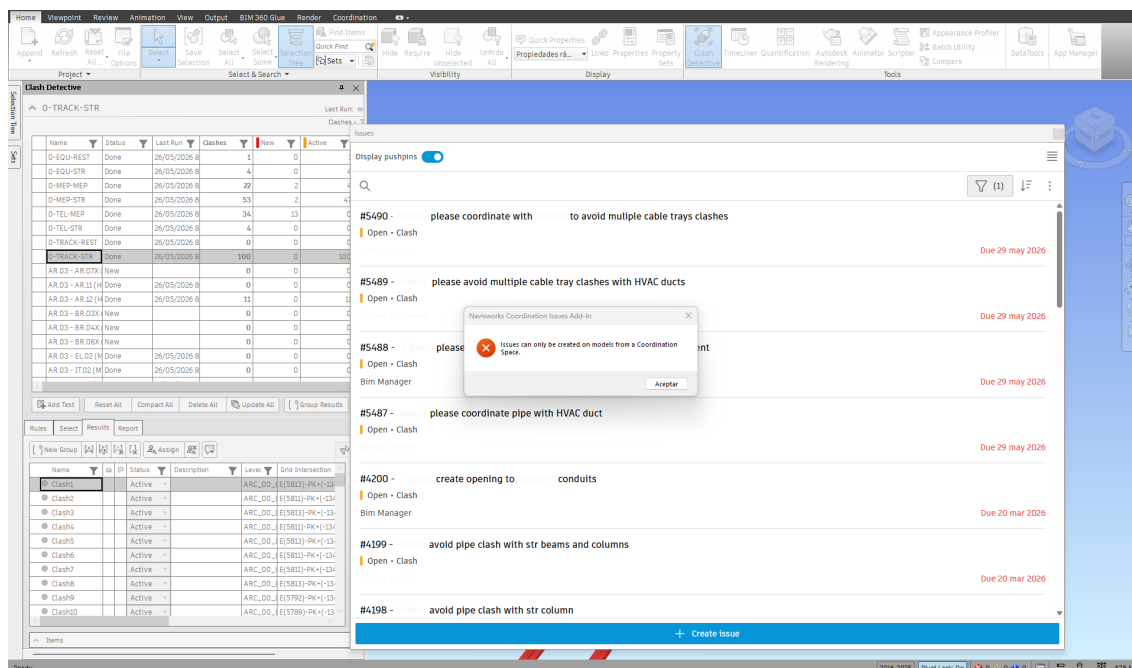


Ilustración 122. Error al crear incidencia a partir de colisión. Fuente: elaboración propia

6.6.2.3 Análisis multicriterio

Con las ventajas y desventajas expuestas anteriormente, se procederá a la evaluación de cada uno de los criterios del análisis multicriterio:

- **Tiempo de ejecución (T): 3**
 - o **Justificación:** debido a que, si se quiere organizar las *colisiones*, se podría hacer, pero desde el *archivo NWF*, y si se quiere dejar constancia de que colisión tiene tal incidencia, habría que ir cambiando entre ambos archivos, ya que las incidencias creadas en *archivos NWF* no se pueden ver.
- **Nivel de automatización (A): 2**
 - o **Justificación:** debido a que, excepto el cambio de las *colisiones* de nuevo a activo y de activo a resuelto, todo lo que se quiere llevar a cabo es necesario realizarlo manualmente, desde la creación de la *incidencia* (inevitable) hasta el control y organización de las *incidencias*.
- **Trazabilidad de la información (Ti): 2**
 - o **Justificación:** debido a que, de manera integrada, no es posible llevar un control de cada una de las *incidencias* con sus respectivas *colisiones*, siendo para realizarlo ir cambiando entre los diferentes tipos de archivos.
- **Calidad de la información (Ci): 5**
 - o **Justificación:** las *colisiones*, aunque de manera manual, es posible ser cambiadas de estatus, lo que conlleva una mejora sustancial de la calidad y seguimiento de las *colisiones* creadas, aunque no estén vinculadas con las *incidencias* y es necesario realizarlo en los *archivos NWF* para que no sea borrado.
- **Escalabilidad (E): 5**
 - o **Justificación:** no hay limitación en la creación de incidencias por parte de la plataforma.

Cálculo de la puntuación ponderada:

A continuación, se procederá con el cálculo de la puntuación mediante la obtención de los criterios y los pesos obtenidos previamente:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i = 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 2,95$$

Como se puede observar, se presenta como una solución mejorable. Esto es debido a su gran inconveniente de que no se puede realizar vinculaciones entre las *colisiones* e *incidencias* creadas. Además, de que, si se quisiera hacer una ordenación de las colisiones, no es posible llevarlo a cabo de manera integral en un único archivo. Para ello, se debería realizar en el *archivo NWF* donde no se es capaz de ver las *incidencias* creadas, para después ser exportado en un *archivo NWD* donde ya si se ven.

6.6.3 Método 3.2

El método 3.2 para la gestión de *colisiones* e *incidencias* corresponde al método mediante su gestión íntegra en la nube mediante el módulo de Model Coordination de Autodesk Construction Cloud, como es posible observar en la Ilustración 123:

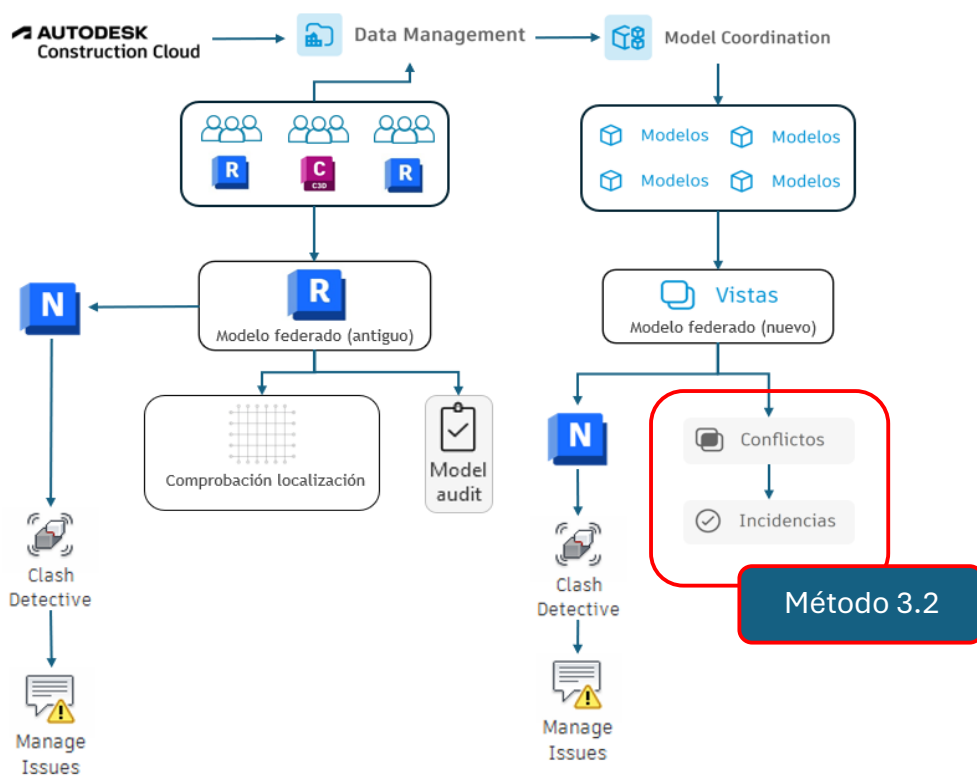


Ilustración 123. Método 3.2 de gestión de colisiones e incidencias en el diagrama de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

Para ello, una vez es creado y configurado el *espacio de coordinación* y es creada la matriz de colisiones, es posible realizar las *incidencias*.

Como ya se comentó, es posible abrir las *colisiones* presionando cada una de las casillas de la matriz de colisiones o seleccionando todos los modelos en el apartado de modelos y, una vez ahí, introducir los modelos que queremos que genere colisiones mediante “Selección A” y “Selección B”.

Con ello, se presiona el botón de “Crear incidencia” y seleccionado uno de los elementos que crea la colisión, como es posible observar en la Ilustración 124:

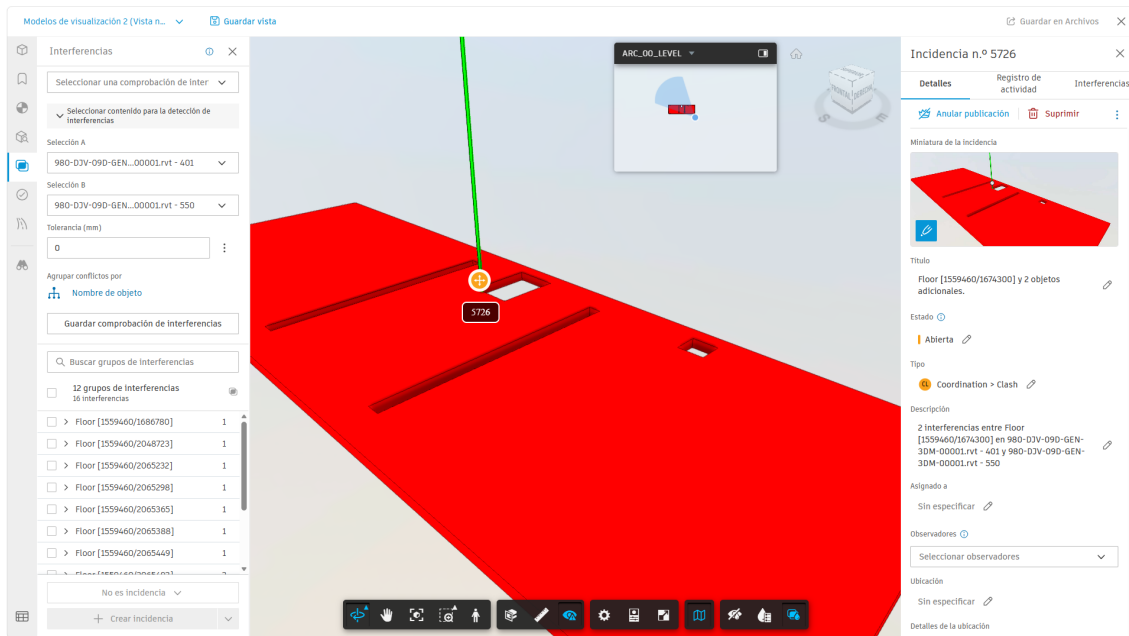


Ilustración 124. Creación de incidencia con Conflictos de Model Coordination. Fuente: elaboración propia

Con ello, se procede a rellenar la plantilla, para que una vez terminada sea notificado al responsable asignado de la *incidencia* para que la resuelva en la menor brevedad posible.

6.6.3.1 Ventajas

Control de la información y automatización:

Una vez es creada la *incidencia*, las *colisiones* a partir de las cuales se ha realizado desaparecen automáticamente del listado de colisiones, ya que para crear la *incidencia* es necesario seleccionar la colisión entera para vincularla y clicar un elemento para establecer la ubicación. Con ello es conseguido que la *colisión* y la *incidencia* se vinculen.

A continuación, en la Ilustración 125, se puede observar el resultado de ello en la cual las *colisiones* han descendido desde una cantidad de 16 a 15, debido a la creación de la *incidencia*. Además, es posible observar que parte de la plantilla se rellena automáticamente, permitiendo un mayor grado de automatización en la creación de estos:

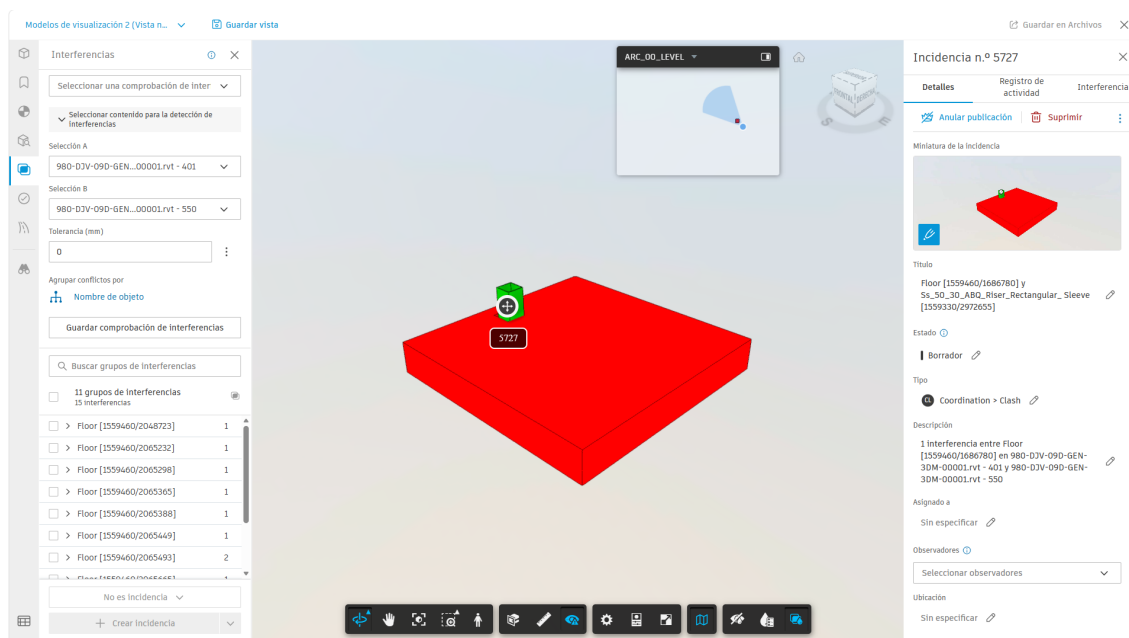


Ilustración 125. Eliminación de colisiones con las incidencias. Fuente: elaboración propia

6.6.3.2 Desventajas

Control de la información:

Una de las desventajas de la creación de la *incidencia*, resulta que, si la incidencia creada es suprimida por cualquier motivo, las *colisiones* usadas para la creación de la *incidencia* no vuelven a incorporarse a la cantidad de *colisiones* totales, lo que puede ocasionar graves problemas para el seguimiento de todas las *colisiones*.

Adicionalmente, como las *incidencias* se pueden crear a partir de los grupos de *incidencias* que se crean automáticamente, al crear la *incidencia*, que es solo una, a partir de muchas *colisiones* y eliminarse del listado, ocasiona una pérdida del contexto de todas las colisiones, ya que se pierde la cantidad de todas ellas, perdiendo la capacidad de evaluar correctamente la situación de la edificación o proyecto.

