

Modelo de transición BIM-QR para la gestión de información conforme a la ISO 19650 en empresas metalmecánicas ecuatorianas

*BIM-QR Transition Model for ISO 19650 Information Management in
Ecuadorian Metalworking Companies*

Arq. Evelyn Violeta Andrade Merelo

Universidad Bolivariana del Ecuador

evandradem@ube.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-9676-7282>

Durán – Ecuador

Arq. Ricardo Oswaldo Ramos Andrade

Universidad Bolivariana del Ecuador

roramosa@ube.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-1590-1886>

Durán – Ecuadorh

Ing. Doménica Paulette Rendón González

Universidad Bolivariana del Ecuador

dprendong@ube.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1702-1321>

Durán – Ecuador

Ing. Wellington Isaac Maliza Cruz, PhD

Universidad Bolivariana del Ecuador

wimalizac@ube.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-1426-583X>

Durán – Ecuador

Formato de citación APA

Romero, G., Sanchez, M., Ojeda, G. & Figueroa, C. (2026). Modelo de transición BIM-QR para la gestión de información conforme a la ISO 19650 en empresas metalmecánicas ecuatorianas. Revista REG, Vol. 5 (Nº. 4), p. 2938 – 2961.

NEXO CIENTIFICO

Vol. 5 (Nº. 4). Octubre – diciembre 2026.

ISSN: 3073-1259

Fecha de recepción: 20-10-2026

Fecha de aceptación :29-10-2026

Fecha de publicación:31-12-2026



RESUMEN

La adopción del BIM en pequeñas y medianas empresas metalmecánicas sigue siendo limitada, y el subsector ecuatoriano carece de evidencia empírica sobre cómo iniciar esa transición cuando se parte de procesos enteramente manuales. El objetivo es diagnosticar la gestión de información y trazabilidad de una empresa metalmecánica de Guayaquil y formular un modelo de transición hacia la gestión de información conforme a la ISO 19650, integrando códigos QR con un entorno común de datos. Bajo un diseño mixto descriptivo-propositivo, de estudio de caso único, se encuestó a 17 participantes (94,4 % de la plantilla operativa) mediante un cuestionario de 32 ítems, triangulado con observación directa y revisión documental. Los resultados sitúan a la empresa en un nivel de madurez digital cero: planos impresos y mensajería instantánea como soporte técnico, marcado manual con pintura y retrasos entre planta y obra con medianas de 4/5. La barrera principal es la falta de capacitación, no la resistencia al cambio; el problema central no es de fabricación sino de flujo de información. Se formula un modelo de transición en cinco niveles que digitaliza la codificación existente sin reemplazarla, distingue dos etiquetas QR (fabricación y montaje) e incorpora la trazabilidad de la responsabilidad de quién fabrica y quién libera cada componente. Un prototipo verificado en sitio, con un entorno común de datos en Google Drive y códigos QR leídos sobre una pieza real, confirmó su viabilidad técnica. Se concluye que la transición debe comenzar por la disciplina de gestión de información, no por la adquisición de software. El aporte es una hoja de ruta para organizaciones de baja madurez digital que evolucionan desde sus propios activos.

PALABRAS CLAVE: BIM, códigos QR, ISO 19650, entorno común de datos, trazabilidad de componentes, madurez digital, sector metalmecánico, Ecuador.

ABSTRACT

BIM adoption in small and medium-sized metalworking enterprises remains limited, and the Ecuadorian subsector lacks empirical evidence on how to initiate this transition when starting from entirely manual processes. The aim is to diagnose the information management and traceability of a metalworking company in Guayaquil and to formulate a transition model toward ISO 19650 information management, integrating QR codes with a common data environment (CDE). Under a mixed descriptive and proposal-oriented single-case design, 17 participants (94.4% of the operational workforce) were surveyed through a 32-item questionnaire, triangulated with direct observation and document review. The findings place the company at a zero level of digital maturity: printed drawings and instant messaging as the main media for technical information, manual paint marking to identify components, and delays caused by ill-timed information flow between shop and site (medians of 4/5). The main barrier is a lack of training rather than resistance to change; the core problem is not fabrication but information flow. A five-level transition model is proposed that digitizes the company's existing part-coding system instead of replacing it, defines two distinct QR tags (fabrication and assembly) and incorporates traceability of responsibility, identifying who fabricates and who releases each component. An on-site prototype, with a common data environment on Google Drive and QR codes scanned on an actual fabricated member, confirmed its technical feasibility. The study concludes that the transition should begin with information management discipline rather than software acquisition. The contribution is a roadmap for organizations of low digital maturity that progress by building on their own existing assets.

KEYWORDS: BIM, QR codes, ISO 19650, common data environment, component traceability, digital maturity, metalworking sector, Ecuador.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción atraviesa una transformación digital que ha reconfigurado la gestión de la información técnica a lo largo del ciclo de vida de los proyectos. El Building Information Modeling (BIM), que Succar (2009) no concibe como una herramienta aislada sino como la articulación de políticas, procesos y tecnologías orientada a administrar digitalmente la información del proyecto a lo largo de su ciclo de vida, se ha consolidado como plataforma central de coordinación técnica (Marzouk et al., 2025). No obstante, sus beneficios solo se materializan cuando el modelo digital trasciende la oficina técnica y se articula con los procesos físicos de fabricación y montaje, algo que la estructura fragmentada de la industria dificulta (Samuelson y Stehn, 2023). En ese punto, la integración con códigos de respuesta rápida (QR) emerge como mecanismo de vinculación entre el modelo digital y el componente físico: Trani et al. (2014) la demostraron técnicamente alcanzable en obra y Foroughi Sabzevar et al. (2023) confirmaron su viabilidad operativa.

