

Proposal of a model for the use of industry 4.0 elements in asset-intensive industries

Propuesta de un modelo de uso de elementos de la industria 4.0 en industrias intensivas en activos

Camilo Andrés Cardona Agudelo, MBA¹, Alba Zulay Cárdenas Escobar, Mg¹, Ana Milena Cardona Fernández, Highest Degree¹ and Andrea Ñañez Quiroz, Highest Degree¹

¹Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia, ccardona@utb.edu.co, acardenas@utb.edu.co, ananez@utb.edu.co, acardona@utb.edu.co

Abstract— *The corporate strategy of today's asset-intensive companies faces an interconnected world, which demands management systems that guarantee the fulfillment of all proposed targets in the most efficient way possible. In this context, the concept of Operational Excellence is born, which aims to ensure competitiveness at all levels and departments of an organization on a continuous basis. The adoption of Industry 4.0, I4.0, allows to reach a higher degree of efficiency within the organizational processes that it turns out to be an important ally in achieving this goal. However, one of the main challenges that firms face is the enhancement of digital technologies in their value chain, not only in their missionary processes, but also in management and backup processes. After an extensive literature review, it is evident that there is a lack of tools aimed at management to provide criteria on how to transform their installed capacity. In this line of thinking, this article proposes a model of applicability of I4.0 elements in capital-intensive industries.*

Keywords-- operational excellence, industry 4.0, digital transformation, capital intensive industry, asset management.

Resumen- *La estrategia corporativa de las empresas intensivas en activos de hoy se enfrenta a un mundo interconectado, que demanda sistemas de gestión que garanticen el cumplimiento de todos los objetivos propuestos de la forma más eficiente posible. En este contexto, nace el concepto de excelencia operacional, que tiene como objetivo asegurar la competitividad en todos los niveles y departamentos de una organización de manera continua. La adopción de la Industria 4.0, I4.0, permite alcanzar un mayor grado de eficiencia dentro de los procesos organizacionales que resulta ser un aliado importante en el logro de este objetivo. Sin embargo, uno de los principales desafíos que enfrentan las empresas es la potenciación de las tecnologías digitales en su cadena de valor, no solo en sus procesos misionales, sino también en los procesos de gestión y respaldo. Luego de una extensa revisión bibliográfica, se evidencia que existe una carencia de herramientas dirigidas a la gestión de activos que aporten criterios sobre cómo transformar su capacidad instalada. En esta línea de pensamiento, este artículo propone un modelo de aplicabilidad de los elementos I4.0 en industrias intensivas en capital.*

Palabras claves—excelencia operacional, industria 4.0, transformación digital, industria intensiva en capital, gestión de activos

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las industrias intensivas en activos compiten en un mundo globalizado que les exige y reta a ser más eficientes en sus operaciones. Estas operaciones, reciben

y generan información de toda índole que permiten la gestión y control de los procesos de las que estas hacen parte, con el fin de cumplir las metas establecidas por la estrategia corporativa. Todo este ciclo, desde las personas y activos hasta la estrategia corporativa, requiere de sistemas de gestión de procesos que aseguren el cumplimiento de los objetivos definidos. Dicho sistema de gestión contiene un gran número de variables a gestionar que, en caso de ser ineficientes, afectarán los indicadores de desempeño. Lo anterior se debe a la baja eficiencia operacional, que, al mismo tiempo, son los retos que las organizaciones industriales deben asegurar con un sistema de gestión de activos, como el que propone la Norma ISO55000:2014 Asset Management.

Los sistemas de gestión de activos son soportados por sistemas de información que permiten que los flujos de esta generen valor en cada proceso. El desarrollo de dichos sistemas es un factor crítico para el desempeño de los procesos, y su evolución es directamente proporcional a la mejora de los últimos.

El desarrollo de nuevas tecnologías que permiten estos progresos a partir del uso de la información como piedra angular de la evolución digital, se conoce como Industria 4.0, I4.0. El término “Industria 4.0”, de acuerdo con Kagermann et al. [1], se compone por una primera parte que refleja la base histórica de la fabricación, y de una segunda parte, que es el “4.0”, que se refiere a la cuarta fase del proceso de industrialización [2]; es un concepto que une las tecnologías que dieron paso a la tercera revolución industrial, con las tecnologías propias de la era de la información. Surgió por primera vez en 2011 con el objetivo de caracterizar procesos de fabricación altamente digitalizados, para que la intervención humana se reduzca al mínimo [3]. Una de sus características principales es la tendencia a la automatización y el intercambio de los datos en las tecnologías de fabricación [4].