Versatilidad:

Otro problema detectado resulta que, al crearse todas las incidencias en *Model Coordination*, los usuarios que no obtengan este módulo no podrán ver la *incidencia* en el modelo. A continuación, en la Ilustración 126, se muestra una vista del modelo en *Model Coordination*, donde cómo se puede observar mediante la esfera que la incidencia está presente:

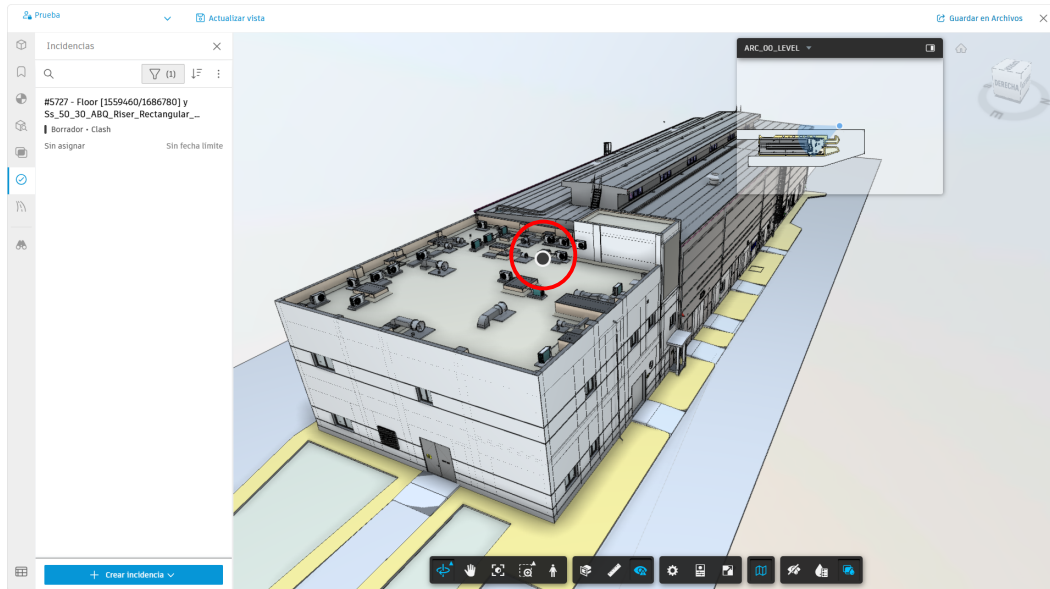


Ilustración 126. Presencia de incidencia en el modelo. Fuente: elaboración propia

Sin embargo, cuando esta misma vista es guardada como una copia congelada en Data Management, automáticamente todas las *incidencias* que estaban guardadas desaparecen, cómo es posible observaren la Ilustración 127:

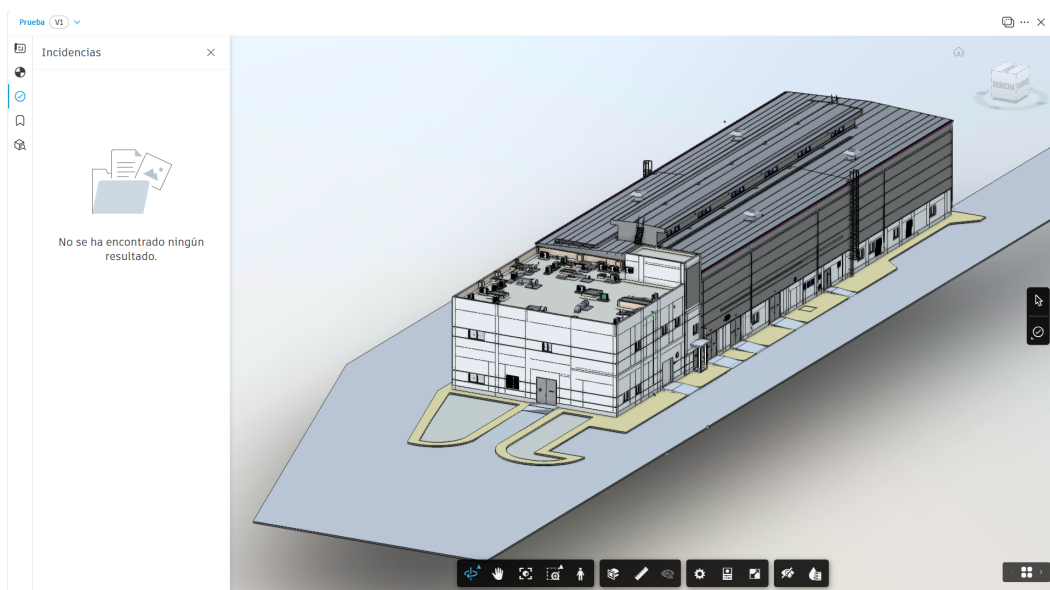
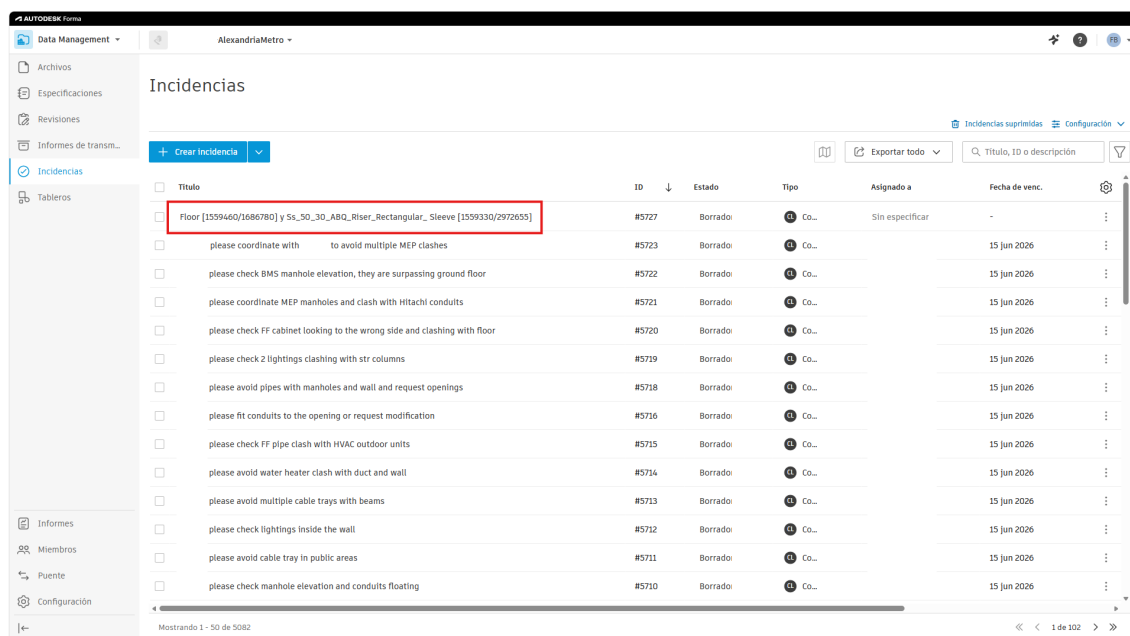


Ilustración 127. Desaparición de incidencia. Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar, existe una barrera entre *Model Coordination* y *Data Management* bidireccional, ya que las colisiones que se ven en *Model Coordination* no se ven en *Data Management* y viceversa.

Sin embargo, cuando se busca en la opción de incidencias de *Data Management*, la incidencia creada sí que aparece:



Titulo	ID	Estado	Tipo	Asignado a	Fecha de venc.
Floor [1559460/1686780] y Ss_50_30_ABD_Riser_Rectangular_Sleeve [1559330/2972655]	#5727	Borrado	Co...	Sin especificar	-
please coordinate with to avoid multiple MEP clashes	#5723	Borrado	Co...		15 jun 2026
please check BMS manhole elevation, they are surpassing ground floor	#5722	Borrado	Co...		15 jun 2026
please coordinate MEP manholes and clash with Hitachi conduits	#5721	Borrado	Co...		15 jun 2026
please check FF cabinet looking to the wrong side and clashing with floor	#5720	Borrado	Co...		15 jun 2026
please check 2 lightings clashing with str columns	#5719	Borrado	Co...		15 jun 2026
please avoid pipes with manholes and wall and request openings	#5718	Borrado	Co...		15 jun 2026
please fit conduits to the opening or request modification	#5716	Borrado	Co...		15 jun 2026
please check FF pipe clash with HVAC outdoor units	#5715	Borrado	Co...		15 jun 2026
please avoid water heater clash with duct and wall	#5714	Borrado	Co...		15 jun 2026
please avoid multiple cable trays with beams	#5713	Borrado	Co...		15 jun 2026
please check lightings inside the wall	#5712	Borrado	Co...		15 jun 2026
please avoid cable tray in public areas	#5711	Borrado	Co...		15 jun 2026
please check manhole elevation and conduits floating	#5710	Borrado	Co...		15 jun 2026

Ilustración 128. Aparición de incidencia en *Data Management* desde *Model Coordination*. Fuente: elaboración propia

Pero cuando es abierta y se selecciona la ubicación de este, los usuarios que no dispongan del módulo de *Model Coordination* no les abrirá el modelo y no les mostrará la *colisión*.

6.6.3.3 Análisis multicriterio

Con las ventajas y desventajas expuestas anteriormente, se procederá a la evaluación de cada uno de los criterios del análisis multicriterio:

- **Tiempo de ejecución (T): 5**
 - o **Justificación:** la creación de las *incidencias* conlleva simplemente la creación de esta, que puede ir desde unos segundos hasta 1 o 2 minutos a lo sumo, sin necesitar de organizar ni catalogar las *colisiones* ya que al crear la *incidencia* se realiza automáticamente.

- **Nivel de automatización (A): 4**

- o **Justificación:** debido a que al crear la *incidencia* directamente rellena parte de la plantilla, aunque a posteriori no tenga por qué resultar en el texto definitivo. Además, al ser creada la *incidencia* se cataloga inmediatamente y eliminado de las *colisiones* remanentes.

- **Trazabilidad de la información (Ti): 1**

- o **Justificación:** debido a que inmediatamente se crea una *incidencia* a partir de una *colisión* esta es eliminada directamente de la lista de *colisiones*, volviendo el proceso irreversible. Además, de que, si la *incidencia* es suprimida, la *colisión* tampoco vuelve a la lista de *colisiones* perdiendo su trazabilidad y existencia.

- **Calidad de la información (Ci): 3**

- o **Justificación:** aunque no es posible catalogar cada una de las *colisiones*, es posible realizar una *incidencia* para cada una de ellas, y catalogar la propia *incidencia* ya que presenta una clasificación de estatus que puede realizar una función de reemplazo, como se puede observar en la Ilustración 129:

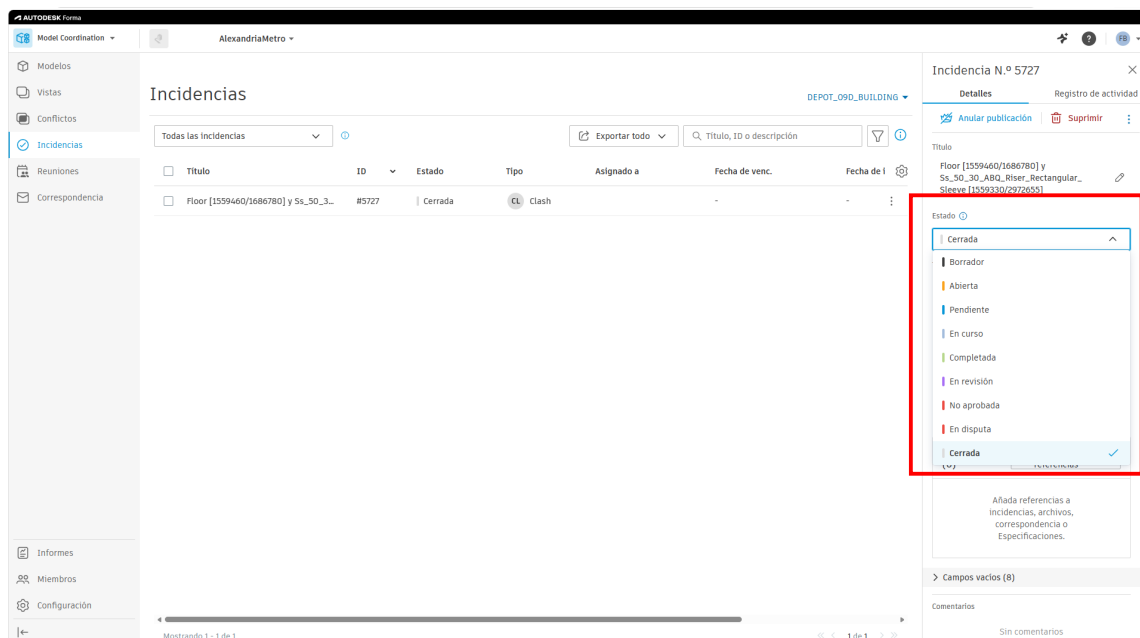


Ilustración 129. Clasificación de estatus de las incidencias. Fuente: elaboración propia

- **Escalabilidad (E): 5**

- o **Justificación:** no hay limitación en la creación de incidencias por parte de la plataforma.

Cálculo de la puntuación ponderada:

A continuación, se procederá con el cálculo de la puntuación mediante la obtención de los criterios y los pesos obtenidos previamente:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i = 0,25 * 5 + 0,2 * 4 + 0,15 * 1 + 0,2 * 3 + 0,1 * 5 = 3,30$$

Como se puede observar, se presenta como una solución adecuada. Esto es debido a su gran ventaja en la automatización de la creación de *incidencias* y su ahorro del tiempo en todo el proceso llevado a cabo. Sin embargo, su punto débil que penaliza en gran medida su puntuación resulta de su baja trazabilidad de las *colisiones* una vez es creada la *incidencia*, debido a que no es posible revertir la presencia de la *colisión* en el *listado de colisiones* una vez es creada la *incidencia*, siendo el peor de los casos cuando es borrada la *incidencia*, ya que se pierde completamente su rastro.

6.6.4 Método 3.3

El método 3.3 para la gestión de *colisiones* e *incidencias* corresponde al método mediante su gestión combinada entre la nube y el programa *Navisworks*, ya que es usada las vistas creadas para la *federación de modelos* mediante *Model Coordination* en el propio programa, como es posible observaren la Ilustración 130:

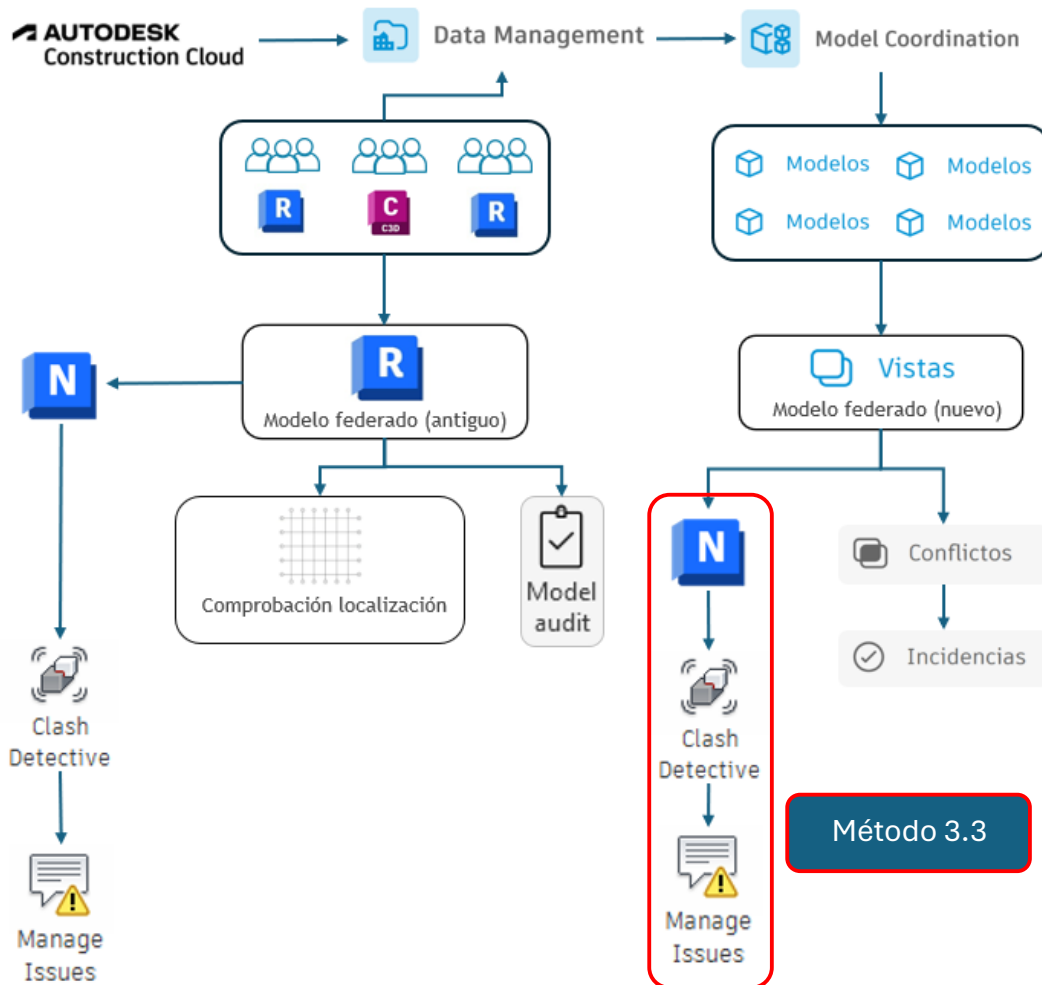


Ilustración 130. Método 3.3 de gestión de colisiones e incidencias en el diagrama de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