Aunque el BIM ha avanzado significativamente en proyectos de edificación e infraestructura, su adopción en pequeñas y medianas empresas metalmecánicas continúa siendo limitada, particularmente en los procesos de gestión documental y trazabilidad de componentes. En América Latina, y en Ecuador en particular, esa asimetría se acentúa: la adopción se encuentra en una fase temprana, limitada por capacidades técnicas insuficientes y barreras organizacionales que anteceden a las tecnológicas (Arellano Escobar et al., 2021; Zambrano Murillo et al., 2025). En el sector metalmecánico la brecha es especialmente pronunciada, pues la trazabilidad de componentes (vigas, columnas, placas, perfiles) durante el ciclo fabricación-montaje sigue dependiendo de planos impresos, marcado manual y comunicación informal entre planta y obra, combinación que genera errores de identificación, pérdida de documentos, duplicidad de registros y retrasos que afectan la productividad del sector (Campoverde, 2025).

En el marco de madurez propuesto por Succar (2009), la adopción del BIM se organiza en etapas progresivas, desde la representación gráfica aislada hasta la integración de información en tiempo real. El paso entre etapas es precisamente donde se detiene la mayoría de las organizaciones, porque exige que la información del modelo llegue efectivamente al taller y a la obra. Marzouk et al. (2025) confirman que las tecnologías de identificación digital, entre ellas el QR, emergen en ese punto de inflexión como el mecanismo que lleva la información del modelo al operario sin papel ni intermediarios.

Técnicamente, la integración BIM-QR codifica un identificador único (un GUID del elemento o un enlace al servidor) en un código adherido al componente; al escanearlo, el operario accede a sus

atributos (geometría, material, estado, planos, calidad), desacoplando la información del canal informal que ha sido su principal fuente de error. Trani et al. (2014) documentaron su aplicabilidad en construcción y Foroughi Sabzevar et al. (2023) la confirmaron en obra civil, con mejoras en trazabilidad y reducción de errores durante el montaje. Ambos señalan las condiciones que exige: conectividad estable, actualización disciplinada del modelo como fuente única de verdad (Succar, 2009), e interoperabilidad entre plataformas.

Si la integración BIM-QR resuelve el vínculo entre el modelo y el componente físico, la pregunta previa es cómo se organiza la información que transporta. La ISO 19650-1 (ISO, 2018) plantea que el BIM es, ante todo, un sistema de gestión de información cuyo eje es el entorno común de datos (CDE): el repositorio único y consensuado sobre el que se apoya el proyecto, en el que cada dato avanza por estados que reflejan su grado de aprobación (en desarrollo, compartida, publicada y archivada) y atraviesa una secuencia de responsabilidades (quien produce, quien verifica y quien autoriza) antes de publicarse. El CDE no es en esencia una plataforma, sino un proceso que puede iniciarse con soportes sencillos y madurar, lo que lo hace pertinente para organizaciones en etapas iniciales. Investigaciones recientes advierten, además, que la naturaleza textual y la complejidad de la ISO 19650, junto con la escasa capacitación en la norma, dificultan su adopción efectiva (Abanda et al., 2025), lo que refuerza que el reto de la transición es tanto normativo y formativo como tecnológico. Bajo esta lectura, las deficiencias que la literatura atribuye a la transición digital (fragmentación documental, ausencia de control de versiones, dependencia de canales informales) se reinterpretan como la ausencia de un CDE, y la integración BIM-QR adquiere su valor como el mecanismo físico que conecta el componente con la información gestionada en él: el código no almacena los datos, sino que remite a la versión vigente en la fuente única de verdad.

La brecha entre el potencial de la integración BIM-QR y su adopción efectiva es el problema que la literatura reciente intenta explicar. Samuelson y Stehn (2023) constatan que la transición digital sigue una trayectoria desigual: las grandes organizaciones avanzan con rapidez mientras las medianas acumulan rezago por restricciones presupuestarias y déficits técnicos. Xu et al. (2025) advierten que la materialización de estas tecnologías depende de condiciones organizacionales (protocolos estandarizados, personal capacitado e infraestructura mínima) que muchas empresas medianas no poseen. En el contexto latinoamericano, Arellano Escobar et al. (2021) y Zambrano Murillo et al. (2025) coinciden en que la capacitación y la madurez digital de la organización determinan el desempeño por encima de las variables tecnológicas, y Campoverde (2025) confirma que en Ecuador la adopción de BIM avanza de forma desigual, condicionada por barreras de capacitación.

La revisión establece un panorama claro. La viabilidad técnica de la integración BIM-QR en obra está documentada (Trani et al., 2014), así como las condiciones organizacionales de su adopción en el contexto latinoamericano (Zambrano Murillo et al., 2025). Lo que no existe es evidencia empírica sobre cómo esta integración puede implementarse en una empresa metalmecánica mediana del Ecuador, ni sobre cómo articularse con los principios de la ISO 19650 para estructurar una transición desde un nivel de madurez inicial. Esta investigación aborda ese doble vacío mediante diagnóstico directo y la formulación de un modelo conceptual anclado en el CDE.

En consecuencia, el objetivo principal del estudio es diagnosticar las condiciones actuales de gestión de información de una empresa metalmecánica de Guayaquil y formular un modelo conceptual de transición BIM-QR basado en la ISO 19650 para fortalecer la trazabilidad de componentes. De manera específica, se identifican las limitaciones de gestión y trazabilidad, se evalúan las barreras técnicas y organizacionales, se analiza el potencial de la integración BIM-QR articulada a un CDE y se estructura una transición progresiva desde la gestión analógica hacia una gestión de información BIM.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló con un enfoque mixto y un alcance descriptivo-propositivo. Se adoptó un diseño no experimental, transversal y de estudio de caso único (Hernández Sampieri et al., 2014; Yin, 2018) durante el período 2025–2026. El componente cuantitativo permitió caracterizar la frecuencia e intensidad de los problemas de gestión de información y trazabilidad, mientras que el componente cualitativo permitió explorar sus causas, las prácticas de trabajo y las percepciones del personal.

La unidad de análisis fue una empresa metalmecánica de Guayaquil con más de 25 años de trayectoria y más de diez proyectos anuales de fabricación y montaje de estructuras metálicas. La población estuvo conformada por 18 trabajadores; se incluyeron 17 participantes vinculados directamente con la gestión de información y trazabilidad, equivalentes al 94,4 % de la plantilla operativa pertinente. La cobertura tuvo carácter censal, lo que hace innecesario el muestreo probabilístico, y el número de participantes se sitúa en el rango de saturación temática reportado para poblaciones homogéneas (Hennink y Kaiser, 2022). Incluyó siete participantes de taller/planta, seis de obra/montaje, tres de oficina técnica y uno de logística/almacén. La experiencia de los participantes osciló entre 1 y 40 años, con una mediana de 5 años.