Se ha definido por tanto la I4.0 como “una nueva etapa de madurez industrial basada en la conectividad proporcionada por el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y el uso de varias tecnologías digitales como la computación en la nube, el big data y la inteligencia artificial” [5],[6]. Para las empresas, que hoy por hoy se exponen a un entorno altamente volátil y competitivo, este cambio se basa en la introducción en el IoT,

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.412>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

de forma que se alinee un paradigma caracterizado por la inteligencia y el trabajo en red [5].

Según Basl [7], en general, el concepto de I4.0 se puede caracterizar como una transformación de la producción como fábricas automatizadas separadas en entornos de fabricación integrados totalmente automatizados y optimizados. Estas nuevas tecnologías tendrán un impacto en todas las disciplinas, economías e industrias, e incluso desafiarán nuestras ideas sobre lo que significa ser humano [8].

El presente documento tiene como objeto presentar un modelo de aplicabilidad de uso de los elementos de la I4.0, en el Sistema de gestión de empresas intensivas en activos, basado en la norma ISO 55000:(2014) Asset Management – Management System, como insumo para trazar la ruta de la transformación digital empresarial.

II. METODOLOGÍA

La metodología de la investigación que se desarrolla es de tipo descriptiva, la cual inicia con la contextualización del concepto de tecnología digital llamada I4.0 y su uso en las industrias intensivas en activos, para luego realizar un desarrollo teórico alrededor de los tópicos de la gestión de activos, la Excelencia Operacional (EO) y su relación con la I4.0; para luego proponer un modelo de validación, bajo metodología cualitativa a partir de la ponderación de matrices, para llegar a recomendaciones de la aplicabilidad de las tecnologías digitales en el sistema de gestión de activos, basado en norma ISO55000:2014 Asset Management.

La presente investigación limita su alcance a los procesos focos de aplicación en la industria intensiva en activos, que no son más que los de soporte o habilitadores del proceso misional (producción). La eficiencia operacional que se pretende impactar con esta investigación es la asociada a las actividades que soportan las operaciones de transformación y/o producción, como el mantenimiento, la logística, el soporte técnico de ingeniería, el abastecimiento y la gestión de procesos.

III. MARCO CONCEPTUAL DEL MODELO

A. Elementos habilitadores de la I4.0

Es importante recalcar que el hecho de que estas tecnologías sean relevantes en la Industria 4.0, no quiere decir que todas ellas deban estar presentes en los procesos de la organización [9]. Cada organización deberá elegir cuál de ellas puede tener un mayor impacto en sus procesos o en sus planes estratégicos. Los que influyen mayormente a la I4.0 son:

1) Hiperconectividad: Interacción entre sistemas de información, redes de datos y dispositivos relacionados entre sí a través del internet.

2) Ciberseguridad: Seguridad aplicada a las tecnologías de la información.

3) Los sistemas ciber físicos: Integración de los procesos productivos físicos de una industria en tres etapas: Identificación y registro de información; integración de sensores y actuador; y desarrollo de sensores y actuadores [10].

4) El Internet de las Cosas: Protocolo de comunicación entre las máquinas [11], que permite que ellas mismas realicen soluciones independientemente.

5) El Big Data: Gestión de análisis y tratamiento de grandes bases de datos que son producidos gracias al Internet de las Cosas [4].

6) El Internet de los Servicios (Cloud Computing): Este se encarga de conectar los programas y plataformas asociadas a los procesos a través de la red [9].

7) Realidad Virtual y Aumentada: Recreación virtual de un entorno, visualizarlo a través de medios como pantallas o mediante unos visores, gafas o cascos especiales y la realidad aumentada se describe como diferentes capas de información superpuestas a la imagen real.

8) Robótica Industrial: Según la ISO 8373:2012 “manipulador multifuncional, controlado automáticamente, reprogramable en tres o más ejes, que puede estar fijo o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial”.

9) Inteligencia Artificial: Combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas que presenten las mismas capacidades que el ser humano [9]. En una vista más detallada según el dominio de aplicación, se pueden destacar algunas de las tecnologías de la I4.0 en la actualidad [12].

B. Flujo de la información como variable clave en la I4.0

En este nuevo ambiente, el flujo de información entre los mundos físicos y digitales es indispensable para la etapa I4.0; dicho flujo, como se muestra en la Fig. 1, tiene lugar a través de una serie de pasos iterativos conocido como PDP – physical-to-digital-to-physical [10], así:

1) *Del mundo físico al digital.* Se captura la información del mundo físico y se crea un registro digital de esta.

2) *De digital a digital.* La información se comparte y se interpreta utilizando analítica avanzada, análisis de escenarios e inteligencia artificial para descubrir información relevante.