Para ello, es necesario poseer las vistas en un espacio de coordinación, explicado en el proceso para la federación de modelos mediante Model Coordination que se vio en la sección 6.4.3. Con ellas creadas, es posible ser abiertas mediante la pestaña “Coordination” y la opción “Open” de Navisworks como se muestra en la Ilustración 131:

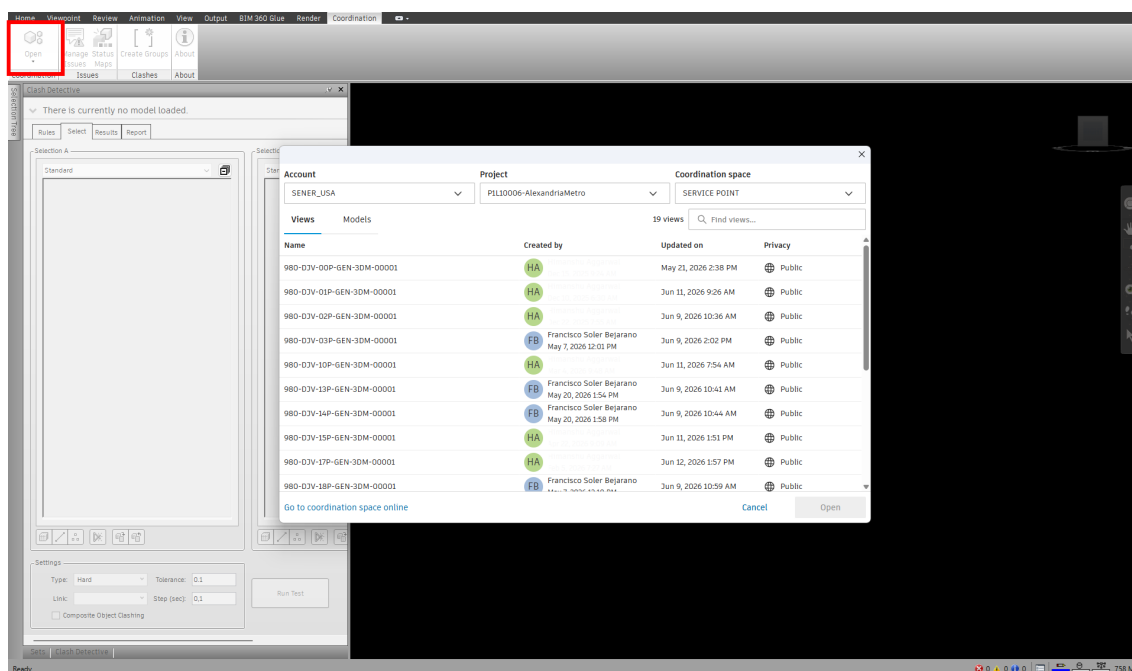


Ilustración 131. Abertura de vistas mediante Navisworks. Fuente: elaboración propia

Esto lo que permite, en lugar de una abertura normal de un *archivo NWF* o un *archivo NWD*, permite vincularse con *Model Coordination* y abrir cualquiera de las vistas que estén en un *espacio de coordinación*.

Con una de las vistas abiertas, que se podría decir que es una equivalencia del *archivo NWF* del método 3.1, es posible realizar las *incidencias* ya que se encuentra en un *espacio de coordinación*:

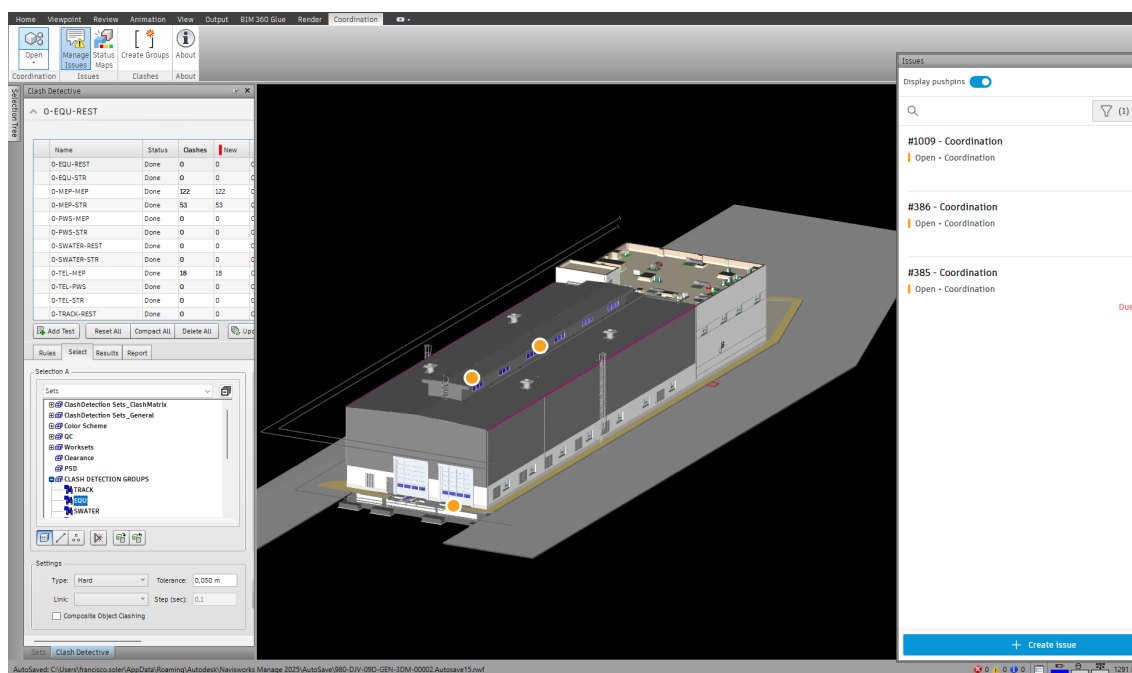


Ilustración 132. Posibilidad de creación de incidencias en la vista. Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, si la vista es abierta mediante la versión de *Navisworks* 2026, es posible vincular las *colisiones* a las *incidencias* como ya fue descrito en anteriores apartados y mostrado en la Ilustración 133:

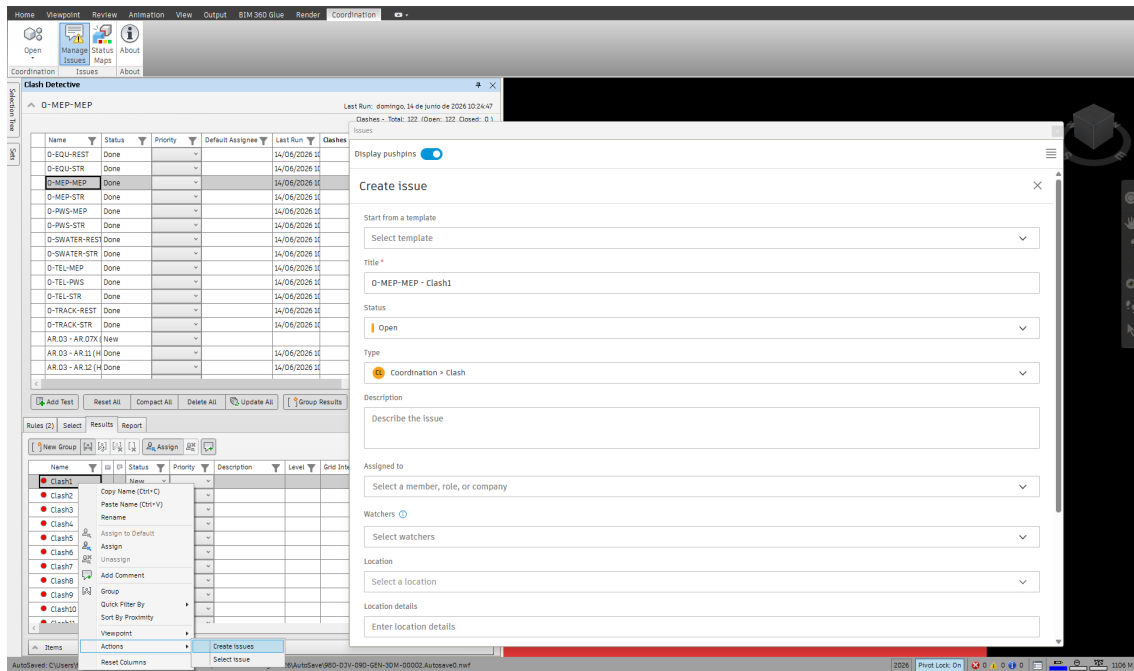


Ilustración 133. Creación de incidencia a partir de colisión. Fuente: elaboración propia

Una vez creada la *incidencia*, es conseguido que *colisión* e *incidencia* queden vinculadas, como se puede observar en el listado de colisiones:

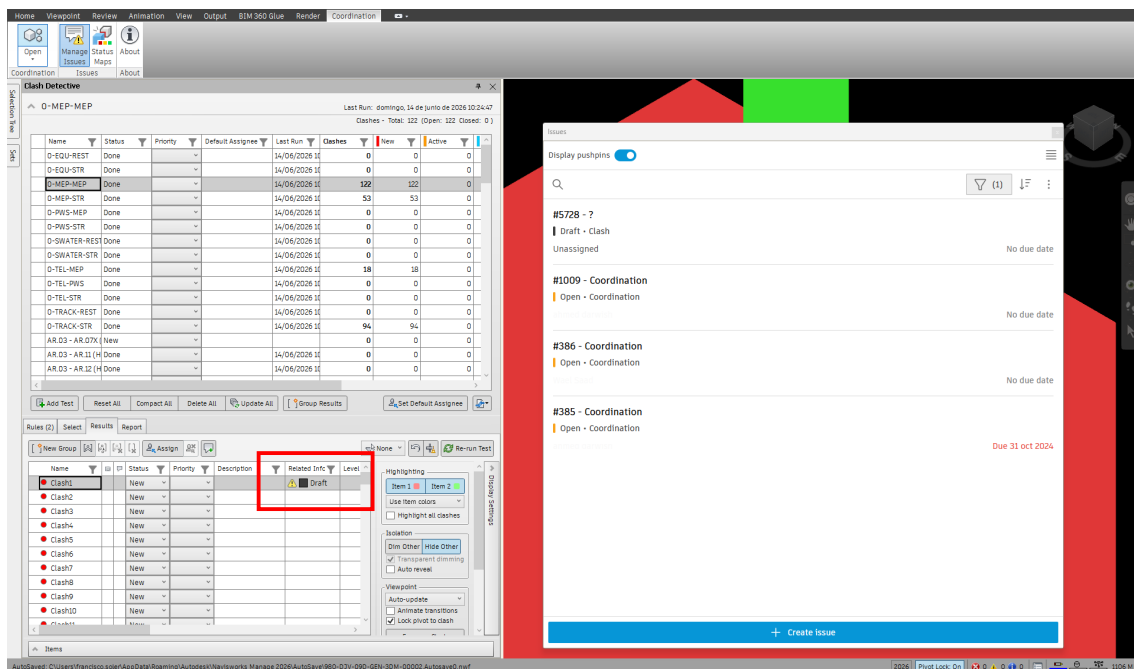


Ilustración 134. Vinculación de colisión con incidencia. Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, la vista abierta es posible ser exportada mediante la opción “Guardando como” lo que permite ser guardada en SHARED de *Data Management* en *formato NWD* para que pueda ser abierta por todos los usuarios.

6.6.4.1 Ventajas

Trazabilidad y control de la información:

Mediante esta metodología, es posible, si se quieren asignar las *incidencias* en el *espacio de coordinación*, realizar tanto la gestión de las *colisiones* e *incidencias* de manera integrada en la vista en *Navisworks*, ya que al estar en un *espacio de coordinación* es posible:

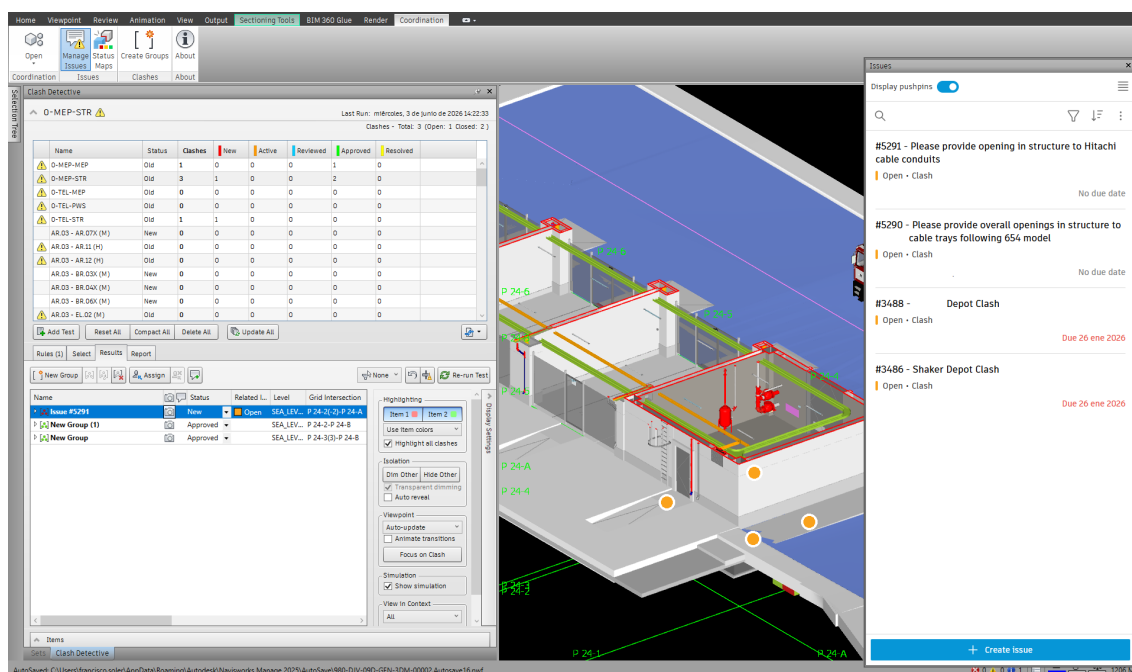


Ilustración 135. Integración de colisiones e incidencias en vistas. Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la Ilustración 135, se muestran las *colisiones* y las *incidencias* de manera simultánea. Así, es posible cerrar *colisiones* cambiando su estatus como “Aproved”, crear *incidencias* vinculándolas a la *colisión*, y cambiar los nombres de las *colisiones* con el nombre de la *incidencia* para dotar de mayor claridad a la información de manera integral.

Además, es posible también cambiar el estatus de las *incidencias*, lo que al estar vinculado con la *colisión* también cambiará respectivamente.

Versatilidad y automatización:

Debido a que están vinculados las *colisiones* con las *incidencias*, si la *colisión* el programa detecta que se ha solventado, inmediatamente pasa a estar solucionada “Resolved” (hasta aquí ya se hacía en el método 1), sin embargo, cuando esto sucede, automáticamente la *incidencia* también desaparece, ya que ha pasado de estar abierta a cerrada. Esto automatiza el proceso de comprobar que la *colisión* se haya cerrado de manera visual y cambiar manualmente la *incidencia* a cerrada.