Se aplicaron tres técnicas complementarias. Primero, una encuesta estructurada de 32 ítems organizada en siete secciones, con preguntas de opción múltiple, una escala ordinal de cinco niveles y

tres preguntas abiertas, administrada de forma presencial e individual. Segundo, se realizó observación directa en taller, obra y oficina técnica para contrastar las respuestas con las prácticas efectivas. Tercero, se revisaron documentos internos del proyecto en ejecución —planos de taller con nomenclatura VM, despieces y guías de remisión— para identificar la lógica de codificación existente y utilizarla como base del modelo propuesto.

La validez de contenido del cuestionario se estableció mediante juicio de experto, procedimiento en el que una especialista en gestión de proyectos BIM valoró la correspondencia de los ítems con las dimensiones del estudio. La confiabilidad se estimó mediante el coeficiente alfa de Cronbach sobre los 16 ítems de escala ordinal, con un valor de 0,740, considerado aceptable según George y Mallery (2022); dado el tamaño de la muestra, este resultado se interpreta como indicativo y no concluyente.

El análisis de los datos ordinales se basó en estadística descriptiva —mediana, rango y distribución de frecuencias—, apropiada para variables de este nivel de medición. Las respuestas abiertas y los registros de observación se sometieron a una categorización emergente, organizada en tres ejes: limitaciones de gestión, barreras de adopción y oportunidades de mejora. Por último, se trianguló la evidencia cuantitativa, cualitativa y documental frente a los principios de la ISO 19650 relativos al entorno común de datos, los estados de la información y la asignación de responsabilidades.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Diagnóstico de la gestión y trazabilidad

El acceso a la información técnica se apoya en planos impresos (11 de 17) y mensajería instantánea (11 de 17), seguidos de PDF y correo (7 cada uno); ningún participante reportó software BIM. El tiempo para localizar un plano fue heterogéneo, entre menos de 5 y más de 30 minutos según el individuo. La recepción de planos desactualizados y la duplicidad de registros obtuvieron medianas de 3; la pérdida de documentos se mantuvo baja (mediana 2). Estos datos sitúan a la empresa en el nivel 0 de madurez digital: la gestión del conocimiento técnico descansa en canales informales y en la memoria individual, y la desactualización de planos es una consecuencia estructural de la ausencia de un repositorio con control de versiones.

La identificación de piezas no responde a un sistema único, sino a métodos manuales: el marcado con pintura o punzón fue el más mencionado (10 de 17), seguido de la etiqueta metálica y el

código escrito a mano (8 cada uno). Los problemas estrictamente de fabricación resultaron poco frecuentes (confusión de piezas, envío incorrecto y retrabajos obtuvieron medianas de 2): la pieza física rara vez se confunde; el problema se concentra en la información que la acompaña.

Uno de los soldadores describió con claridad la información que un código asociado a la pieza debería conservar: «Llegan piezas con medidas y secciones incorrectas [...]; [el código debería indicar] ubicación, secciones, niveles, quién soldó la viga y por quién fue liberada» (Soldador, E15). El testimonio vincula la identificación del elemento con la trazabilidad de la responsabilidad (quién fabricó y quién liberó la pieza), dimensión que en términos de la ISO 19650 corresponde a la cadena de producción, verificación y autorización.

WhatsApp es el medio de comunicación predominante (12 de 17), seguido de llamadas y reportes físicos (8 cada uno); las reuniones presenciales son marginales (2). Sobre esa base informal, los retrasos, los malentendidos y los errores atribuidos a la comunicación entre planta y obra alcanzaron medianas de 4 (los valores más elevados del diagnóstico), lo que sitúa la coordinación planta-obra como su dimensión más crítica. La coordinación dependió, por tanto, de canales sin control formal de versiones ni trazabilidad técnica.

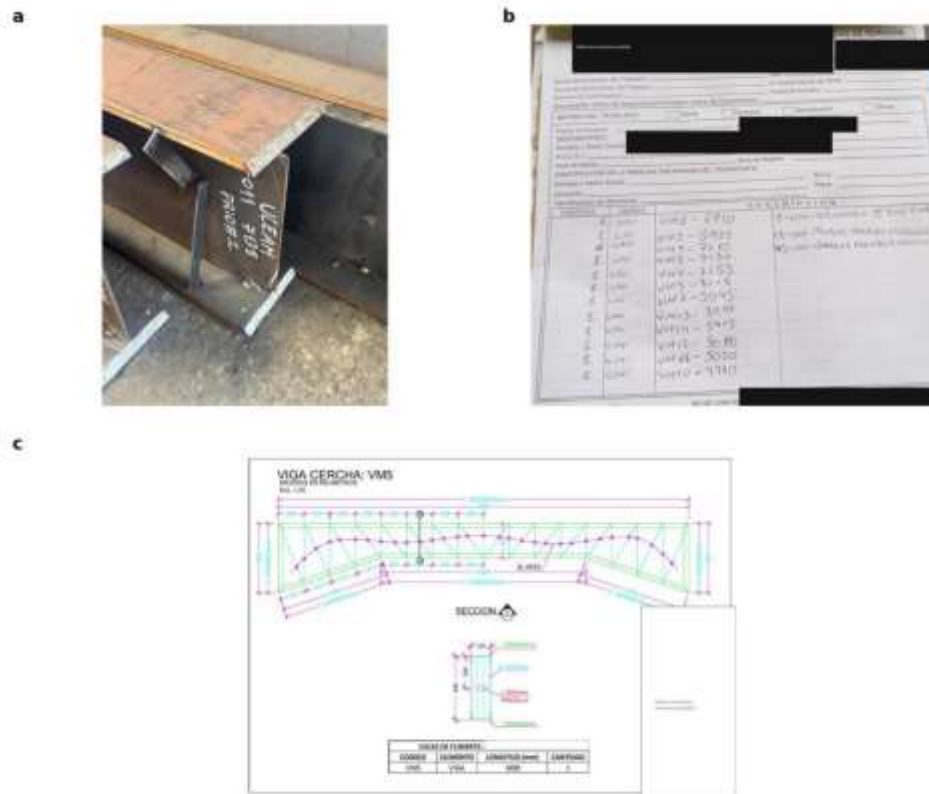
Las barreras percibidas estuvieron encabezadas por la falta de capacitación (14 de 17 menciones), seguida de los costos de implementación (9) y la resistencia al cambio (7). Entre los recursos indispensables destacaron la capacitación (15 de 17), la conectividad WiFi (9) y los equipos móviles (8). La necesidad de capacitación casi duplica a la resistencia al cambio, una brecha analíticamente significativa: el personal no rechaza la tecnología, sino que reconoce carecer de los conocimientos para adoptarla.