3) *Del mundo digital al físico.* Se aplican algoritmos para traducir las decisiones del mundo digital a datos efectivos, estimulando acciones y cambios en el mundo físico.

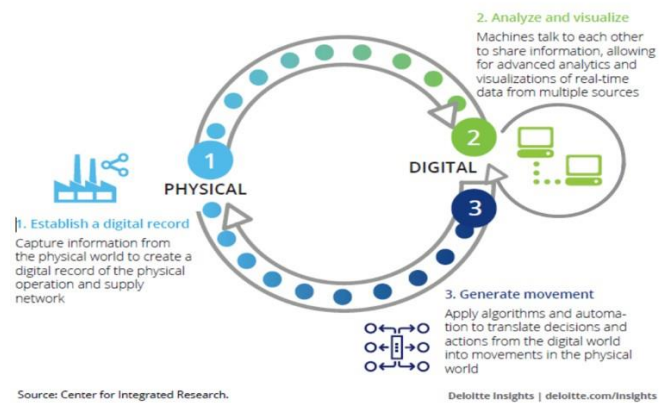


Fig. 1 Lazo Físico-Digital-Físico. Fuente: Tomado de Deloitte (2017)

C. Impacto de la I4.0

Los impactos de la I4.0 pueden sentirse en múltiples niveles [13], como en grandes ecosistemas, a nivel organizacional y a nivel individual (en empleados y clientes).

Dado que la I4.0 afecta a todos los agentes del ecosistema (los proveedores, los clientes, las consideraciones regulatorias, los inversores, terceros...). Estas tecnologías permiten interacciones entre cada punto de una red. Por otro lado, al poseer los datos en tiempo real: las hace más receptivas, proactivas y predictivas. Asimismo, permite a la organización reducir sus riesgos en materia de productividad [13]. Es importante resaltar también que, a nivel organizacional, la I4.0 impacta los dos vectores de la organización, las operaciones industriales, y el crecimiento del negocio. Ahora bien, a nivel individual, la I4.0 puede significar diferentes cosas para cada uno.

D. Sistema de gestión integral por procesos

El sistema de Gestión de Activos es el que materializa las estrategias tácticas y operativas sobre el mismo en su ciclo de vida. En ese orden de ideas, esa gestión tiene como objeto y alcance, asegurar todas aquellas actividades y prácticas sistemáticas a través de las cuales una organización gerencia de manera óptima sus activos físicos y el comportamiento de los equipos, riesgo y gastos durante su Ciclo de Vida Útil [14].

El objetivo de esta transformación digital a los sistemas de gestión [10], es la asegurar la Eficiencia Operacional con resultados como: (1) Maximizar la utilización de activos y minimizar el tiempo de inactividad. (2) Impulsar la eficiencia laboral directa e indirecta – Productividad. (3) Administrar los costos de la cadena de abastecimiento y logística de las operaciones. (4) Asegurar estabilidad y precisión de Planes y Programas Empresariales.

El modelo del sistema de gestión de activos, que actualmente está Normalizado por el documento ISO55000:2014 Asset Management, será el pilar de la construcción del modelo de aplicabilidad de elementos de tecnología I4.0 en los sistemas de información de las industrias intensivas en activos y su hoja de ruta hacia la implementación de la transformación digital.

E. Sistemas de información como soporte de la gestión de activos

Las organizaciones intensivas en activos dependen de los datos de los activos, información y conocimiento de activos como habilitadores claves en la realización de la gestión estratégica de activos actividades y actividades operacionales [14].

En el sistema de gestión de activos, la información de activos es un término colectivo que puede incluir los siguientes tipos de información general: (1) Registros de la existencia de un activo físico. (2) Atributos sobre estos activos. (3) Ubicación, información espacial y conectividad. (4) Información de desempeño sobre el activo. (5) Activo planificado a corto, mediano y largo plazo. (6) Actividades de

intervención y la historia de actividades. (7) Documentos, dibujos CAD y fotografías del activo.

La calidad de los datos y el conocimiento de los activos deben ser validados, analizados y gestionados para asegurar su coherencia y aporte a la toma de decisiones. El grupo de habilitadores de conocimiento según el Institute of Asset Management [14], son: (1) Estrategia de información de activos, (2) estándares de conocimiento de activos, (3) sistemas de información de activos, (4) datos de activos y conocimiento.

Cabe resaltar que una estrategia de información de activos debe definir cómo una organización tiene la intención de recopilar, mantener, utilizar y disponer de información de activos para apoyar tanto planificación estratégica y actividades de entrega del ciclo de vida.