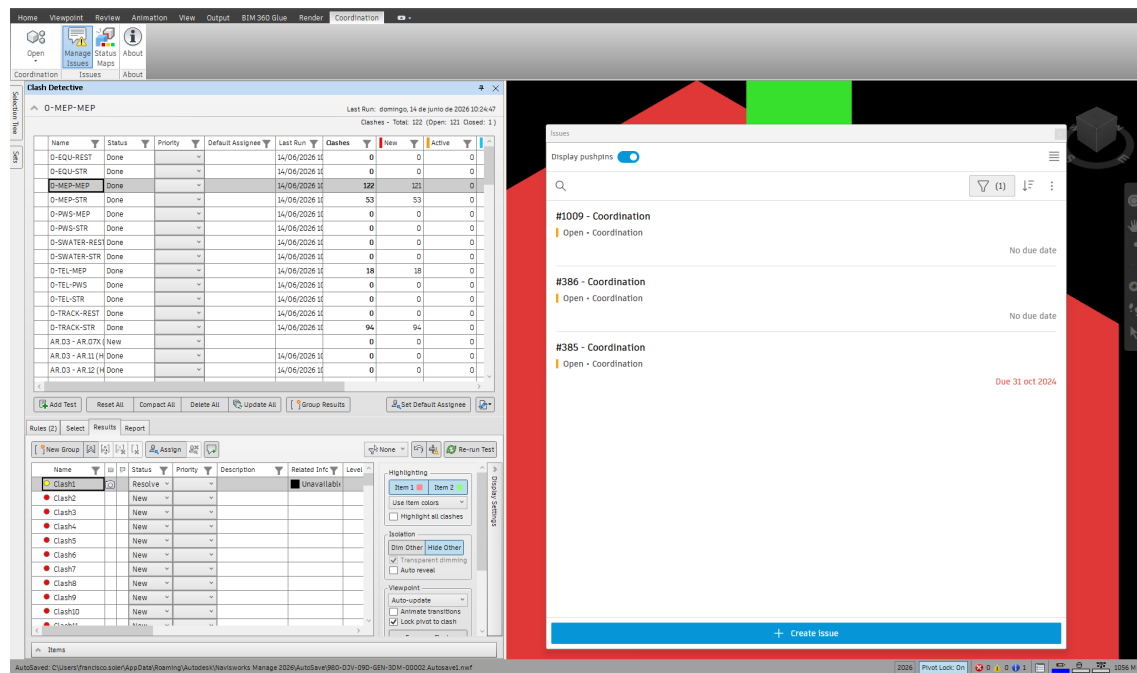


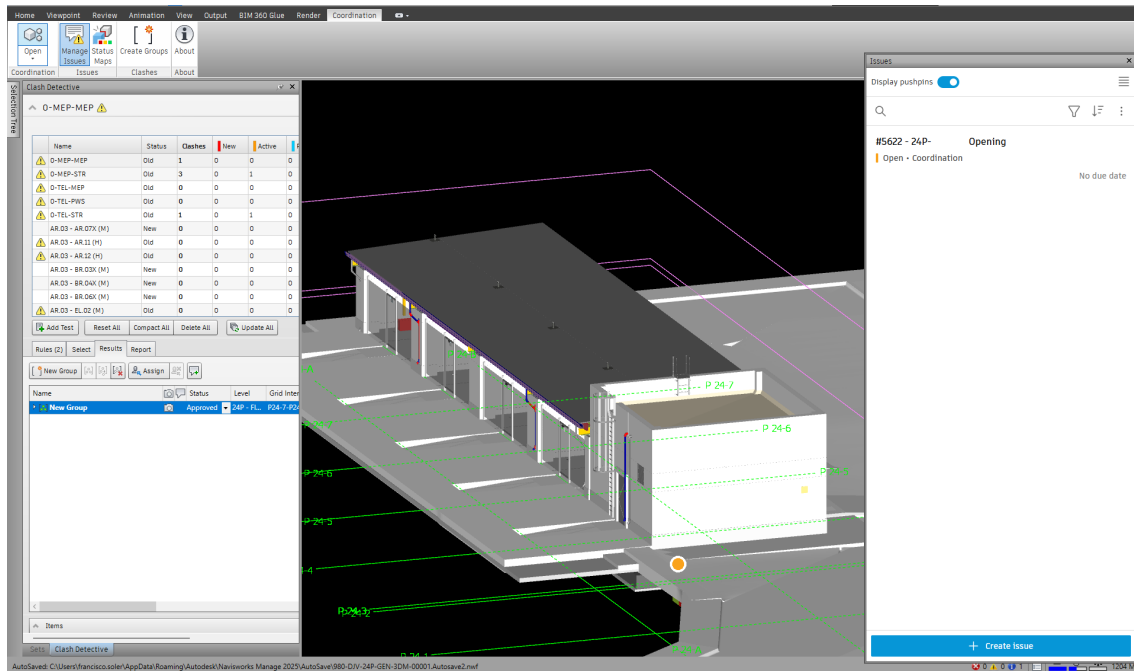
Ilustración 136. Desaparición de incidencia al solucionarse la colisión. Fuente: elaboración propia

6.6.4.2 Desventajas

Control de la información:

Debido a que, al trabajar en un *espacio de coordinación*, existe una barrera entre *Model Coordination* y *Data Management*. Cuando una *incidencia* es creada directamente en la vista mediante *Navisworks*, después al ser guardado el archivo en *Data Management* en la carpeta SHARED en *formato NWD*, automáticamente son borrados todas las *incidencias* creadas.

En la Ilustración 136 mostrada previamente, se puede observar que actualmente están presentes 4 incidencias, sin embargo, cuando se guarda el modelo en *archivo NWD*, se pudo observar que esto cambia:



Il·lustració 137. Cambio de incidencias de vista a archivo NWD. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Il·lustració 137, se ha cambiado de poseer cuatro incidencias a únicamente una, que, además, no presenta relación ninguna de las creadas en la vista del *espacio de coordinación*.

Esto supone una gran desventaja debido a que, si el promotor quiere ver todas las *incidencias* creadas en los modelos, es necesario, o que todos obtengan *Model Coordination*, lo que puede resultar inviable económicamente si la cantidad de usuarios es alta, o que se proceda a realizar todas las *incidencias* en el *archivo NWD* como en el método 1.

Otra de los inconvenientes observados, es que, al vincular las *incidencias* a las *colisiones* mediante *Navisworks 2026*, se pierde el control del estatus de estas. Cuando la *incidencia* es creada, es cuando la *colisión* se encuentra en el estatus de “New,” lo que equivale en la incidencia a borrador (“Draft”), que una vez que es puesto en abierta no es posible volver a ponerla en borrador.

Cuando en posteriores revisiones es actualizada la *lista de colisiones*, las *colisiones* que estaban en nuevo (“New”) pasan a estar en activo (“Active”), lo que equivale en la *incidencia* a que esté en “In progress” cómo es posible observaren la Il·lustració 138:

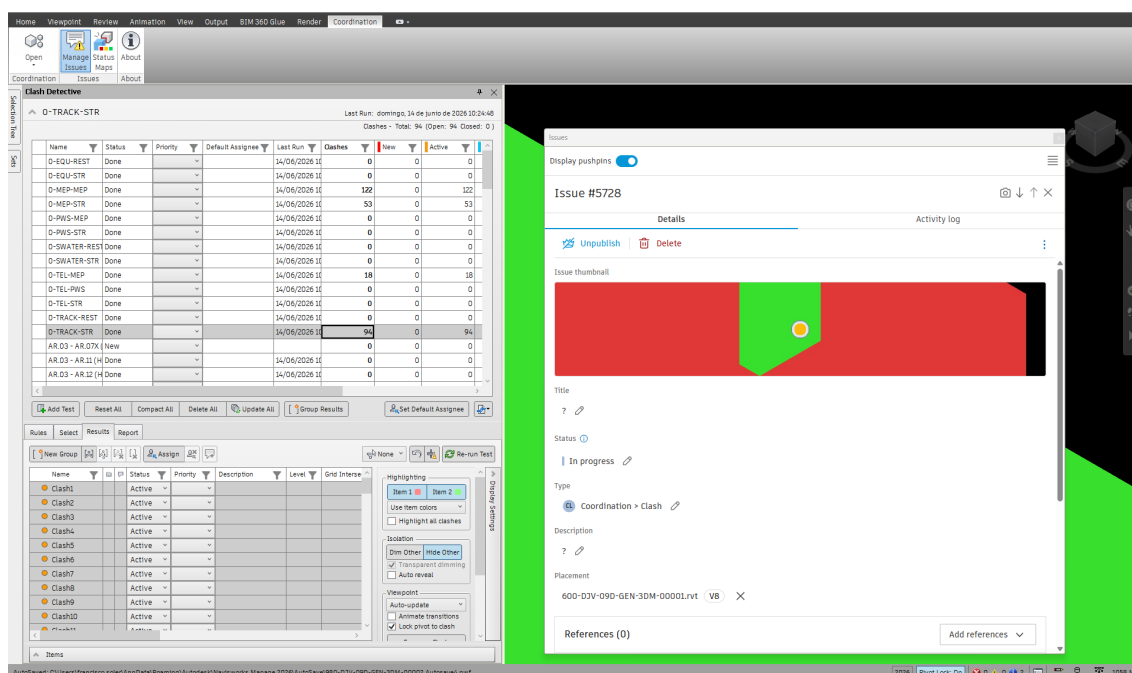


Ilustración 138. Cambio de “Open” a “In Progress” en incidencias por actualización de colisiones. Fuente: elaboración propia

Esto ocasiona que se pierda el control de estas, ya que, quien debería cambiar el estado a “In progress” debería ser el responsable asignado de la *incidencia*, no el que actualiza la *lista de colisiones*. Y si se quiere que la *incidencia* cambie de nuevo a abierta, al estar vinculada, el estatus de la *colisión* cambiaría de nuevo a “New”, lo que crea confusión, ya que la *colisión* no es nueva y no habría que revisarla de nuevo.

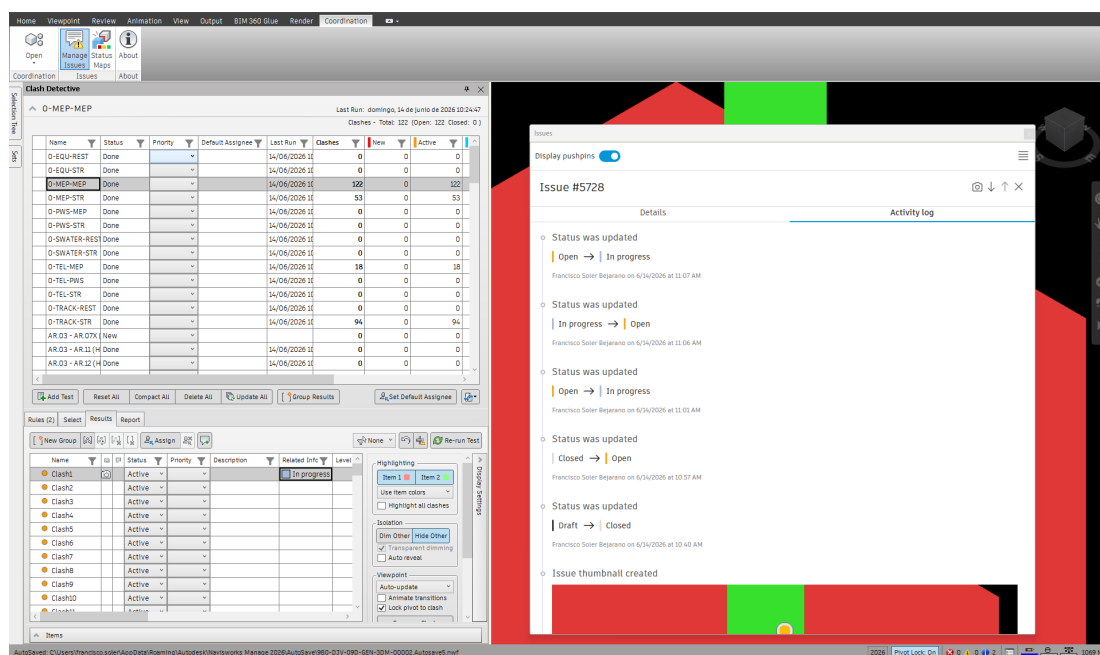


Ilustración 139. Cambio continuo de estatus de la incidencia. Fuente: elaboración propia

En la foto mostrada, se hizo una prueba con una *incidencia* vinculada, y al ser cada vez abierto el modelo y actualizado la *lista de colisiones*, se cambia el estatus de la incidencia de nuevo de “Open” a “In progress” y se cambia de nuevo a “Open” para que tuviera concordancia el estatus. Como se puede observar, se van cambiando de estatus cíclicamente de “Open” a “In progress” y viceversa, lo que cada cambio de estatus crea una nueva notificación al responsable de la *incidencia* creando grandes confusiones al respecto.

6.6.4.3 Análisis multicriterio

Con las ventajas y desventajas expuestas anteriormente, se procederá a la evaluación de cada uno de los criterios del análisis multicriterio:

- **Tiempo de ejecución (T): 3**
 - o **Justificación:** debido a que, si se quiere organizar las *colisiones*, se podría hacer, pero desde la vista, y si se quiere dejar constancia de que *colisión* tiene tal incidencia, habría que ir cambiando entre ambos archivos, ya que las *incidencias* creadas en la vista no se pueden ver en el *archivo NWD* si las quiere consultar el promotor.
- **Nivel de automatización (A): 3**
 - o **Justificación:** si se realizaran todas las *incidencias* en la vista, se conseguiría un alto nivel de automatización ya que las *colisiones* y las *incidencias* son vinculadas, pero si el promotor quiere observar la *incidencia* se pierde dicha ventaja.
- **Trazabilidad de la información (Ti): 4**
 - o **Justificación:** debido a que, de manera integral, no es posible llevar un control de cada una de las *incidencias* con sus respectivas *colisiones* si se quiere que todos los usuarios tengan acceso. Siendo para realizarlo ir cambiando entre los diferentes tipos de archivos.
- **Calidad de la información (Ci): 5**
 - o **Justificación:** las *colisiones*, aunque de manera manual, es posible ser cambiadas de estatus, lo que conlleva una mejora sustancial de

la calidad y seguimiento de las *colisiones* creadas, aunque no estén vinculadas con las *incidencias*.

- **Escalabilidad (E): 5**

- o **Justificación:** no hay limitación en la creación de *incidencias* por parte de la plataforma.

Cálculo de la puntuación ponderada:

A continuación, se procederá con el cálculo de la puntuación mediante la obtención de los criterios y los pesos obtenidos previamente:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i = 0,25 * 3 + 0,2 * 3 + 0,15 * 4 + 0,2 * 5 + 0,1 * 5 = 3,45$$

Como se puede observar, se presenta como una solución adecuada. Esto es debido a que, si por requisitos del promotor, es necesario que se puedan ver las incidencias en *Data Management*, se pierde las ventajas que han sido comentadas, pero presenta una gran ventaja en el caso de que el promotor u otros usuarios no sea necesario que posean acceso a dichas incidencias pudiendo realizarlas directamente en las vistas.

6.6.5 Conclusiones

Análisis de metodologías:

A continuación en la Tabla 5, se recoge los resultados de las puntuaciones obtenidas mediante el análisis de los tres métodos, mediante el método tradicional a través de *Navisworks* con archivos de *Data Managemet* (Método 3.1), mediante el visor de Interferencias de *Model Coordination* a través de los *espacios de coordinación* (Método 3.2) y finalmente la combinación del uso de *Navisworks* con las vistas creadas para la *federación de modelos* en *Model Coordination* a través de los *espacios de coordinación* (Método 3.3):

Tabla 5. Resultados estudio federación de modelos. Fuente: elaboración propia

Rango de puntuación	Pesos (wi)	Método 3.1	Método 3.2	Método 3.3
Tiempo de ejecución	0,25	3	5	3
Nivel de automatización	0,20	2	4	3
Trazabilidad de la información	0,15	2	1	4
Calidad de la información	0,20	5	3	5
Escalabilidad	0,10	5	5	5
Suma ponderada		2,95	3,80	3,45

Como se puede observar en la Tabla 5, el método 3.3, basado en la utilización de *Navisworks* apoyado en las vistas generadas desde *Model Coordination*, se posiciona como la alternativa óptima entre las metodologías evaluadas. Ello se justifica por su capacidad de integrar las ventajas propias de ambos entornos, combinando las herramientas y la versatilidad de *Navisworks* con las capacidades de coordinación en la nube proporcionadas por *Autodesk Construction Cloud*. De este modo, se establece un flujo de trabajo híbrido que mejora significativamente el rendimiento global frente a las soluciones que funcionan de manera aislada.