La percepción hacia la integración BIM-QR fue favorable, aunque más cauta sobre las condiciones para implementarla. El acuerdo fue unánime (100 %) en la disposición a capacitarse y en la mejora de la competitividad, y muy alto en la coordinación planta-obra (94 %) y la reducción de errores de identificación (82 %). En contraste, la facilidad de implementación obtuvo una mediana de 3/5 y solo el 29 % consideró que la empresa dispone hoy de recursos suficientes. El patrón es inequívoco: el personal valora la solución, pero duda de que la empresa cuente hoy con las condiciones para implementarla.

Sobre el contenido esperado del código QR, los participantes coincidieron en el código de pieza, el perfil y dimensiones, la posición o nivel, el destino y el estado de fabricación, y añadieron la trazabilidad de la responsabilidad (quién fabricó y quién liberó), requisitos que fundamentan el modelo propuesto.

La observación directa confirmó los patrones cuantitativos: en el taller, la identificación se realiza con marcado manual de pintura sobre el acero, expuesto a deteriorarse por manipulación y polvo (Figura 1a); en los frentes de obra, la coordinación se apoya en planos impresos y WhatsApp; y en la oficina técnica y la bodega predominan los planos impresos y las hojas de cálculo. La trazabilidad descansa así en prácticas manuales y en el conocimiento del personal más que en un procedimiento estandarizado. La revisión documental aportó evidencia objetiva de la codificación existente (Figuras 1b y 1c). Los planos de taller asignan a cada elemento un código propio articulado en tres capas: un código de documento que identifica el plano y la orden de producción; un código de elemento que antepone a la nomenclatura «VM» un prefijo de área y le añade un sufijo de variante (por ejemplo, «AVM1-1», viga VM1 del área de Administración); y la posición en la grilla de ejes, registrada en el plano de montaje. El cuadro de despiece consigna denominación, dimensiones, longitud y cantidad; ese mismo código se traslada manualmente al acero y reaparece en las guías de remisión. Su consistencia a lo largo de los tres soportes (plano, marcado físico y guía) demuestra que la empresa dispone de una lógica de codificación funcional, aunque gestionada de forma manual y en documentos no integrados. No obstante, la correspondencia entre soportes es tácita: el plano de montaje rotula la misma pieza sin el prefijo de área que emplea el plano de taller, y en ningún documento se declara que dicho prefijo designa el edificio; la equivalencia depende, por tanto, del conocimiento no escrito del personal. El hallazgo es determinante: existe una base sobre la cual construir la identificación digital sin crear una nomenclatura nueva, y la desconexión no está en la codificación sino en su soporte manual y fragmentado.

Figura 1. Evidencia del sistema manual actual de identificación y trazabilidad: (a) marcado con pintura sobre el elemento estructural; (b) guía de remisión con nomenclatura VM; (c) plano de taller con codificación VM5.



Fuente: elaboración propia a partir de registros del caso de estudio. Los datos identificativos han sido ocultados.

En síntesis, la empresa opera en un nivel de madurez digital prácticamente nulo, con tres dimensiones críticas interrelacionadas: gestión de información en canales informales y documentos físicos sin control de versiones; trazabilidad dependiente de marcado manual propenso a deterioro; y coordinación planta-obra con los valores de conflictividad más elevados del estudio. El problema central no es de fabricación sino de flujo de información, lo que fundamenta la propuesta desarrollada en la sección siguiente.

Propuesta de transición BIM-QR

Interpretadas a la luz de la ISO 19650, las tres condiciones críticas del diagnóstico expresan una misma carencia: la ausencia de un entorno común de datos con control de versiones y

responsabilidades definidas. En respuesta, el modelo no plantea una adopción tecnológica integral, sino una transición ordenada que instaure progresivamente esos principios, tomando la codificación existente (nomenclatura VM) como base y la trazabilidad por QR como su primer mecanismo tangible entre taller y obra, con el horizonte de alcanzar un nivel intermedio de madurez al término del primer ciclo.

El modelo integra el BIM (entendido como sistema de gestión de información [Succar, 2009]) con los códigos QR como puente hacia el componente físico. Su principio rector es doble: no inventar una codificación nueva, sino digitalizar la que la empresa ya utiliza, y no depender de canales informales, sino canalizar la información a través de un entorno común de datos. En los planos de taller, cada elemento recibe un código (por ejemplo, VM5 para una viga de cubierta) que hoy se traslada al acero mediante marcado con pintura; el modelo lo convierte en un identificador escaneable que no almacena la información, sino que remite a la ficha del elemento en el CDE. Así se preserva la lógica que el personal ya conoce, reduciendo la resistencia al cambio, y se resuelve el problema de fondo: que planta y obra trabajen sobre versiones distintas de la misma información.

Para responder a la principal restricción del diagnóstico (el costo y la falta de capacitación), el modelo se estructura en cinco niveles progresivos de madurez digital (Figura 2a), de modo que la empresa puede avanzar desde el Nivel 0 hacia una integración plena sin grandes inversiones iniciales, obteniendo beneficios desde el primer nivel, en el que el CDE puede instaurarse con soportes sencillos antes de incorporar plataformas BIM completas.