Una estrategia de información de activos debe incluir consideraciones de: (1) Decisiones clave y la información requerida para apoyarla. (2) Relación con el proceso de negocio de extremo a extremo, para la gestión de activos. (3) El enfoque propuesto para definir la información. (4) Requisitos teniendo en cuenta los costos que proporcionan información de activos y el valor de la información. (5) Flujos de información, interfaces del sistema y lógica. (6) Gestión de datos. (7) Los costos, beneficios y plazos para la entrega de mejoras a la información de activos.

F. Claves de la transformación digital

De acuerdo con el Dr. Amendola, Luis, Ph.D y la Dra. Tibaire Depool, Ph.D [15], para los directivos, los principales beneficios que aportará las tecnologías I4.0, será: mejores resultados financieros e incremento de la satisfacción de los trabajadores. Gracias a la transformación digital, los empleados consiguen ser más productivos, se da una optimización de la experiencia de cliente y ahorro de costes TI.

Los beneficios que se estiman en la implementación de los proyectos de transformación digital orientan sus resultados a la mejora de la eficiencia operacional de las industrias y la conexión con el cliente en una experiencia personalizada con el producto, como lo evidencia el estudio la reinención digital de la industria argentina [16]. En un estudio socializado en la revista OIKONOMICS de España, en una muestra de 1542 empresas en 2014, Investigación también concluye que las empresas con unos usos más intensivos de las tecnologías I4.0 presentan mejores resultados en términos de ventas, valor añadido, exportaciones y margen bruto de explotación [17].

V. PROPUESTA DEL MODELO

1) Generalidades del modelo

Se diseña un modelo con el objetivo de determinar el nivel de aplicabilidad de los elementos de tecnología digital de la I4.0, en los sistemas de información implementados en la gestión de procesos, en miras de impactar positivamente la eficiencia operacional de las empresas intensivas en activos.

Como entradas al modelo, se deben listar y caracterizar los diferentes sistemas de información oficiales que soportan los procesos que hacen parte del sistema de gestión de activos

de su ciclo de vida. Teniendo en cuenta que cada organización desarrolla sus sistemas de información de manera particular, se deben establecer los límites de estos para que su valoración sea focalizada y evitar la generalidad. Entre más acotado sea el sistema más específico será la determinación del nivel de aplicabilidad de los elementos de la I4.0 en la información de la gestión empresarial de las empresas intensivas en activos

Una vez aplicado el modelo, los entregables referentes al nivel de aplicabilidad de uso de elementos de I4.0, permitirán definir en tres categorías los resultados de la ponderación:

- *Recomendación de implementación de elementos de la I4.0 en el sistema de información valorado en el corto plazo:* se registra un nivel superior de aplicabilidad óptima de la tecnología I4.0 en la información valorada a corto plazo.
- *Recomendación de revisión del sistema de Información para elevar el nivel de aplicabilidad de elementos de I4.0 en el sistema de información valorado:* se registra un nivel medio de aplicabilidad óptima de la tecnología I4.0 en la información valorada. Se recomienda revisar los factores de criticidad y la confianza del sistema de información valorado para aumentar el nivel de aplicabilidad y validar nuevamente con los cambios realizados.
- *Recomendación de no uso de elementos de I4.0 en el sistema de información valorado en el corto plazo:* se registra un nivel bajo de aplicabilidad óptima de los elementos de tecnología I4.0 en la información valorada. No se recomienda aplicar tecnología I4.0 a corto plazo. Se recomienda validar la necesidad del sistema de información valorado o integrarlo a otros sistemas.

Dentro del desarrollo del modelo, se tiene que la valoración realizada de los factores y su siguiente nivel de detalle en: Uso, Impacto y Confianza de la información, son de carácter excluyente bajo una valoración de Cumple o no Cumple. Posterior a esto, el valor de los resultados de la valoración de cada factor, se cuantifican en una escala de Bajo, Medio y Alto según los resultados del punto anterior.

Por último, se destaca que el valor del Factor de Confianza de la Calidad y Confiabilidad de la información, se valora el sistema de información de manera particular y no los procesos a los que sirve. En la Fig. 2 se muestra en forma esquemática el modelo propuesto.

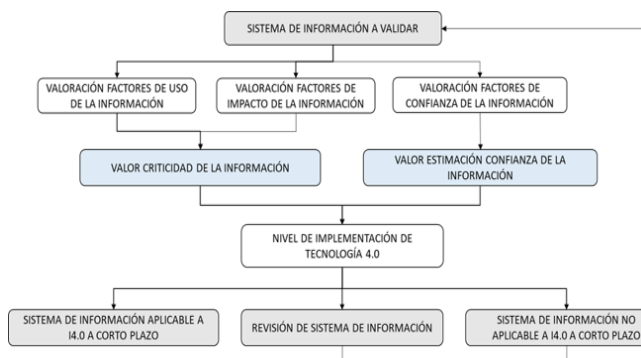


Fig. 2 Modelo del nivel de aplicabilidad de uso de elementos de I4.0 en los sistemas de información de la gestión empresarial en las industrias.
Fuente: Elaboración propia.