Por un lado, *Navisworks* permite explotar al máximo las herramientas avanzadas de detección y gestión de colisiones con la definición de conjuntos de selección (sets) y la clasificación de *interferencias*. Asimismo, facilita el análisis de las *colisiones* mediante la agrupación, filtrado y asignación de estados, lo que permite llevar a cabo una mejor gestión del ciclo de vida de las incidencias.

Adicionalmente, la integración con los *espacios de coordinación* permite, si las exigencias del promotor las permite, aprovechar funcionalidades propias del entorno cloud, como la capacidad de crear *incidencias* directamente en las vistas, lo que mejora la conexión entre la gestión de las colisiones y la gestión de las incidencias de manera integral.

En comparación, el método 3.1 (*Navisworks* en local) ofrece un alto nivel de control y funcionalidad, pero presenta limitaciones en cuanto a actualización de modelos y gestión de *colisiones*, mientras que el método 3.2 (*Model Coordination*) mejora notablemente estos aspectos colaborativos, pero aún se encuentra limitado en profundidad de análisis y personalización de las *colisiones*.

6.7 Propuestas de flujos integrales

El presente apartado tiene como finalidad sintetizar todas las metodologías que se han aplicado en los presentes estudios de alternativas para establecer los flujos finales propuestos para todo el ciclo, desde la gestión de *federados*, la creación de *colisiones* hasta la gestión de *colisiones* e *incidencias*.

6.7.1 Establecimiento de métodos integrales

Debido a que se han llegado a establecer tres metodologías en el estudio de gestión de *colisiones* e *incidencias*, serán finalmente también establecidas tres metodologías para la gestión integral de la *metodología BIM*, siendo las tres metodologías o flujos de trabajo los expuestos a continuación.

La primera de ellas, nombrada “Método integral 1”, será llevada a cabo mediante la integración de los diferentes métodos de los estudios de alternativas 1.1, 2.1 y 3.1, correspondiendo a la rama tradicional de los flujos de trabajo mediante el uso de programas locales y constituyendo el actual flujo de trabajo utilizado en el proyecto, como es posible observar en la Ilustración 140 del diagrama general:

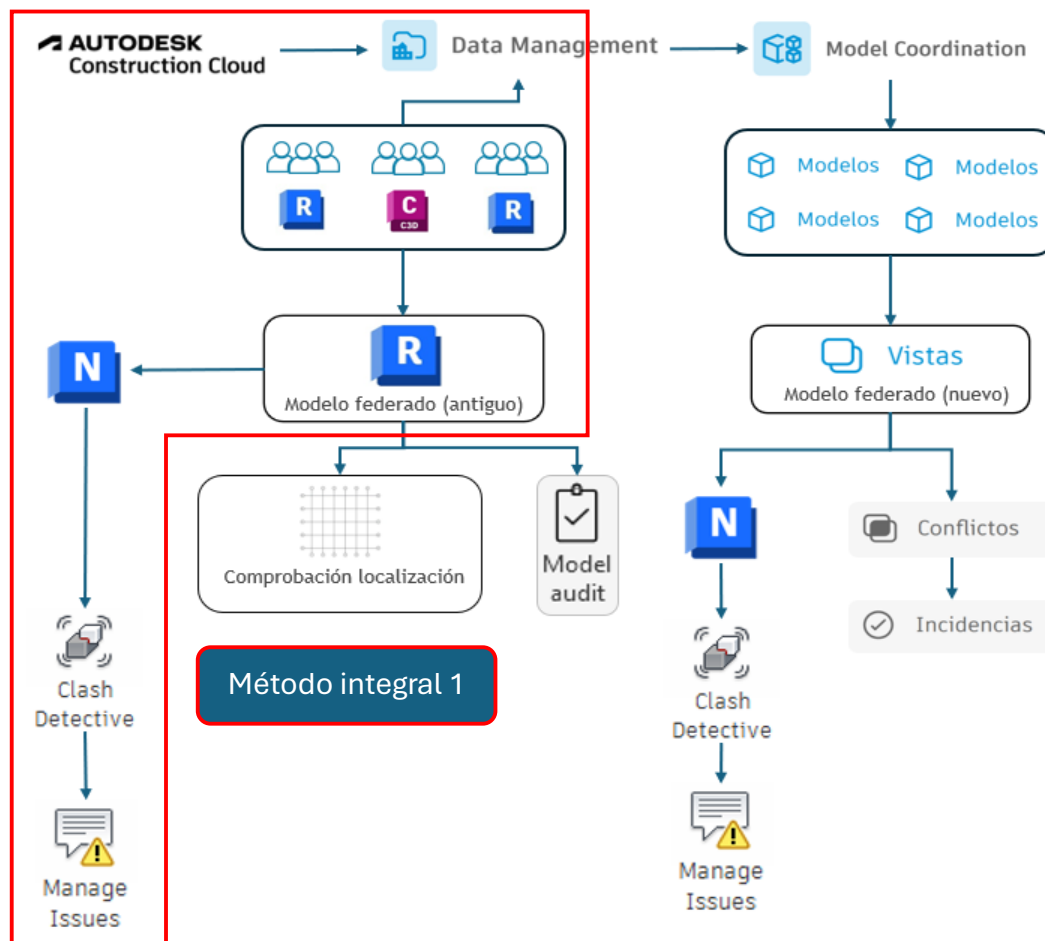


Ilustración 140. Metodología integral 1 en el diagrama general de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

El segundo de ellos, nombrado “Método integral 2” será llevado a cabo mediante la integración de los métodos de los estudios de alternativas 1.2, 2.2 y 3.2, correspondiendo a la rama más actual de los flujos de trabajo y que constituye el uso integral de la plataforma de ACC mediante el uso del módulo *Model Coordination* para toda la metodología, como es posible observar en la Ilustración 141 del diagrama general:

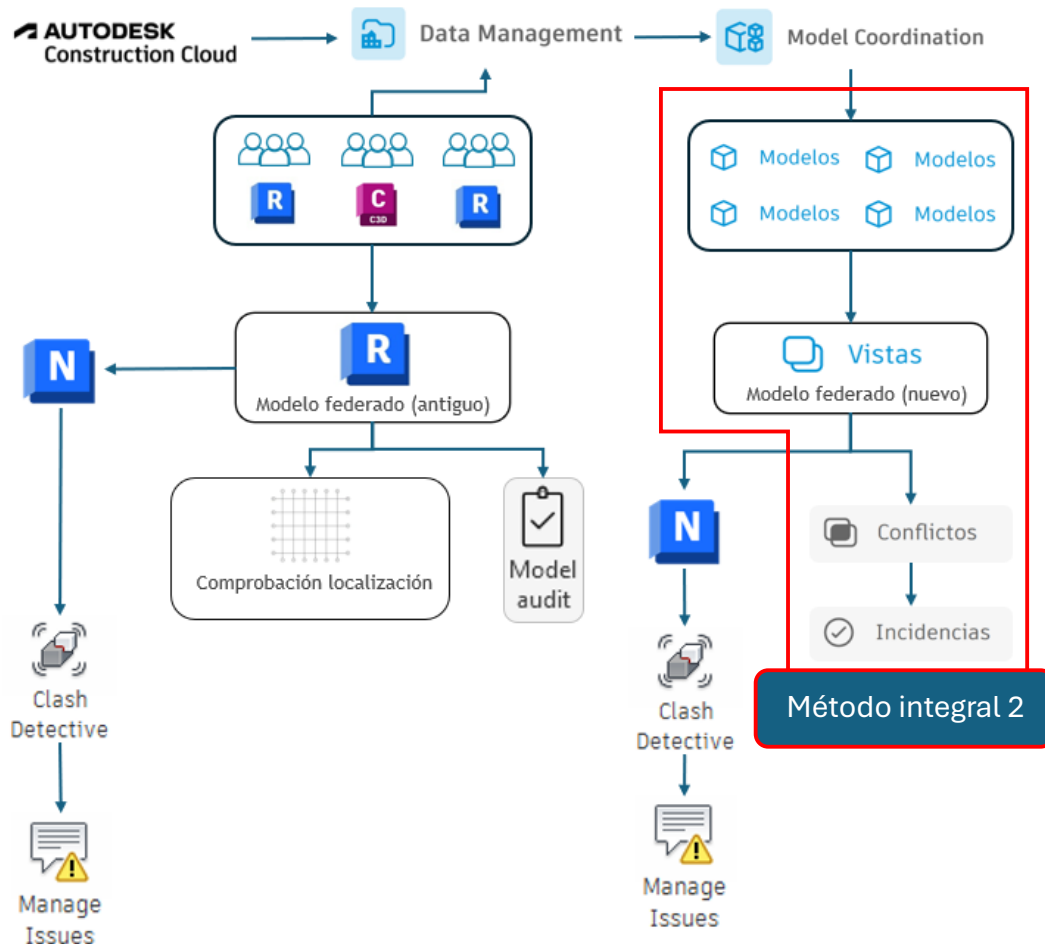


Ilustración 141. Metodología integral 2 en el diagrama general de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

El tercero y último de ellos, nombrado “Método integral 3” será llevado a cabo mediante la integración de los métodos de los estudios de alternativas 1.2, 2.2 y 3.3, correspondiendo a la combinación del uso de *Model coordination* de ACC para la creación y gestión de los *modelos federados* junto con el uso del programa *Navisworks* para la creación y gestión de las *colisiones* e *incidencias*. Esta alternativa constituya una hibridación de los dos flujos de trabajo integrales mencionados anteriormente, siendo el mostrado en la Ilustración 142 del diagrama general:

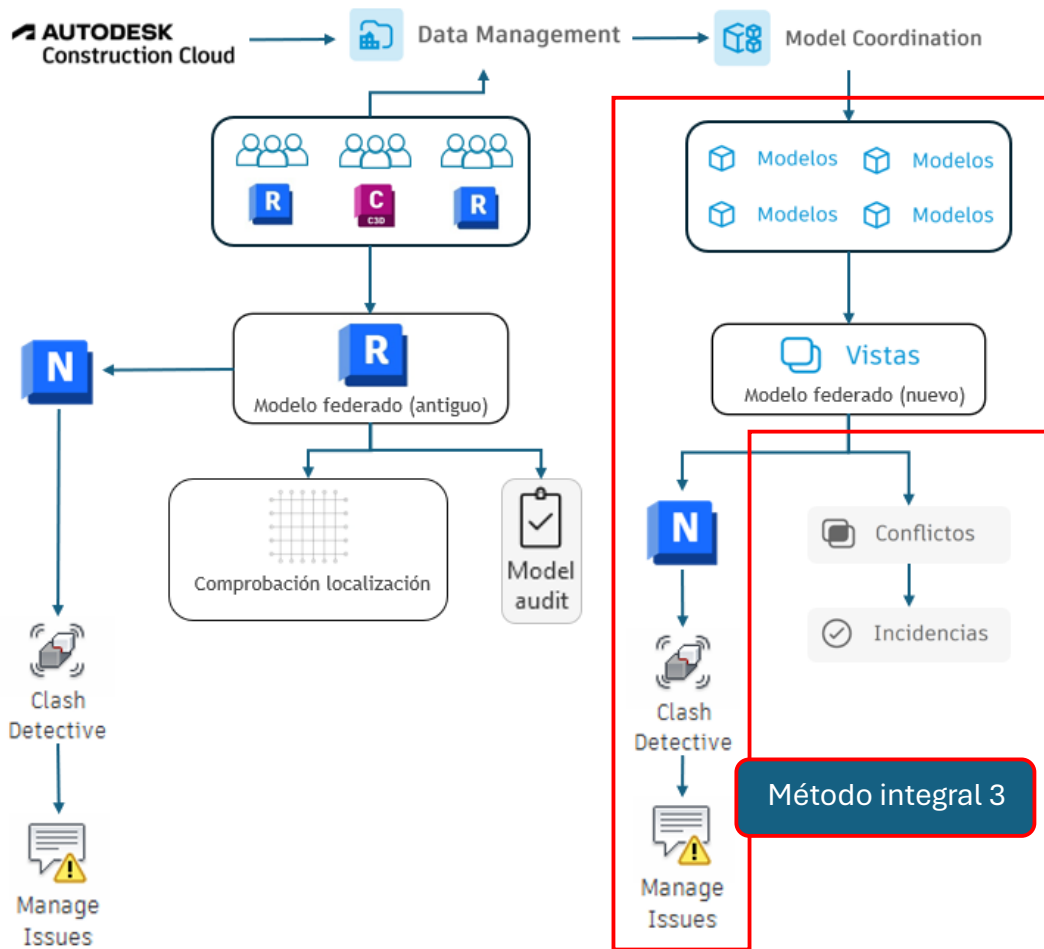


Ilustración 142. Metodología integral 3 en el diagrama general de flujos de trabajo en el nuevo metro de Alejandría. Fuente: elaboración propia

6.7.2 Resultado de puntuaciones

Para establecer la puntuación de cada una de las metodologías integrales, dicho valor se determinará a partir de la suma de las puntuaciones individuales correspondientes a cada una de las metodologías parciales que las integran. Este procedimiento permite obtener una visión global y comparativa de cada alternativa, considerando de forma conjunta todos los aspectos relevantes analizados. En este sentido, se ha decidido asignar el mismo peso relativo a cada uno de los procesos que intervienen en la definición de los estudios de alternativas, garantizando así un tratamiento homogéneo y equilibrado de todos los criterios evaluados, sin que ninguno de ellos predomine sobre los demás. Asimismo, dado que cada una de las puntuaciones individuales se encuentra definida en una escala de base 5, la agregación de estas dará lugar a una puntuación total expresada en base 15, lo que facilita la interpretación y comparación de los resultados obtenidos entre las distintas metodologías integrales.

A continuación, en la Tabla 6, en consecuencia, se procederá al cálculo y a la presentación de la suma de los distintos métodos que componen cada una de las metodologías integrales previamente establecidas, mostrando los resultados alcanzados en cada caso:

Tabla 6. Puntuación de metodologías integrales. Fuente: elaboración propia

Rango de puntuación	MI 1	MI 2	MI 3
Creación y gestión de federados	2,70	3,20	3,20
Creación de colisiones	3,65	3,15	3,65
Gestión de colisiones e incidencias	2,95	3,80	3,45
Resultados	9,30	10,15	10,30

Como se puede observar en los resultados obtenidos, se presenta puntuaciones muy similares entre todas las alternativas, yendo desde 9,3 de la alternativa integral 1, pudiéndola considerar como la menos completa de todas, hasta los 10,3 de la alternativa integral 3, pudiéndola considerar la metodología más completa. Aun así, la diferencia de puntuaciones supone una diferencia menor al 10% entre cada una de las alternativas lo que supone que no es posible establecer una única ganadora, además de que cada una presenta particularidades que se han de tener en cuenta.

7 Conclusiones

7.1 Elección de alternativa integral única

Como se ha podido establecer en el apartado anterior 6.7.2, la metodología integral que engloba de forma más completa la gestión global de los *modelos federados*, así como la detección de *colisiones* y la posterior gestión de dichas *colisiones* e *incidencias*, resulta ser el método integral 3 por la puntuación obtenida. Por ello, si fuera necesario emplear únicamente una de las 3 metodologías para cualquier proyecto de ingeniería civil sería la mencionada previamente. Esta conclusión se debe, fundamentalmente, a que dicho método combina y aprovecha las principales ventajas que ofrecen las dos metodologías base que lo componen, es decir, el método 1 (basado en el uso exclusivo de *Revit* y *Navisworks*) y el método 2 (centrado en el uso exclusivo de *Model Coordination*).