El modelo organiza la información en un flujo continuo que recorre las cinco áreas operativas y converge en el CDE como fuente única de verdad (Figura 2b): la oficina técnica asigna el código y genera la etiqueta QR de fabricación desde el plano aprobado; el taller la adhiere, fabrica y actualiza el estado; control de calidad inspecciona, libera y vincula la trazabilidad de plancha y colada; logística despacha con guía digital; y la obra escanea la etiqueta de montaje para confirmar la instalación. El flujo no añade tareas administrativas, sino que digitaliza puntos de registro que hoy ocurren de forma manual y dispersa, integrándolos en un único registro consultable.

La particularidad del flujo es que cada intervención no solo consulta información, sino que actualiza el estado del elemento en el CDE conforme a la lógica de la ISO 19650 (Figuras 2b y 3): un mismo componente (la viga VM5) transita por una secuencia trazable (en desarrollo, publicada, liberada, despachada, montada) en la que siempre es posible saber qué es la pieza, dónde está, en qué punto del proceso se encuentra y quién la ha intervenido. Las etiquetas QR remiten siempre a la

versión publicada, de modo que taller y obra trabajan sobre la misma información aprobada, con trazabilidad de quién revisó y quién liberó cada elemento.

Figura 2. Síntesis del modelo propuesto: (a) niveles progresivos de madurez digital; (b) flujo de información BIM-QR entre oficina técnica, taller, control de calidad, logística y obra, convergente en el CDE.



Fuente: elaboración propia. Panel (a) adaptado conceptualmente de Succar (2009) y Trani et al. (2014); panel (b) desarrollado a partir del diagnóstico organizacional.

La generación de los códigos parte del código VM ya existente y lo asocia a un identificador único que remite a la ficha del elemento en el CDE. Como el código solo apunta a la versión publicada y vigente, en términos de la ISO 19650 el QR actúa como punto de acceso físico a información ya revisada y autorizada. Dado que el ciclo de la empresa distingue dos etapas (fabricación en taller y

montaje en obra), el modelo define dos etiquetas QR diferenciadas, generadas en momentos distintos y dirigidas a usuarios distintos, pero ambas vinculadas a la misma ficha única del elemento.

Figura 3. Estructura interna del entorno común de datos: estados de la información según la ISO 19650, contenido gestionado y punto de acceso físico de las etiquetas QR.



Fuente: elaboración propia a partir de los principios de la ISO 19650-1.

La primera etiqueta corresponde a la fabricación. La genera la oficina técnica a partir del plano de taller y la adhiere el personal del taller a la pieza, sustituyendo el marcado con pintura que el diagnóstico mostró propenso a borrarse. Al escanearla, el operario accede a la información para fabricar el elemento: código VM, tipo, longitud y cantidad, perfiles (por ejemplo, cordones C 125×50×3, diagonales 2L 40×3 y presilla L 30×3 en la viga VM5), despiece y sección transversal. La ficha remite además al plano de taller aprobado, con su lámina y revisión, de modo que el operario siempre trabaja sobre la versión publicada, e incorpora la trazabilidad de la responsabilidad (quién fabricó y quién liberó la pieza), materializando en el componente físico la cadena de producción, verificación y autorización de la ISO 19650.

La segunda etiqueta corresponde al montaje. Se aplica en el despacho o a la llegada del material a obra y, a diferencia de la anterior, no contiene el detalle de fabricación (ya ejecutado), sino la información para instalar el elemento: tipo de pieza, ubicación por nivel (planta baja, piso, cubierta) y por ejes dentro de la grilla estructural (por ejemplo, una viga en el eje A entre los ejes 2 y 3), con un

esquema gráfico de posición. Al escanear, el montador confirma la instalación y actualiza el estado en el CDE. Esta separación aplica el principio de entregar a cada usuario únicamente la información pertinente a su tarea.

Las dos etiquetas no implican dos fuentes de información ni duplicación: ambas remiten a la misma ficha única del elemento en el CDE y despliegan vistas contextualizadas según la etapa y el usuario (Figura 4). Cada escaneo, en cualquiera de las dos etapas, lee y actualiza la misma base, de modo que la trazabilidad del elemento se construye de forma acumulativa a lo largo del ciclo fabricación-montaje.

En términos operativos, el procedimiento se integra en el flujo de la oficina técnica sin añadir una etapa independiente: a partir del código VM ya asignado en el plano, se crea o actualiza la ficha del elemento en la base de datos con los atributos de su etapa, el sistema genera un identificador único que se codifica en el QR, la etiqueta se imprime en material resistente y se adhiere a la pieza, y cada escaneo posterior lee la ficha vigente y registra la actualización de estado. Así, la generación del código es el punto de entrada de cada elemento al entorno común de datos.

La plataforma se concibe con tres componentes mínimos, ampliables en niveles superiores: un generador de códigos que asocia cada nomenclatura VM a un identificador único y produce la etiqueta imprimible; un repositorio que actúa como CDE (en el nivel 1, incluso una hoja de cálculo estructurada compartida); y una interfaz de lectura móvil para escanear y registrar el estado. Esta arquitectura no exige software especializado desde el inicio, sino que habilita el nivel 1 con recursos accesibles (impresora de etiquetas, dispositivos móviles y conectividad), y requiere disciplina en la actualización de las fichas y respaldo ante el deterioro de una etiqueta. Su verificación funcional se presenta más adelante; su validación corresponde a la fase piloto.

La adopción comporta riesgos anticipables a partir de las barreras del diagnóstico: la resistencia inicial, mitigable con capacitación progresiva; el costo del software, acotado con una implementación modular que empieza por los niveles 1 y 2; el deterioro de las etiquetas, atendido con material resistente y respaldo; y la conectividad limitada, prevista con acceso offline. La estrategia común es no exigir condiciones tecnológicas plenas desde el inicio, sino incorporarlas de forma escalonada. El modelo asigna además una responsabilidad clara por proceso, lo que corrige la dependencia de canales informales y materializa la asignación de responsabilidades de la ISO 19650.