2) Valoración de la criticidad y confianza de la información generada por los sistemas de información a validar

El modelo se inicia con la lista de Sistemas de Información del sistema de gestión integral que desea valorar, debidamente acotados en los siguientes aspectos:

- Proceso(s) que soporta y Objetivo(s) del Sistema de Información. Ver tabla 1.
- Software y Hardware que soporta a los sistemas de información
- Datos y variables de información foco de la valoración

TABLA 1
PROCESO DE GESTIÓN Y SUS PRINCIPALES SISTEMAS DE INFORMACIÓN QUE LO SOPORTAN

Procesos de gestión y sus principales sistemas de información que lo soportan	
Proceso de gestión	Sistemas de información de gestión integral
Investigación & Desarrollo	Sistemas de Información referente a proyectos de incorporación y desincorporación.
Planeación Táctica & Operativa	Sistemas de Información referente a los Planes establecidos para gestión del ciclo de vida del activo: Incorporación, Operación, Mantenimiento y Desincorporación.
Abastecimiento y Logística de las operaciones	Sistemas de Información referente a la compra de bienes y servicios habilitadores de la operación y mantenimiento.
Operación y Mantenimiento del activo	Sistemas de Información referente a la operación y mantenimiento de activos productivos.
Gestión y Control de Procesos	Sistemas de Información referente a la gestión de indicadores de medio y resultados, gestión de riesgos y controles de procesos.

Fuente: Elaboración propia

Con el sistema de información acotado, se procede a valorar el mismo según la complejidad de los factores Uso e Impacto de la Información en el sistema de Gestión Integral de Procesos según el modelo de gerenciamiento de activos propuesto en la ISO55000.

2.1 Valoración criticidad de la información

Para la valoración del uso e impacto de la información se responde SI el factor cumple o NO cumple con la descripción planteada. La valoración final de los factores de uso se establece según el número de respuestas de cumplimiento si el factor tiene una valoración de alto, medio o bajo.

2.1.1 Factores del uso de la información

En la tabla 2, se relacionan los tres factores del uso de la información que recogen los aspectos que el modelo considera como los más críticos dentro de la interrelación entre el sistema de gestión de activos y los sistemas de información que los soportan, estos son:

- *Niveles de la Gestión de la Organización (Estratégico, Táctico y Operativo):* identifica si el sistema de información es usado en los tres niveles de la gestión integral de procesos, pues si esto ocurre así, es garantía de que la información es de carácter prioritaria y está

alineada con los procesos organizacionales en sus planes, programas y resultados.

- *Los procesos que integran la gestión del activo:* identifica si el sistema de información es utilizado por varios procesos de la organización para cumplir objeto de la empresa, ya que la interdependencia que ocasiona lo hace prioritario para la organización
- *La Frecuencia de generación de la información de los procesos que integran el sistema de gestión del activo y los niveles donde este se desarrolla:* pues si está omitido a una alta frecuencia de registro, tratamiento, análisis y distribución, esto conlleva a mayores esfuerzos en su operación y por ende mayores costos. En caso de no ser eficiente un sistema de información con esta condición de alta frecuencia de uso, las fallas y baja eficiencia puede causar problemas en los resultados operativos, financieros y de control de procesos.

TABLA 2

TABLA DE VALORACIÓN FACTORES DE USO DE LA INFORMACIÓN

Factores de uso de la información		¿cumple?	
Descripción		SI	NO
Organización del Sistema de gestión integral	En este factor se debe establecer si el sistema de información valorado está presente en los tres niveles de gestión empresarial: estratégico, táctico y operativo.		
Procesos del Sistema de gestión integral	En este factor se debe establecer si el sistema de información valorado está presente en dos o más procesos del sistema de gestión integral: planeación, operación y/o habilitador.		
Frecuencia de Generación de la Información	En este factor se debe establecer si el sistema de información valorado tiene una frecuencia de uso menor a semanal.		