En primer lugar, el uso de *Model Coordination* aporta una mejora significativa en la fase de generación y gestión de los *modelos federados*. Esto es debido a que permite su creación de una manera mucho más ágil y eficiente, eliminando la necesidad de descargar individualmente cada uno de los modelos de las distintas disciplinas, como ocurre en el caso del método integral 1 con *Revit*. En su lugar, *Model Coordination* utiliza directamente los modelos publicados en la nube, gestionándolos de forma instantánea a través de los *espacios de coordinación* previamente configurados. Esto no solo reduce considerablemente los tiempos de trabajo, sino que además facilita la sincronización entre disciplinas. No obstante, esta ventaja se ve parcialmente contrarrestada por una ligera pérdida de control detallado sobre los *modelos federados*, especialmente a la hora de realizar ciertas correcciones específicas o ajustes finos.

En segundo lugar, la integración con *Navisworks* para la detección de *colisiones* representa otro de los puntos clave del método integral 3. El uso de la herramienta “*Clash Detective*”, apoyándose en las vistas generadas desde *Model Coordination*, permite evitar la necesidad de exportar los *modelos federados* en *formato NWC*, como sí sucede en el método integral 1. Este hecho supone un ahorro considerable de tiempo y recursos, especialmente en proyectos con múltiples iteraciones. Además, la actualización de las vistas de los *modelos federados* se produce de manera automática en *Model Coordination*, lo que garantiza que los análisis de colisiones se realicen siempre sobre la información más reciente disponible, sin requerir intervención manual.

Adicionalmente, el empleo de *Navisworks* proporciona un entorno mucho más robusto y especializado para la selección y gestión de los elementos implicados en los análisis de colisiones. Las herramientas avanzadas de selección, filtrado y organización de conjuntos permiten definir con mayor precisión los criterios de

análisis, lo que repercute directamente en la calidad de los resultados obtenidos. Esta característica supone una clara ventaja frente al método integral 2, en el cual las opciones disponibles dentro de *Model Coordination* para este tipo de tareas son notablemente más limitadas, reduciendo así la flexibilidad y profundidad del análisis.

Por último, en lo que respecta a la gestión de *colisiones* e *incidencias*, el método integral 3 destaca de manera significativa frente a las otras dos alternativas. La posibilidad de trabajar de forma integrada dentro de las vistas de *Model Coordination*, pero apoyándose en las capacidades de gestión de *Navisworks*, permite llevar a cabo un seguimiento mucho más exhaustivo y coordinado. Esto facilita no solo la identificación de conflictos, sino también su trazabilidad, asignación y resolución. Asimismo, la opción de vincular *colisiones* con *incidencias*, especialmente en versiones recientes como *Navisworks 2026*, refuerza aún más el control del proceso, aunque, como ya se ha mencionado anteriormente, esta funcionalidad puede presentar ciertas limitaciones o inconvenientes.

Sin embargo, debido a la diferencia mínima entre las diferentes alternativas estudiadas, no se puede establecer una única solución válida para todos los proyectos de ingeniería civil, ya que cada una de las alternativas presenta numerosas ventajas y desventajas que han de tomarse en cuenta.

Finalmente, cabe mencionar, que, si se quiere realizar controles de calidad de los modelos, tanto para comprobar el posicionamiento de los modelos como la auditoría de estos, actualmente la única manera viable para realizarlo resulta ser mediante *Revit*. Esto supone que, independientemente de la metodología que se emplee, la *federación de los modelos* en *Revit* será necesaria realizarla, con los problemas de tiempo que acarrea la abertura de estos. Sin embargo, el control de los modelos no se suele realizar con demasiada recurrencia, especialmente la auditoría de los modelos, por ello el impacto que pueda presentar en el proyecto resulta ser bastante limitado.

7.2 Ámbito de aplicación de cada alternativa

De manera general, mediante algunas suposiciones realizadas en los estudios de soluciones, se ha establecido que la mejor metodología para una aplicación general, si únicamente se tuviera que escoger una, resulta ser la metodología integral 3 con el uso combinado de *Model Coordination*, *Revit* y *Navisworks*. Sin embargo, a continuación, se dictaminarán la mejor aplicación para cada una de las metodologías integrales.

Metodología integral 1:

En proyectos de gran magnitud, donde se subcontrata gran parte del proyecto, sigue siendo necesario aplicar la metodología integral 1 con el uso de programas tradicionales, aunque ello conlleve la pérdida de una gran cantidad de tiempo en ello, como es el caso del proyecto en cuestión.

Esto es debido a lo que ha sido comentado a lo largo del documento. En estos proyectos, el control de la información es la parte fundamental y más crítica, debido a que es necesario que todo sea lo más claro y coordinado posible y no haya elementos que puedan causar confusiones y duplicidades, lo que conllevaría una gran cantidad de recursos y tiempo en ello. Si no es así, las consecuencias de posibles errores pueden causar grandes problemas en obras, produciendo grandes sobrecostes y muchas veces la necesidad de realizar modificaciones por la inviabilidad de estos.

Adicionalmente, la capacidad de escalabilidad y uso de herramientas más potentes y especializadas de dicha alternativa permite que cualquier proyecto sea posible llevarlo a cabo con ella, ya que la cantidad de modelos que se presenten no supone problema alguno en la gestión de los mismos, mientras que en la metodología integral 2, solamente sería posible generar 20 *modelos federados* si se quisiera realizar la gestión de las *colisiones e incidencias* con ellos a través de los *espacios de coordinación*.

Metodología integral 2:

En proyectos pequeños, donde normalmente se realizan íntegramente por una única compañía, es posible realizarlo mediante la metodología integral 2 con el uso de herramientas más innovadoras e íntegramente en la nube.

Esto es debido a que, al ser la comunicación en el entorno interno de la empresa, el control de los modelos se puede realizar de una manera más eficiente, además de que, son proyectos de menor magnitud, es posible sacrificar parte del control de este por un aumento de la eficiencia mediante la reducción del tiempo que supone la coordinación con el uso de *Model Coordination*. Además, las consecuencias de los problemas que puedan surgir en obras podrán ser solucionados más fácilmente en obra o incluso en el mismo proyecto ya que la cantidad de modelos a revisar es sustancialmente menor.

Finalmente, en proyectos de pequeña envergadura donde el presupuesto es limitado, el uso de múltiples programas o herramientas no está justificada, por ello el uso de una única herramienta en la nube, como puede ser ACC a través de

sus módulos, puede resultar en una opción más viable económicamente hablando.

Metodología integral 3:

En proyectos intermedios, donde la velocidad de aplicación y uso de herramientas potentes son factores importantes, la metodología integral 3 resulta como la opción más viable y versátil.

Esto es debido a que la gestión de los *modelos federados* es posible realizarlos mediante *Model Coordination*, ya que, al no ser un proyecto de gran magnitud, aún es posible controlar que las vistas sean creadas correctamente sin duplicidades de otros modelos de las demás disciplinas. Además, la creación de *modelos federados* no presenta tantas limitaciones como el método integral 2 ya que la creación de vistas en *Model Coordination* permite todas aquellas que se quiera ya que las colisiones se generan a partir de *Navisworks*, eso sí, con graves problemas de rendimiento si se sobrecarga de ellas.

Adicionalmente, la posibilidad del uso de *Navisworks* a través de las vistas permite una gestión en profundidad de las *colisiones e incidencias* ya que es posible el uso de todas las herramientas que presenta, lo que permite, además, al estar las vistas en un *espacio de coordinación*, más versatilidad en la creación de *incidencias*.

7.3 Resumen de aplicación

En base a lo expuesto, se puede concluir que:

Metodología 1 (Revit y Navisworks local): recomendada para proyectos complejos, de gran envergadura y con alta participación de agentes externos, donde el control es prioritario.

Metodología 2 (Model Coordination): adecuada para proyectos pequeños o con baja complejidad, donde prima la rapidez y la automatización.

Metodología 3 (enfoque híbrido): solución óptima en términos generales, especialmente en entornos intermedios o como modelo de transición hacia entornos colaborativos más avanzados.

Este enfoque permite adaptar la metodología de trabajo a las necesidades específicas de cada proyecto, garantizando un equilibrio entre control, eficiencia y capacidad de coordinación.

8 Propuestas de mejora

Como se ha podido observar, cada una de las metodologías expuestas presentan tanto puntos positivos como negativos, lo que conlleva en muchos casos y según las exigencias y características del proyecto, a recurrir a una metodología en lugar de otra. A continuación, se pretende mostrar los principales inconvenientes y que cambios mejorarían significativamente el proceso de coordinación, en este caso de la metodología integral 3, por ser la más completa y con mayor puntuación considerando que es la que más potencial presenta de todas ellas.

8.1 Principales inconvenientes

Como se ha podido observar, se ha determinado que la mejor opción dentro de la *metodología BIM* para la gestión integral de todos los procesos nombrados a lo largo de este análisis resulta ser el método integral 3. Antes esta situación, uno podría preguntarse. ¿Entonces por qué no se ha aplicado dicho flujo de trabajo general en el proyecto? Esto es debido a algunas de las suposiciones que se han llevado a cabo a lo largo de los estudios y que presentan serios inconvenientes.

8.1.1 Gestión de vistas

El primero de ellos, es que, en general, todas las disciplinas realizarán correctamente las vistas “Export NWC” necesarias para que sean extraídas de los modelos por el módulo de *Model Coordination* en los *espacios de coordinación*. Esto, en ciertos proyectos de gran envergadura puede resultar un gran problema como es el caso en cuestión, debido a que, para abarcar todo el proyecto, es necesario la subcontratación de muchas de las disciplinas que lo engloban.

Debido a esto, la comunicación y coordinación con las empresas subcontratadas se resiente, ya que la comunicación interna dentro de una empresa suele ser mucho más efectiva que entre empresas, cada una con sus propios objetivos. Debido a esto, el hecho de gestionar una gran amplitud de modelos con una gran variedad de empresas convierte en inmanejable el control de todos los modelos.

En cuanto a la creación de los *modelos federados*, no suele ser un gran problema que la información de los modelos esté duplicada de cada una de las disciplinas. A la hora de chequear los modelos visualmente no supone diferencia alguna, como es posible observar en la Ilustración 143:

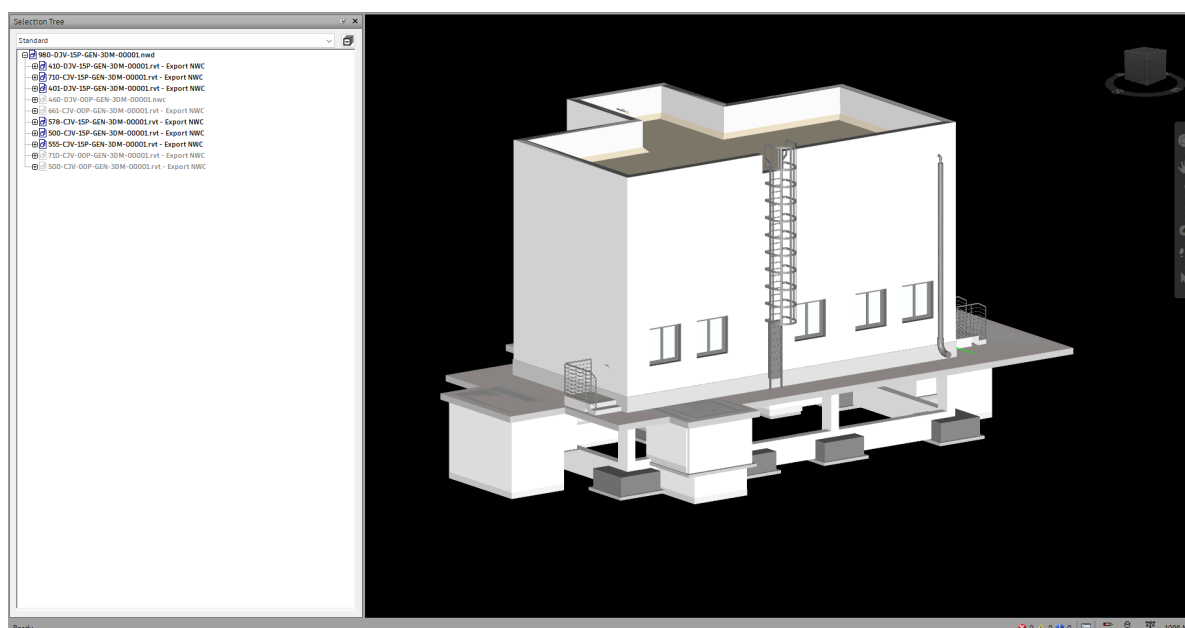


Ilustración 143. Visualización de edificio con modelos vinculados. Fuente: elaboración propia

8.1.2 Gestión de colisiones

Sin embargo, cuando se quiere realizar la creación de *colisiones* y se les aplican colores a los diferentes modelos dentro del *modelo federado* se puede observar la duplicidad de los modelos. En este caso está el de arquitectura y estructura duplicado en otros modelos, en este caso en el modelo 555 de contraincendios que se ha establecido en rojo y el 578 de saneamiento que se ha establecido en azul.

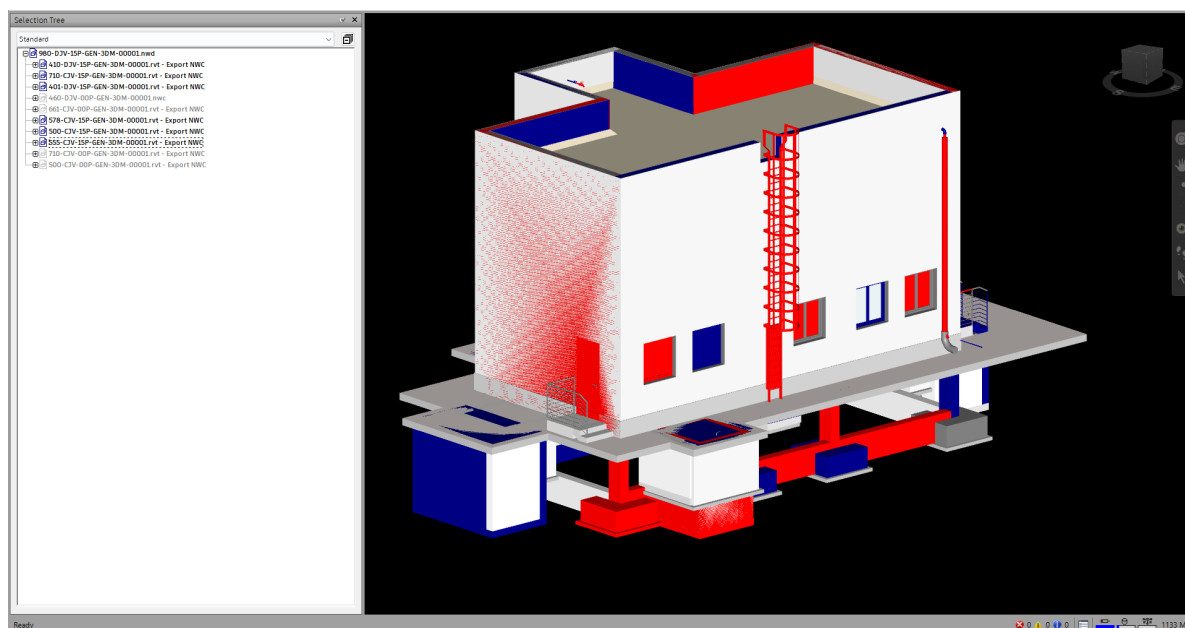


Ilustración 144. Visualización de edificio con colores con modelos vinculados. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Ilustración 144, esto causa gran confusión en el análisis visual del edificio, ya que en un mismo elemento hay tantos elementos como modelos duplicados y si se le aplica los colores, como en el modelo mostrado anteriormente, se puede observar un efecto realmente molesto, como en la fachada izquierda del edificio. Además, que si se quiere seleccionar algún elemento no se sabe muy bien cual se está seleccionando, si el elemento que quieres, o los duplicados de otro modelo. Para ello, cuando el elemento es seleccionado se puede ir al *árbol de selección* donde se resalta el elemento seleccionado y ver de qué modelo es, pero resulta muy frustrante tener que hacerlo cada vez que quiere seleccionar un elemento.