Los beneficios esperados se alinean con la percepción favorable del personal: en lo operativo, reducir retrasos y malentendidos y acortar los tiempos de búsqueda de información; en lo estratégico, fortalecer la competitividad y sentar las bases de la transformación digital. Al construirse sobre la

codificación existente y avanzar por niveles, el modelo aprovecha la disposición del personal a capacitarse y mitiga las dos barreras principales (capacitación y costo) mediante una adopción gradual y de baja inversión inicial.

Como línea base para una fase piloto se identificaron cuatro indicadores: tiempo de búsqueda de planos, porcentaje de piezas con identificación digital única, retrasos o errores por falta de información e incidencias semanales de trazabilidad. Las metas planteadas son reducir la búsqueda a menos de cinco minutos en la mayoría de las consultas, etiquetar digitalmente el 100 % de las piezas desde taller, disminuir de manera sostenida los errores de información y mantener como máximo una incidencia de trazabilidad por semana durante el primer ciclo de implementación.

Figura 4. Propuesta de las dos fichas del elemento accesibles mediante QR: (a) ficha de fabricación, con despiece, sección y responsables; (b) ficha de montaje, con localización por ejes y estado de



instalación.

Fuente: elaboración propia. Representación esquemática previa a la verificación (Figura 5).

Verificación funcional del prototipo

Con posterioridad al diagnóstico se construyó un prototipo operativo del primer nivel con el fin de comprobar la viabilidad técnica del flujo propuesto (Figura 5). El entorno común de datos se implementó sobre Google Drive, servicio de almacenamiento en la nube de uso gratuito que la empresa ya utiliza, estructurado en las cuatro carpetas correspondientes a los estados de información de la ISO 19650 y, dentro del estado publicado, con separación entre planos de taller y planos de montaje. A ambos planos se incorporó un rótulo normalizado con número de documento, revisión, estado y la cadena de firmas de quien dibuja, verifica y autoriza; este último campo estaba ausente en la documentación original. Se generaron dos códigos QR vinculados a los documentos publicados y se adhirieron a una pieza fabricada, comprobándose su lectura en condiciones reales de patio: acero en bruto, previo a limpieza superficial y pintura, con exposición solar directa y sombra parcial sobre el código, mediante la cámara de una tableta. En ambos casos el escaneo abrió la revisión vigente del documento correspondiente.

El caso empleado resultó ilustrativo del problema que el modelo busca resolver. El plano de taller correspondía a una reemisión parcial de tres vigas de un mismo tipo, que el plano de montaje identifica mediante nubes de revisión como las únicas piezas modificadas en la tercera revisión; se trata, por tanto, de los componentes en los que fabricar a partir de una versión superada genera retrabajo directo. La misma circunstancia evidenció un riesgo de identificación propio de las entregas fraccionadas: si el correlativo de las piezas se reinicia en cada entrega parcial, dos componentes distintos reciben el mismo identificador; el modelo lo previene asignando el correlativo en la ficha del entorno común de datos y no en el plano. La verificación se realizó sobre una pieza y no incluyó la medición de los indicadores de la línea base, por lo que constituye una comprobación de viabilidad técnica y no una validación de desempeño.

Figura 5. Verificación funcional del prototipo en patio: (a) estados de información del CDE; (b) estado publicado, con planos de taller y de montaje; (c) etiqueta QR en la pieza; (d) lectura con tableta; (e) plano de taller vigente; (f) plano de montaje vigente con la grilla de ejes.



Fuente: elaboración propia. Los datos identificativos han sido ocultados.

DISCUSIÓN

Esta investigación evidenció que, en la empresa estudiada, el problema central no está en la fabricación, sino en el flujo de información. La pieza física rara vez se confunde (medianas de 2 en fabricación), pero la información que debería acompañarla no llega con la misma fiabilidad, y el costo operativo se traslada al montaje. La dependencia de canales informales no responde a una elección tecnológica, sino a la ausencia de una fuente única de verdad. El hallazgo coincide con la fragmentación documental que Samuelson y Stehn (2023) describen en organizaciones medianas en transición digital, pero la precisa: en una empresa metalmecánica, el punto de falla se ubica en la coordinación entre planta y obra, la dimensión con los valores más elevados del diagnóstico (medianas de 4).

El estudio reveló, además, que la principal restricción para adoptar la integración BIM-QR no es tecnológica, sino organizacional: la barrera más citada fue la falta de capacitación (14 de 17), y los ítems peor valorados fueron la facilidad de implementación y la suficiencia de recursos. Este resultado coincide con Zambrano Murillo et al. (2025), quienes sostienen que en el contexto latinoamericano la capacitación, la experiencia y la madurez digital de la organización pesan más que las limitaciones tecnológicas, y aporta evidencia empírica de lo que Xu et al. (2025) anticipaban: la integración requiere condiciones organizacionales previas que la empresa todavía no posee por completo.

El hallazgo más propio de esta investigación es que los operarios vincularon la identificación de la pieza con la trazabilidad de la responsabilidad: quién soldó cada elemento y quién lo liberó. Interpretada según la ISO 19650, esta demanda corresponde a la cadena de producción, verificación y autorización, trasladada del documento al componente físico. Por ello, el modelo plantea el QR como portador de responsabilidad trazable, lo que habilita un control de calidad que los modelos genéricos no contemplan. A diferencia de Trani et al. (2014) y Foroughi Sabzevar et al. (2023), que emplean el QR como portador de atributos geométricos, este trabajo lo convierte en el registro de quién intervino cada pieza, una dimensión que la literatura BIM-QR en construcción no suele abordar. El modelo sería aplicable en empresas metalmeccánicas medianas con codificación propia y baja madurez digital, y menos pertinente en organizaciones que ya operan con BIM, donde el CDE existe y el aporte marginal del QR sería menor.