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Factores del impacto de la información

En la tabla 3, se relacionan los tres factores de impacto de la información que integran los aspectos que el modelo considera como los más críticos dentro de la interrelación entre el sistema de gestión de activos y los sistemas de información que los soportan, estos son:

- *Gestión Financiera de resultados:* siendo el proceso financiero de alta importancia para la gestión de la compañía, es muy relevante que la transformación digital permita asegurar la confiabilidad, calidad y seguridad de la información.
- *Gestión del Activo en su ciclo de vida:* en estos planes y programas y sus procesos, es donde se ejecutan la mayoría de los recursos utilizados para la producción en las industrias, por ende, la eficiencia operacional y la productividad en todas las actividades depende de su óptimo desempeño.
- *Gestión de Controles de Proceso en riesgos empresariales:* son de gran importancia en el gerenciamiento de las industrias intensivas en activos, ya que son de obligatorio cumplimiento y las leyes antes desviaciones pueden poner el riesgo la continuidad de la empresa o consecuencias mayores a los procesos y/o personas.

TABLA 3

TABLA DE VALORACIÓN FACTORES DE IMPACTO DE LA INFORMACIÓN

Factores de impacto de la información		¿cumple?	
Descripción		SI	NO
Gestión financiera	En este factor se debe establecer si el sistema de información valorado genera información de resultado del proceso financiero de ingresos (margen operativo) y/o costos operacionales.		
Gestión del activo	En este factor se debe establecer si el sistema de información valorado genera información de resultado de los planes y programas de la operación, mantenimiento, abastecimiento y/o logística.		
Gestión de controles	En este factor se debe establecer si el sistema de información valorado genera información de soporte de controles internos y/o externos del proceso de gestión de riesgos empresariales.		

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Valoración de los factores de uso e impacto

Luego de establecer los factores de uso e impacto de la información, la valoración final de ambos factores se establece según el número de respuestas de cumplimiento, a partir de lo cual se define si el factor tiene una valoración de alto, medio o bajo. Los resultados se deben clasificar bajo los parámetros de la tabla 4, según las respuestas entregadas en cada uno de los factores

TABLA 4

TABLA DE CALIFICACIÓN FACTORES DE USO E IMPACTO DE LA INFORMACIÓN

Valor	Valoración del uso de la Información:
3 Respuestas SI Alto	Valor representa que la Información procesada tiene alto nivel de uso en el sistema de gestión empresarial.
Combinaciones SI/NO Medio	Valor representa que la Información procesada tiene medio nivel de uso en el sistema de gestión empresarial.
3 Respuestas NO Bajo	Valor representa que la Información procesada tiene bajo nivel de uso en el sistema de gestión empresarial.

Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Valoración de la criticidad de la información

Una vez valorados los factores de uso e impacto de la información, se establece el nivel de criticidad de la información a partir de la matriz de ponderación alto, medio y bajo de cada factor valorado (uso e impacto), como se presenta en la tabla 5.

TABLA 5

MATRIZ DE CRITICIDAD DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

Matriz de criticidad del sistema de información en el sistema de gestión integral de activos			
Uso del sistema de información	Impacto del sistema de información		
	Alto	Medio	Bajo
Alto	Alto	Alto	Medio
Medio	Alto	Medio	Bajo

Bajo	Medio	Bajo	Bajo
------	-------	------	------

Fuente: Elaboración propia

2.2 Valoración confianza de la información

Para la valoración del uso e impacto de la información se responde SI el factor cumple o NO cumple con la descripción planteada. La valoración final del factor de confianza se establece según el número de respuestas de cumplimiento si el factor tiene una valoración de alto, medio o bajo.

2.2.1 Factor de confianza de la información

Según la tabla 6, se valora el sistema según la confianza de la información en función de los tres factores críticos para el sistema de gestión integral de procesos, en términos de calidad, confiabilidad y seguridad de la información, requisito para el aseguramiento de la toma de decisiones y la confidencialidad de los sistemas de información.

- **Información digitalizada:** identifica a nivel de digitalización de la información, dado que la documentación manual de información tiene mayor probabilidad de alterarse por errores en su gestión afectando la calidad y confiabilidad de esta
- **Uso plataforma corporativa:** el uso de plataformas únicas evita los canales de comunicación entre plataformas que aumentan la probabilidad de corrupción de los datos afectando la calidad y seguridad de la información.
- **Uso de normatividad/estandarización regulada:** pues los procesos que están normalizados y auditados por entes (internos o externos a la organización) que certifican la adherencia a la norma o estándar, son un mecanismo sostenible que asegura la confiabilidad de la información en el sistema de gestión

TABLA 6

TABLA DE VALORACIÓN FACTORES DE CONFIANZA DE LA INFORMACIÓN

Factores de confianza de la información		¿Cumple?	
Descripción		SI	NO
Información digitalizada	En este factor se debe establecer si el sistema de información valorado tiene toda su información digitalizada.		
Uso plataforma / aplicación digital única	En este factor se debe establecer si el sistema de información valorado usa una única plataforma / aplicación de Tecnología Digital.		
Uso de normatividad / estandarización regulada	En este factor se debe establecer si el sistema de información valorado está sometido a una estandarización regulada por Normas que son auditadas regularmente.		