Otro problema aún más grave viene especialmente cuando los modelos duplicados, al tener vinculados los modelos de las demás disciplinas el de los demás, no estén vinculados con las últimas versiones. Esto crea un grave problema, ya que en un mismo modelo se presenta varias versiones de un mismo modelo, lo que supone también una gran confusión ya que no se sabe visualmente cual es el modelo más actualizado, como se puede observar en la Ilustración 145:

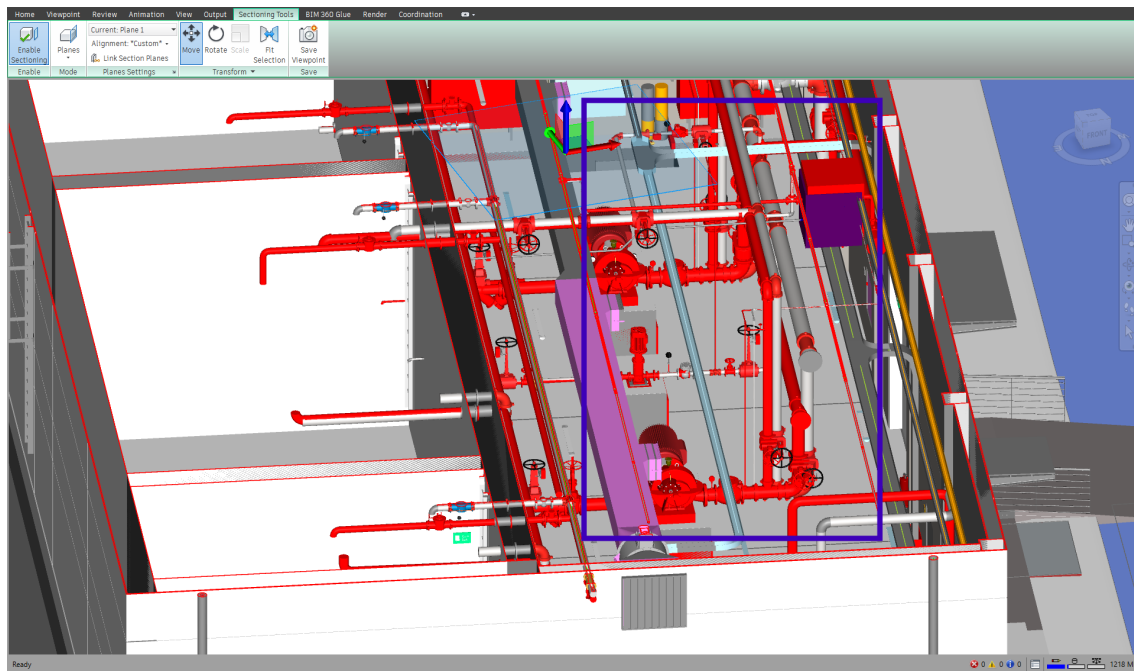


Ilustración 145. Duplicación de modelos con diferentes versiones. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, al modelo 555 de contraincendios se le ha aplicado un color rojo, pero se puede observar que se presentan conductos inmediatamente adyacentes de color gris y rojo. Esto es debido a que el modelo 410 de arquitectura lo presenta vinculado además de muchos otros, como el 550 de ventilación en rosa

y el 710 en verde de telecomunicaciones, que se puede ver con una mezcla de colores con grises. Esto crea las duplicidades que se pueden observar en la imagen, lo que crea graves problemas en el *modelo federado* si se quiere analizar visualmente el estado de este.

Además, de que, como ya se comentó en las desventajas de esta metodología de *federación de los modelos*, es la cantidad ingente de colisiones que son creadas con estos modelos, ya que los modelos vinculados dentro del modelo también cuentan como elementos que colisionan con otros modelos, lo que provoca la creación desmesurada de *colisiones*.

Si volvemos al modelo de la Ilustración 143, el cual presenta dentro del modelo 401 de estructuras también el modelo de arquitectura se puede observar si creamos las *colisiones* que, como se ha mencionado, se crearán una gran cantidad de *colisiones*:

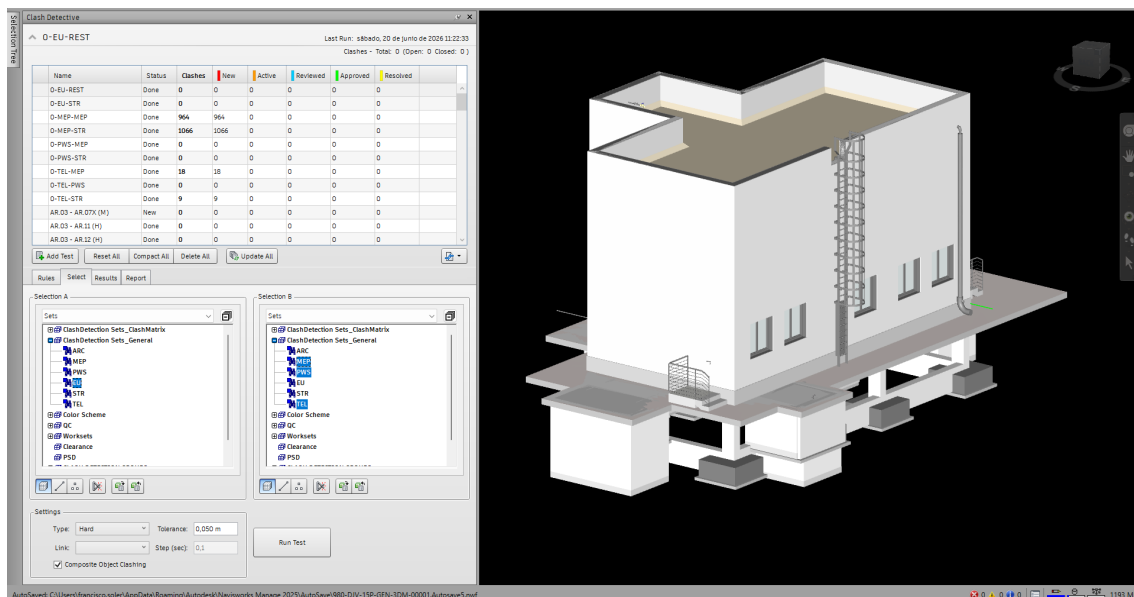


Ilustración 146. Creación excesiva de colisiones por modelos vinculados. Fuente: elaboración propia

8.1.3 Compatibilidad de incidencias

Adicionalmente, cabe mencionar, que, si se quisiera debido a que el proyecto está en una fase más madura con todos los problemas anteriores mencionados solventados emigrar la metodología, en este caso, de la metodología integral 1 a la metodología integral 3, no sería posible. Esto es debido a que al no ser creados los *modelos federados* de la misma manera, las *incidencias* que contienen los *modelos federados* en *formato NWD* no se conservan, lo que supondría una pérdida considerable de información al no mantener gran parte de la coordinación que se

habría hecho hasta la fecha, teniendo que volver a empezar de nuevo con lo relativo a las *incidencias*.

En el proyecto en cuestión, con el caso contrario mencionado previamente, se quiso probar hacer cierta cantidad de edificios mediante la metodología integral 3 para saber si sería manejable, pero debido a los problemas que se generan, se está pensando en volver a la metodología integral 1.

Para probar si ello era posible sin la pérdida de las *incidencias*, se probó a generar una *incidencia* en uno de los *modelos federados* realizados con *Model Coordination* que no contuviera aún ninguna incidencia por su desarrollo aun temprano del mismo, para no ocasionar problemas en él, coincidiendo con el mismo que se ha mostrado anteriormente, como es posible observar en la Ilustración 147:

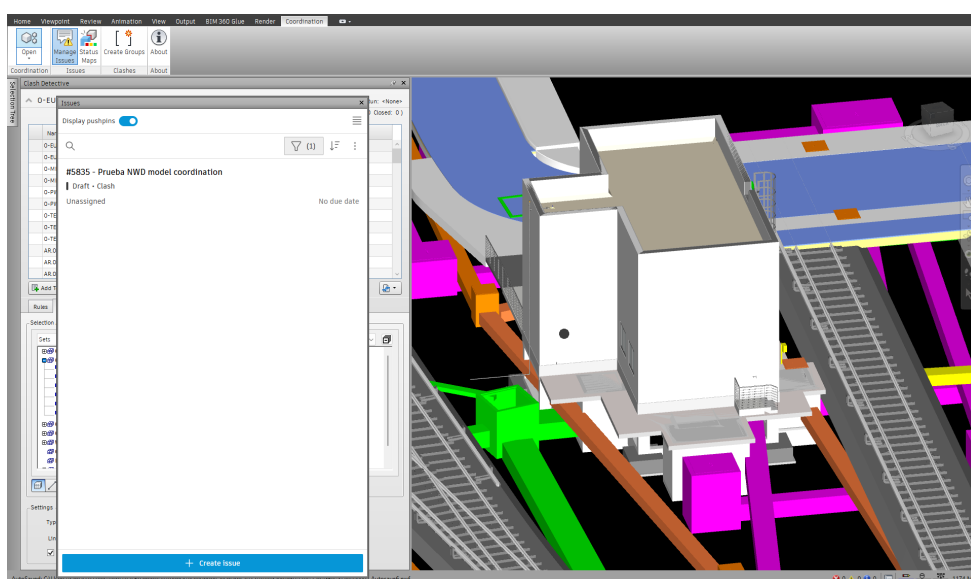


Ilustración 147. Prueba de incidencia en modelo de Model Coordination. Fuente: elaboracion propia

Posteriormente, se elaboró paralelamente el mismo modelo, pero en este caso mediante *Revit* con los mismos modelos que presenta el modelo en *Model Coordination* pero con el método para la creación de *modelos federados* utilizado en la sección 5.2, como se puede observar en la Ilustración 148:

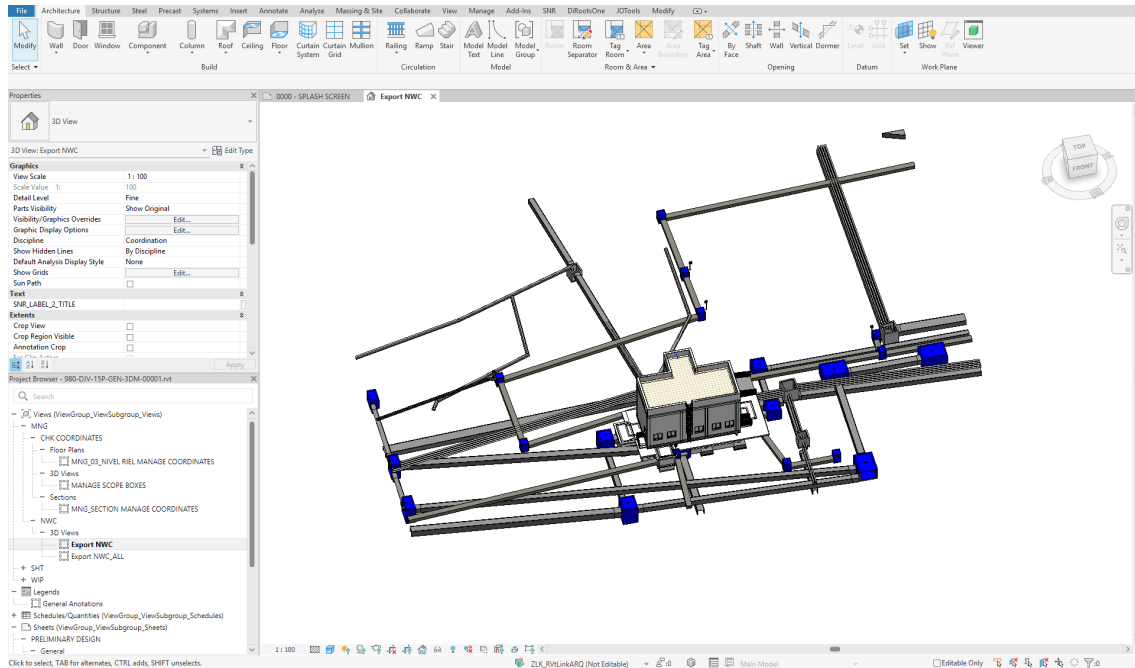


Ilustración 148. Modelo federado paralelo en Revit. Fuente: elaboración propia

Posteriormente, fue exportado en *archivo NWC* y creado un *archivo NWF* con todas las configuraciones y guardado en un *archivo NWD* como una nueva copia de los modelos que se estaban creando mediante *Model Coordination* en la carpeta SHARED.

A continuación, en la Ilustración 149, se puede observar la copia creada en ACC, ya que es donde se guardan las versiones de los modelos:

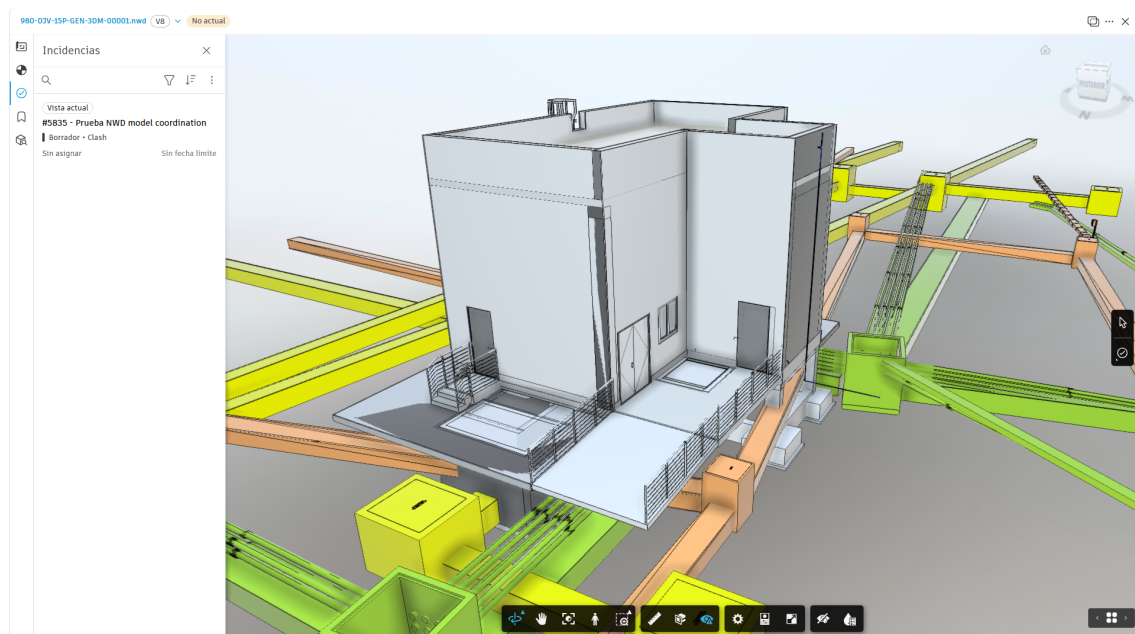


Ilustración 149. Guardado del modelo federado mediante Revit y Navisworks en ACC. Fuente: elaboración propia

Se puede observar, que la incidencia creada se sigue manteniendo en el modelo, en cambio, lo que no se ve es la bola que referencia su ubicación en el modelo. Esto es debido a que, aunque mantenga la incidencia, si se selecciona se puede observar en la Ilustración 150 que se queda en blanco:

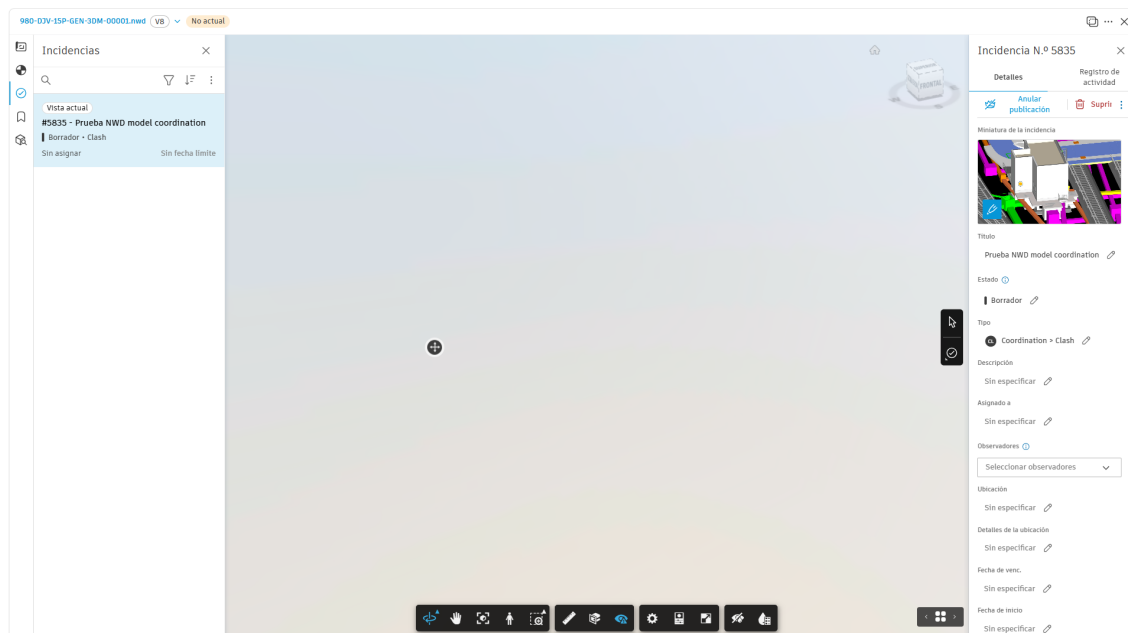


Ilustración 150. Pérdida de referencia de incidencia. Fuente: elaboración propia

Esto supone, que, al cambiar de método, se pierde la referencia de todas las *incidencias* creadas con el otro método, solo conservando la información propia de la *incidencia*, como la foto cuando se creó, así como los observadores, el responsable y demás.

Como se puede evidenciar, esto supone una barrera para el cambio de metodologías con modelos ya creados y con cierto recorrido, ya que se pierden las *incidencias* y con ello su seguimiento. Cabe decir que sucede bilateralmente, en el caso que se quisiera cambiar del método integral 1 con *Revit* y *Navisworks* al método integral 3, pasaría exactamente lo mismo.

8.2 Mejoras:

8.2.1 Eliminación de vínculos

Una de las principales mejoras que beneficiaría enormemente el uso de *Model Coordination*, sería poder establecer algún tipo de opción para que los *espacios de coordinación* eliminasen los modelos vinculados que tienen algunos de los modelos de las disciplinas a la hora de crear las vistas.

Esto mejoraría significativamente la gestión de las *colisiones* e *incidencias* creadas a partir de los métodos integrales 2 y 3, ya que uno de sus principales problemas es la incapacidad de realizarlo, como en el método integral 1, donde al ser elementos vinculados en segundo grado son eliminados. Esto haría la creación y gestión de los *modelos federados* sumamente eficiente, ya que no sería necesario su supervisión en ese aspecto y los modelos serían automáticamente actualizados nada más sea subido alguno de los modelos de las disciplinas.

8.2.2 Compatibilidad de incidencias

Otras de las mejoras que beneficiaría enormemente la coordinación de las disciplinas sería la posibilidad de que coexistieran las *incidencias* independientemente de su lugar de creación, lo que significaría que se pudieran ver las mismas tanto en *Data Management* como en *Model Coordination*.

Esto mejoraría la unificación de las *incidencias*, ya que muchas veces, se suele trabajar tanto en los *archivos NWD* como en las vistas de *Model Coordination*, creando *incidencias* en ambos sitios y produciendo una gran confusión de saber dónde se ha de buscar una *incidencia* en cuestión.

Adicionalmente, en términos económicos, supondría una reducción del coste en los proyectos, ya que, si pudieran coexistir en ambos ambientes, no sería necesario que los usuarios que no gestionen conflictos tuvieran que adquirir el módulo de *Model Coordination*, ya que podrían simplemente ver las *incidencias* creadas desde *Data Management*.

Finalmente, se mejoraría la gestión de las *colisiones* e *incidencias* mediante *Navisworks* y *Model Coordination* (método integral 3), ya que se podría gestionar íntegramente desde las vistas abiertas en *Navisworks*, y poder gestionar tanto las *colisiones* e *incidencias* desde un mismo archivo, pudiendo relacionar ambas, aunque de manera manual, más fácilmente y controlar adecuadamente el seguimiento de todas ellas.

8.2.3 Seguimiento de incidencias en Navisworks 2026

Como se pudo observar, desde las vistas abiertas de *Model Coordination* mediante *Navisworks 2026*, es posible vincular las *colisiones* con las *incidencias*, lo que conlleva la ventaja de que si se cierra una se cierra la otra. Sin embargo, el creador de la *incidencia* pierde el control de las mismas ya que los cambios automáticos que realiza el programa no se corresponden con la realidad del proyecto.

Por ello, una mejora que ayudaría enormemente a la automatización de las *incidencias* sería que, una vez creada la *incidencia*, solo se pudiera cambiar el estado de estas de manera manual, tanto por el creador como por el responsable de la misma, exceptuando la resolución de esta, que sí que sería automática. Esto incrementaría el control de estas por parte del coordinador y el responsable.

8.2.4 Control de calidad

Debido a la naturaleza de información formada en *Revit* y las herramientas que posee, de momento únicamente es conseguido realizar la auditoría de modelos mediante *Revit* y más en concreto el uso de “Model Audit”, siendo mediante *Model Coordination* inviable realizarla.

Aun así, es posible realizar ciertas mejoras al procesamiento de la información bruta que proporciona Model Audit para que sea más asequible realizar la auditoría de los modelos. Para ello, es realizada una macro de Excel para poder realizar conteos de parte de la información que contiene.

Un ejemplo de aplicabilidad es uno de los ejemplos ya mostrados en la sección 5.5.5 a través de la Ilustración 49, donde de manera fácil es posible realizar el conteo de todos los archivos .dwg vinculados a los modelos, como es posible observar en la Ilustración 151:

	INFO GENERAL					WORKSETS				LINK RVT						
Modelo	Starting View	Project Information			Shared Coord	Revit Phases	Correct Work	Elements Wo	RVT links	RVT file	RVT path	RVT coordina	RVT pinned	DWG linked	CDE views	
		Filled	Total	%												
100-DJV-145-YES	YES	17	31	54	YES	YES	YES	NO	YES	100-DJV-145-YES	YES	YES	YES	1	YES	
401-DJV-145-YES	YES	12	38	31	NO	YES	NO	NO	YES	401-DJV-145-YES	YES	YES	YES	0	YES	
401-DJV-14V-YES	YES	20	31	64	NO	YES	YES	YES	YES	401-DJV-14V-YES	YES	YES	YES	0	YES	
409-CJV-145-NO	NO	18	40	45	NO	YES	NO	NO	YES	409-CJV-145-NO	NO	NO	NO	2	NO	
410-DJV-145-YES	YES	17	40	42	NO	YES	NO	NO	YES	410-DJV-145-YES	YES	YES	YES	2	YES	
500-CJV-145-YES	YES	15	31	48	YES	YES	YES	NO	YES	500-CJV-145-YES	YES	YES	YES	1	YES	
550-CJV-145-YES	YES	17	31	54	NO	YES	YES	NO	YES	550-CJV-145-YES	YES	YES	YES	1	YES	
555-CJV-145-YES	YES	15	34	44	YES	YES	NO	NO	YES	555-CJV-145-YES	YES	YES	YES	24	NO	
560-CJV-145-YES	YES	14	31	45	YES	YES	NO	NO	YES	560-CJV-145-YES	YES	YES	YES	3	YES	
578-CJV-145-YES	YES	15	34	44	NO	YES	YES	NO	YES	578-CJV-145-YES	YES	YES	YES	14	YES	
580-DJV-145-YES	YES	12	38	31	NO	YES	NO	NO	YES	580-DJV-145-YES	YES	YES	YES	1	YES	
600-CJV-145-YES	YES	17	31	54	NO	YES	NO	NO	YES	600-CJV-145-YES	YES	NO	NO	4	YES	
654-CJV-145-NO	NO	17	31	54	YES	YES	YES	NO	YES	654-CJV-145-YES	YES	YES	YES	0	NO	
700-CJV-145-NO	NO	17	31	54	NO	YES	NO	NO	YES	700-CJV-145-YES	YES	YES	YES	0	YES	
710-CJV-145-YES	YES	17	31	54	YES	YES	YES	YES	YES	710-CJV-145-YES	YES	YES	YES	0	NO	
750-CJV-145-YES	YES	20	31	64	NO	YES	NO	NO	YES	750-CJV-145-YES	YES	YES	YES	0	YES	
980-DJV-145-YES	YES	17	31	54	NO	YES	YES	NO	NO					0	YES	

Ilustración 151. Automatización de conteo de los modelos .dwg vinculados. Fuente: elaboración propia

Se puede observar como en la columna marcada mediante un recuadro rojo, es anotado la cantidad de todos los archivos .dwg que presentan cada uno de los modelos de manera automática.

Otro ejemplo de ello es saber si todos los modelos presentan una portada inicial en cada uno de los modelos de las disciplinas cuando son abiertos, ya que, de esta manera se puede ver nada más abrir el modelo la información básica que contiene. A continuación, en la Ilustración 152 se puede observar como se muestra las vistas iniciales de los modelos en la hoja Excel creada por “Model Audit”:

File	Size	StartingView	Region	ProjectGuid	ModelGuid
100-DJV-14S-GEN-3DM-00001	17,964,834	URS MODEL	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	ba8f9642-32c9-48e7-af55-c8593a3ea444
401-DJV-14S-GEN-3DM-00001	326,875	COVER SHEET	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	e73741a9-9086-45b9-a890-417ccc69a21d
401-DJV-14V-GEN-3DM-00001	12,315	VIADUCT MODEL	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	db833f66-a8f0-4a3f-9551-01ea2a9f22da
409-CJV-14S-GEN-3DM-00001-AsafraStreetLevelPavement	50,185		U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	045c3c26-df3b-45be-bf35-f96dadf24e39
410-DJV-14S-GEN-3DM-00001	344,351	Cover Sheet	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	0a421afb-9528-4571-91b5-4011e45c36ac
500-CJV-14S-GEN-3DM-00001	154,660	AI Asafra Power Supply Model	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	2a28f980-e08f-49d0-9ede-06f3df1d624d
550-CJV-14S-GEN-3DM-00001	39,769	SPLASH SCREEN	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	5bd9e219-795b-4145-8263-9991e3e1d73f
555-CJV-14S-GEN-3DM-00001	238,277	SPLASH SCREEN	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	4b7261e1-f941-4f30-8788-8db31d44b8e2
560-CJV-14S-GEN-3DM-00001	72,070	SPLASH SCREEN	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	c3ca343d-ef6b-46de-a019-177d003fa822
578-CJV-14S-GEN-3DM-00001	83,75	SPLASH SCREEN	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	d03c1299-b1fe-4c9d-ab74-e82059f3f92a
580-DJV-14S-GEN-3DM-00001	102,390	COVER SHEET	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	852ea17c-9fea-43ba-ae7b-7bf57f4ddec
600-CJV-14S-GEN-3DM-00001	57,815	SPLASH SCREEN	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	5738863e-89f2-4458-81ff-8f81823d0081
654-CJV-14S-GEN-3DM-00001	4,234		U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	2f20bee7-c952-491e-abaa-ba4f5b4d88b8
700-CJV-14S-GEN-3DM-00001	35,613		U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	fbe9ae77-4a46-4b4c-aa89-a055cd459510
710-CJV-14S-GEN-3DM-00001	87,988	14S_ASAFRA STATION_COVER PAGE	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	acd0530b-1865-494e-ae0e-6a57221dc25e
750-CJV-14S-GEN-3DM-00001	10,484	Track Arrangement	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	de78361f-15aa-4ff9-b83a-1f1b249f1615
980-DJV-14S-GEN-3DM-00001	7,703	FEDERATED 14S MODEL	U	8faea31b-95ca-464e-bff1-57df29b0f6d	7b581b2f-8c1c-47e4-a5a6-c190fe4eb0c7

Ilustración 152. Información de vista inicial y peso de los modelos a través de Model Audit. Fuente: elaboración propia

Y cómo es posible ser automatizado para que sea rellenada automáticamente a través de la Ilustración 153:

INFO GENERAL					WORKSETS					LINK RVT						
Project Information					Shared Coord	Revit Phases	Correct Work	Elements Wo	RVT links	RVT file	RVT path	RVT coordina	RVT pinned	DWG linked	CDE views	
Modelo	Starting view	Filed	Total	%												
100-DJV-14S-YES			17	31	54	YES	YES	NO	YES	100-DJV-14S-YES	YES	YES	YES		1 YES	
401-DJV-14S-YES			12	38	31	NO	YES	NO	YES	401-DJV-14S-YES	YES	YES	YES		0 YES	
401-DJV-14V-YES			20	31	64	NO	YES	YES	YES	401-DJV-14V-YES	YES	YES	YES		0 YES	
409-CJV-14S-NO			18	40	45	NO	YES	NO	YES	409-CJV-14S-NO	NO	NO	NO		2 NO	
410-DJV-14S-YES			17	40	42	NO	YES	NO	YES	410-DJV-14S-YES	YES	YES	YES		2 YES	
500-CJV-14S-YES			15	31	48	YES	YES	YES	YES	500-CJV-14S-YES	YES	YES	YES		1 YES	
550-CJV-14S-YES			17	31	54	NO	YES	YES	NO	550-CJV-14S-YES	YES	YES	YES		1 YES	
555-CJV-14S-YES			15	34	44	YES	YES	NO	YES	555-CJV-14S-YES	YES	YES	YES		24 NO	
560-CJV-14S-YES			14	31	45	YES	YES	NO	YES	560-CJV-14S-YES	YES	YES	YES		3 YES	
578-CJV-14S-YES			15	34	44	NO	YES	YES	NO	578-CJV-14S-YES	YES	YES	YES		14 YES	
580-DJV-14S-YES			12	38	31	NO	YES	NO	YES	580-DJV-14S-YES	YES	YES	YES		1 YES	
600-CJV-14S-YES			17	31	54	NO	YES	NO	YES	600-CJV-14S-YES	YES	NO	NO		4 YES	
654-CJV-14S-NO			17	31	54	YES	YES	YES	YES	654-CJV-14S-YES	YES	YES	YES		0 NO	
700-CJV-14S-NO			17	31	54	NO	YES	NO	YES	700-CJV-14S-YES	YES	YES	YES		0 YES	
710-CJV-14S-YES			17	31	54	YES	YES	YES	YES	710-CJV-14S-YES	YES	YES	YES		0 NO	
750-CJV-14S-YES			20	31	64	NO	YES	NO	YES	750-CJV-14S-YES	YES	YES	YES		0 YES	
980-DJV-14S-YES			17	31	54	NO	YES	YES	NO						0 YES	

Ilustración 153. Automatización de comprobación de vistas iniciales en los modelos. Fuente: elaboración propia

Con todo ello, parte del proceso de auditar puede ser automatizado reduciendo drásticamente el tiempo y los errores que se comenten durante todo el proceso de auditoría.