En la empresa estudiada no existe un modelo digital que extender, por lo que el QR no funciona como complemento, sino como sustituto del canal informal, e invierte la secuencia habitual: primero se instauro la disciplina de gestión de información y solo después el modelo tridimensional. Los estudios que documentan la integración BIM-QR (Trani et al., 2014; Foroughi Sabzevar et al., 2023), en cambio, se desarrollaron en organizaciones que ya contaban con modelos digitales, donde el código extiende una capacidad existente. Esa diferencia de punto de partida explica por qué el perfil detectado difiere de la literatura internacional: esos trabajos describen el tramo final de la trayectoria, mientras que esta investigación documenta su tramo inicial, hasta ahora sin evidencia. Una vez consolidado el nivel 1, los niveles superiores del modelo (Figura 2a) permitirían a la empresa avanzar hacia los escenarios que esos estudios describen, en la medida en que disponga de mayor capacidad económica y técnica.

Esta investigación encontró también que la disposición a capacitarse fue unánime y que la resistencia al cambio resultó minoritaria (7 menciones, frente a 14 de la falta de capacitación): el personal no rechaza la tecnología, sino que reconoce carecer de los conocimientos para adoptarla. A diferencia de buena parte de la literatura, que atribuye el rezago a la resistencia al cambio, este resultado sugiere que esa categoría puede estar sobrerrepresentada cuando se infiere de la no adopción sin distinguirla de la falta de competencias. La distinción tiene consecuencias prácticas: una barrera actitudinal exige gestión del cambio, mientras que una formativa exige capacitación, y confundirlas conduce a intervenciones mal dirigidas.

El modelo propone QR y no RFID, tecnológicamente superior en trazabilidad automatizada, por un criterio de proporcionalidad: RFID exige lectores dedicados, etiquetas de mayor costo e

infraestructura de captura, y su ventaja (lectura masiva sin línea de visión) rinde en volúmenes que esta empresa no maneja. El QR se lee con el teléfono que el operario ya posee, se imprime a bajo costo y no requiere infraestructura adicional. Para una organización cuya barrera es el costo y cuya madurez es nula, la elección correcta es la que reduce al mínimo la distancia entre la práctica actual y el primer paso viable; RFID sería pertinente en niveles superiores, una vez consolidada la disciplina que el QR ayuda a instaurar.

Con la misma lógica de proporcionalidad se seleccionó el entorno común de datos del nivel 1. En lugar de una plataforma especializada como Trimble Connect, cuya versión gratuita es limitada y cuyo uso a mayor escala requiere licencias de pago, el prototipo se implementó sobre Google Drive, servicio en la nube que la empresa ya utiliza. Google Drive no fue concebido como un CDE; sin embargo, permite reproducir las funciones básicas que la ISO 19650-1 asigna a ese entorno: estados de la información organizados en carpetas, permisos de acceso por carpeta, registro de actividad, historial de versiones y comentarios para la revisión. Como en el nivel 1 no se modifican planos en línea ni se federan modelos, estas funciones resultan suficientes para iniciar la transición, en coherencia con el principio de que el CDE es un proceso antes que una plataforma. La migración a un CDE especializado corresponde a los niveles superiores, cuando la empresa incorpore modelos BIM.

La verificación del prototipo aportó un hallazgo adicional: el operario de taller o el montador que no dispone de cuenta corporativa ni de licencia no accede a la información, aunque escanee el código, porque las plataformas comerciales de entorno común de datos condicionan el acceso a la autenticación del usuario. De ello se desprende una consecuencia de diseño: en organizaciones de baja madurez digital, el entorno común de datos y la capa de consulta en planta no pueden ser el mismo sistema, porque el primero exige control de acceso y el segundo, ausencia de fricción. Ninguno de los trabajos citados registra esta limitación, presumiblemente porque se desarrollaron en organizaciones donde el personal de campo ya cuenta con identidad digital.

La misma verificación mostró dos costos operativos que la sustitución del plano impreso traslada al dispositivo: el reflejo solar sobre la pantalla dificulta la lectura del plano a la intemperie, y la consulta queda supeditada a la conectividad del frente de trabajo. Ambos aspectos desplazan la dependencia del plano actualizado hacia el dispositivo y la señal y deben preverse explícitamente en la fase piloto, manteniendo el soporte impreso como respaldo mientras se consolida el nuevo flujo.

La principal implicación práctica es que la transformación digital de estas empresas no debería plantearse como una adopción tecnológica integral e inmediata, sino como un proceso escalonado que parta de lo que ya existe. Disponer de una codificación propia (la nomenclatura VM replicada en

planos, marcado y guías) es un punto de partida valioso: el modelo la digitaliza en lugar de sustituirla, lo que reduce la resistencia y capitaliza la disposición del personal a formarse. Para el sector, la barrera de entrada es más baja de lo que la percepción de costo sugiere, siempre que la implementación se diseñe por niveles y comience por la identificación digital básica anclada en un CDE.

La integración BIM-QR anclada en un CDE es la respuesta más pertinente al diagnóstico, frente a alternativas como la digitalización genérica, un ERP, las plataformas BIM de nivel 4 o RFID: responde a los tres problemas críticos del diagnóstico sin introducir funciones que la empresa aún no necesita, aprovecha la nomenclatura VM preexistente reduciendo la inversión inicial, y sigue la trayectoria de madurez de Succar (2009) con un avance progresivo que no exige condiciones tecnológicas que la organización todavía no posee.

La principal limitación deriva del diseño de caso único, que restringe la generalización estadística al sector; no obstante, el estudio se concibió para ser analíticamente transferible, pues el modelo por niveles, su anclaje en la codificación existente y los indicadores propuestos constituyen un esquema replicable. El diseño es transversal y diagnóstico-propositivo: el modelo fue objeto de una verificación funcional in situ de alcance limitado a una pieza, pero no ha sido implementado en operación continua ni validado mediante la medición de los indicadores propuestos, y la valoración de percepción, por su naturaleza ordinal y el tamaño de la muestra, se interpreta como tendencia y no como medición inferencial. A ello se suman limitaciones metodológicas: la validación de contenido recayó en un único juicio de experto y el análisis cualitativo se realizó sin fiabilidad inter-codificador. Finalmente, la ausencia de software BIM en la operación diaria condiciona el alcance de los niveles superiores del modelo en el corto plazo. Estas limitaciones definen las líneas de trabajo futuro.