Fuente: Elaboración propia.

Luego de establecer el factor de confianza, la valoración final se establece según el número de respuestas de cumplimiento, a partir de lo cual se define si el factor tiene una valoración de alto, medio o bajo, como se establece en la tabla 7

TABLA 7

TABLA DE CALIFICACIÓN FACTORES DE CONFIANZA DE LA INFORMACIÓN

Valor	Valoración del uso de la Información:
3 Respuestas SI ALTO	Valor representa que la Información procesada tiene alto nivel de uso en el sistema de gestión empresarial.
Combinaciones SI/NO MEDIO	Valor representa que la Información procesada tiene medio nivel de uso en el sistema de gestión empresarial.
3 Respuestas NO BAJO	Valor representa que la Información procesada tiene bajo nivel de uso en el sistema de gestión empresarial.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados se deben clasificar bajo los parámetros de la tabla 8, según las respuestas entregadas en cada uno de los factores.

TABLA 8

MATRIZ DE APLICABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN A LA I4

Nivel de aplicabilidad de uso de elementos de i4.0 en los sistemas de información			
Valor de la criticidad de la información	Valor de la confianza de la información		
	ALTO	MEDIO	BAJO
ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO
MEDIO	ALTO	MEDIO	BAJO
BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO

Fuente: elaboración propia

A. Nivel de aplicabilidad de uso de elementos de I4.0 en los sistemas de información

Una vez determinados los valores de Criticidad y Confianza de la Información, se establece el nivel de aplicabilidad de la información a partir de la matriz de ponderación de los factores de los sistemas de información en su relación con el sistema de gestión de activos.

Los resultados de la Matriz se deben interpretar según los criterios registrados en la tabla 9.

TABLA 9

VALORACIÓN DEL NIVEL DE APLICABILIDAD DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN A TECNOLOGÍAS I4.0

Valor	Nivel de aplicabilidad de uso de elementos de i4.0 en los sistemas de información
ALTO	Nivel superior de aplicabilidad óptima de la tecnología I4.0 en la información valorada a corto plazo.
MEDIO	Nivel medio de aplicabilidad óptima de la tecnología I4.0 en la información valorada. Se recomienda revisar los factores de criticidad y la confianza del sistema de información valorado para aumentar el nivel de aplicabilidad y validar nuevamente con los cambios realizados.
BAJO	Nivel bajo de aplicabilidad óptima de la tecnología I4.0 en la información valorada. No se recomienda aplicar tecnología I4.0 a corto plazo. Se recomienda validar la necesidad del sistema de información valorado o integrarlo a otros sistemas.

Fuente: Elaboración propia

Cabe recordar que la presente investigación se limita a la articulación de los sistemas de información del sistema de gestión de activos según las Normas: ISO 55000:2014(E): Asset Management y los elementos de tecnología digital bajo el concepto de Industria 4.0. Así mismo, se mantiene presente que la eficiencia operacional que se pretende impactar con este estudio es la asociada a las actividades que soportan las operaciones de transformación y/o producción, como el mantenimiento, la logística, el soporte técnico de ingeniería, el abastecimiento y la gestión de procesos.

Para futuros trabajos, queda abierta la posibilidad de replantear el presente modelo con diferentes variables a las propuestas aquí, sin embargo, valdría la pena el ejercicio de replicar el presente modelo, en miras de esbozar más claramente posibles sesgos distintas a las ya reconocidas por los autores.

Así mismo, con relación a las recomendaciones de continuidad de la investigación, se hacen las siguientes propuestas:

- Investigación sobre Desarrollos de modelos de gestión del cambio de tecnología digital en industrias intensivas en activos, en el área de producción (esta investigación se centró en el área de mantenimiento por interés de autores de aplicación en el corto plazo).
- Investigación aplicable a desarrollo de modelos de integración de sistemas de información, con el objetivo de optimizar procesos y aumentar la posibilidad de focalizar las inversiones en tecnología I4.0 viabilizando los proyectos de inversión.
- Investigación que pondere las actividades que representen el Pareto de los costos operacionales e identifique que tecnologías I4.0, representarán la mayor optimización en términos de productividad y reducción de costo.
- Investigación sobre Desarrollos de modelos de gestión del cambio de tecnología digital en industrias intensivas en activos, bajo estándares de desarrollo de proyectos.

VII. CONCLUSIÓN

La cuarta revolución industrial se centra en llevar al máximo potencial el uso de la información que generan los procesos productivos y de soporte, para ajustar el desempeño de los activos y sistemas a partir de toma de decisiones en tiempo real.

Estas tecnologías digitales trascienden todos los niveles de procesos de la gestión empresarial:

- A nivel Operativo, la instalación de sensores y tecnología para la transmisión y almacenamiento de datos para maximizar el control automático de activos y sistemas.
- A nivel Táctico, el análisis de grandes bases de datos para generar los indicadores de gestión que respalden la planeación, programación, gestión y control de los procesos de soporte y habilitadores del proceso misional de producción, mediante el monitoreo en línea y el pronóstico del desempeño de los procesos.
- A nivel Estratégico, integrar y concretar toda la información del negocio, para lograr gestión de la estrategia a intervalos cortos, con la oportunidad de ajustar la misma en función de los resultados financieros o de otros factores de alto nivel.

Para que este flujo de información genere valor en cada nivel de la organización, es requerido un sistema de gestión de procesos para articular las actividades y protocolos entre cada nivel. Para la industria intensiva en activos, se ha desarrollado la Norma ISO55001:2014 - Asset Management, que cumple con ese objetivo. Entonces la conexión entre el sistema de gestión de activos y la transformación digital es obligatoria para generar procesos sostenibles y que generen valor de retorno que permita el crecimiento rentable.

A partir de los conceptos descritos anteriormente, se diseñó un modelo adherido al direccionamiento de la Norma ISO55000:2014, el cual permite determinar si un sistema de información es apto para recibir un proyecto de transformación digital, en función al cumplimiento de características asociadas al sistema de gestión de activos, estas como la criticidad y la confianza de la información procesada. La

relación de criticidad y confianza valorada permite identificar el nivel de aplicabilidad de los elementos de la industria 4.0. Esta valoración está planteada como herramienta para asegurar que la gestión del cambio de tecnología de la información se priorice los sistemas de información que generen valor a los procesos, retomen la inversión y tengan la seguridad y confiabilidad que proteja la información.

REFERENCIAS

- [1] H. Kagermann, J. Helbig, A. Hellinger y W. Wahlster, Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE4.0: securing the future of German manufacturing industry, final report of the Industrie 4.0 working group, 2013.
- [2] M. Cugno, R. Castagnoli y G. Büchi, «Openness to Industry 4.0 and performance: The impact of barriers and incentives,» *Technological Forecasting and Social Change*, 2021.
- [3] I. Castelo-Branco, F. Cruz-Jesus y T. Oliveira, «Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union,» *Computers in Industry*, 2019.
- [4] GEINFOR, ¿Qué es la Industria 4.0?, 2020.
- [5] G. Benitez, N. Ayala y A. Frank, Industry 4.0 innovation ecosystems: an evolutionary perspective on value co-creation, 2020.
- [6] P. Gaiardelli, G. Pezzotta, A. Rondini, D. Romero, F. Jarrahi, M. Bertoni, S. Wiesner, T. Wuest, T. Larsson, M. Zaki, P. Jussen, X. Boucher, A. Bigdeli y S. Cavalieri, «Product-service systems evolution in the era of Industry 4.0. In Service Business,» *Springer Berlin Heidelberg*, 2021.
- [7] J. Basl, «Companies on the Way to Industry 4.0 and their Readiness,» *Journal of Systems Integration*, 2018.
- [8] B. Marr, «Por qué todos deben prepararse para la 4ta revolución industrial,» *Forbes*, 2016.
- [9] E. Rodal Montero, Industria 4.0 Conceptos, tecnologías innovadoras y retos, 2020.
- [10] Deloitte, «Forces of change: Industry 4.0. Deloitte Insights,» 2017.
- [11] «MICROTECH.,» 2020. [En línea]. Available: www.microtech.es.
- [12] CEPAL, «Oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe Gracias por su interés en esta,» *Naciones Unidas*, p. 1–152.
- [13] Deloitte, «Industry 4.0 and manufacturing ecosystems,» *Deloitte University Press*, pp. 1-23, 2016.
- [14] «ASSET MANAGEMENT – AN ANATOMY.,» *INSTITUTE OF ASSET MANAGEMENT*, 2011.
- [15] L. Amendola y T. Depool, «¿Cómo IloT (Industrial Internet of Things) está apoyando el rendimiento de la gestión de activos?,» 2019.
- [16] Accenture, «Industria X.0 Combina y Conquista,» 2018.
- [17] J. Torrent-Sellens, «Industria 4.0 y resultados empresariales en España: un primer escaneado,» *OIKONOMICS*, 2019.