CONCLUSIONES

El estudio muestra que, en una empresa metalmecánica con baja madurez digital, el punto de partida de la transformación es la instauración de una disciplina de gestión de información, antes que la adquisición inmediata de software. La evidencia del caso indica que los mayores conflictos se concentran en el flujo de información, el control de versiones y la coordinación entre taller y obra, mientras que los problemas de fabricación son relativamente poco frecuentes.

El principal aporte es un modelo conceptual de transición BIM-QR que aprovecha la nomenclatura VM ya utilizada por la empresa y la convierte en un identificador digital vinculado a un entorno común de datos. La propuesta añade la trazabilidad de la responsabilidad (quién fabrica, verifica y libera cada componente) y diferencia la información requerida en fabricación y montaje sin generar fuentes paralelas. De este modo, la transición se construye sobre prácticas existentes y reduce la distancia entre la gestión analógica y los principios de la ISO 19650.

La transformación digital de las empresas metalmecánicas de baja madurez puede iniciarse mediante intervenciones pequeñas y progresivas sobre los procesos que ya existen, sin sustituir de forma inmediata sus sistemas de trabajo. En términos prácticos, la implementación puede comenzar con un CDE básico, etiquetas QR, dispositivos móviles y capacitación, y avanzar por niveles conforme la organización consolida sus capacidades. La verificación funcional del prototipo mostró que ese primer nivel puede implantarse con servicios de uso gratuito y que el código QR da acceso en patio a la revisión vigente de los planos, aunque también evidenció que la capa de consulta en planta debe diseñarse sin exigir identidad digital al operario. La prioridad inmediata es validar el Nivel 1 mediante un piloto con medición antes-después de los tiempos de localización de información, la frecuencia de malentendidos planta-obra y las incidencias de trazabilidad.

Las conclusiones deben interpretarse dentro de las limitaciones del estudio: se analiza un único caso, con diseño transversal, una muestra pequeña, validación de contenido por un solo experto y una verificación funcional del prototipo circunscrita a una pieza, sin medición de los indicadores propuestos. Estas condiciones restringen la generalización estadística, pero no invalidan el valor analítico del diagnóstico ni la transferibilidad del esquema a organizaciones con características similares. Futuras investigaciones deben realizar estudios longitudinales, replicar el modelo en otras empresas y evaluar posteriormente tecnologías como RFID, gemelos digitales, IoT e inteligencia artificial una vez consolidada una fuente única y confiable de información.

DECLARACIONES

Consideraciones éticas. La participación fue voluntaria y se obtuvo consentimiento informado verbal de cada participante, previa explicación del propósito del estudio y del tratamiento anónimo de las respuestas. No se registraron datos personales identificables y la empresa autorizó el uso de su documentación técnica con los datos identificativos ocultados.

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener conflictos de intereses. Financiamiento. La investigación no recibió financiamiento externo. Disponibilidad de datos. Los datos anonimizados que sustentan los resultados están disponibles a solicitud razonada al autor de contacto. Contribución de los autores. Evelyn Andrade Merelo y Ricardo Ramos Andrade participaron en la conceptualización, el diseño metodológico, el análisis y la redacción del manuscrito; Doménica Paulette Rendón González y Wellington Isaac Maliza Cruz participaron en la supervisión y la revisión crítica del manuscrito. Todos los autores aprobaron la versión final.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanda, F. H., Balu, B., Adukpo, S. E., & Akintola, A. (2025). Decoding ISO 19650 through process modelling for information management and stakeholder communication in BIM. *Buildings*, 15(3), 431. <https://doi.org/10.3390/buildings15030431>
- Arellano Escobar, K., Andrade Valles, A. I., Castillo Campoverde, T. O., & Herrera, R. F. (2021). Assessment of BIM use in the early stages of implementation. *Revista Ingeniería de Construcción*, 36(3), 311–321. <https://doi.org/10.7764/ric.00005.21>
- Campoverde, T. C. (2025). Adopción de metodología BIM para la gestión de proyectos constructivos. *Revista Compendium: Cuadernos de Economía y Administración*, 12(2). <https://doi.org/10.46677/compendium.v12i2.1398>
- Foroughi Sabzevar, M., Gheisari, M., & Lo, L. J. (2023). AR-QR code for improving crew access to design and construction information. *Automation in Construction*, 154, 105017. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105017>
- George, D., & Mallery, P. (2022). *IBM SPSS Statistics 27 step by step: A simple guide and reference* (17th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003205333>
- Hennink, M., & Kaiser, B. N. (2022). Sample sizes for saturation in qualitative research: A systematic review of empirical tests. *Social Science & Medicine*, 292, 114523. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.114523>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill. ISBN: 978-1-4562-2396-0
- International Organization for Standardization. (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles* (ISO 19650-1:2018). <https://www.iso.org/standard/68078.html>
- Marzouk, M., Bin Mahmoud, A. A., Al-Gahtani, K. S., & Adel, K. (2025). Automation in construction (2000–2023): Science mapping and visualization of journal publications. *Buildings*, 15(15), 2789. <https://doi.org/10.3390/buildings15152789>
- Samuelson, O., & Stehn, L. (2023). Digital transformation in construction — A review. *Journal of Information Technology in Construction*, 28, 385–404. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.020>

- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- Trani, M. L., Bossi, B., Cassano, M., & Todaro, D. (2014). BIM and QR-code: A synergic application in construction site management. *Procedia Engineering*, 85, 520–528.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.579>
- Xu, L., Zou, Y., Lu, Y., & Chang-Richards, A. (2025). Automation in manufacturing and assembly of industrialised construction. *Automation in Construction*, 170, 105945.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105945>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications. ISBN: 978-1-5063-3616-9
- Zambrano Murillo, C., Paredes Cabezas, E. V., Zambrano Chalen, M., & Castro Hidrovo, D. (2025). Analysis of organizational factors and performance in BIM projects: Empirical evidence from the Latin American construction industry. *INTRA: Interdisciplinary Research and Analysis Journal*, 1(2), 12–23. <https://doi.org/10.63948/intraj.v1i2.599>

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles

FINANCIAMIENTO

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

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior.