

ARTÍCULO ORIGINAL

Procedimiento para la mejora de la capacidad de gestión de procesos productivos con enfoque de Industria 4.0

*Procedure for Improving the Management Capacity of Productive
Processes with an Industry 4.0 Approach*

Javier Villate Acosta

jvillatea@gmail.com • <https://orcid.org/0009-0003-1060-0579>

CENTRO DE NEUROCIENCIAS DE CUBA

Yuniel Bolaño Rodríguez

ybolanor@gmail.com • <https://orcid.org/0000-0001-1079-5321>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"

Recibido: 2025-11-05 • Aceptado: 2025-12-15

RESUMEN

La Industria 4.0 representa un nuevo paradigma industrial y tecnológico basado en la integración de herramientas digitales avanzadas. Su aplicación articulada permite optimizar la planificación, fortalecer la toma de decisiones sustentadas en datos, incrementar la eficiencia, garantizar la trazabilidad y ampliar la capacidad productiva en sistemas manufactureros modernos. Estas transformaciones resultan especialmente relevantes en sectores biomédicos, donde la precisión y la personalización de los productos constituyen factores críticos. En este contexto, las empresas buscan evolucionar hacia fábricas inteligentes, capaces de ser más competitivas y sostenibles en un entorno global dinámico.

El presente trabajo propone un procedimiento orientado a mejorar la capacidad de gestión de los procesos de producción, fundamentado en los principios de la Industria 4.0. Este enfoque fue aplicado al proceso de producción de prótesis auditivas en el Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO). Los resultados evidencian que la adopción progresiva de herramientas digitales contribuye de manera significativa a elevar la eficiencia y la eficacia del sistema productivo, consolidando la capacidad de gestión del proceso alineada con los principios de la Industria 4.0.

Palabras clave: Industria 4.0, procedimiento, gestión de producción, prótesis auditivas.

ABSTRACT

Industry 4.0 represents a new industrial and technological paradigm based on the integration of advanced digital tools. Its articulated application enables the optimization of planning, the strengthening of data-driven decision-making, the increase of efficiency, the assurance of traceability, and the expansion of productive capacity in modern manufacturing systems. These transformations are particularly relevant in biomedical sectors, where precision and product personalization are critical factors. In this context, companies seek to evolve toward smart factories, capable of being more competitive and sustainable in a dynamic global environment.

The present study proposes a procedure aimed at improving the management capacity of production processes, grounded in the principles of Industry 4.0. This approach was applied to the production process of hearing prostheses at the Cuban Neuroscience Center (CNEURO). The results demonstrate that the progressive adoption of digital tools significantly contributes to enhancing the efficiency and effectiveness of the production system, consolidating process management capacity aligned with the principles of Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0, procedure, production management, hearing prostheses.

INTRODUCCIÓN

La gestión de la producción forma parte de la administración de una empresa, existen varios criterios de este concepto según (Gamarra Santillán, 2022), (Barreto Pérez & Lino Humerez, 2016) y (Gavilánez, 2021); pero en esencia se puede definir como el conjunto de actividades que permite organizar, planificar, ejecutar, controlar y dirigir un sistema productivo mediante métodos, procedimientos y medidas para garantizar las exigencias de los clientes con una elevada eficiencia, eficacia y competitividad.

La gestión avanzada de la producción y el control de procesos se centra en el intercambio de ideas y los últimos avances en producción, sostenibilidad, ciclo de vida, innovación, desarrollo, diagnóstico de fallos y sistemas de control (Trzcielinski et al., 2021). La gestión de la producción constituye un elemento básico en la dirección de la empresa contemporánea; y al integrarse de manera coherente con el ciclo de dirección que abarca la planificación, la organización y el control se consolida como un elemento clave determinante para alcanzar un desempeño organizacional satisfactorio.

En el marco de la evolución tecnológica y la creciente demanda de eficiencia y flexibilidad en los sistemas de producción, el enfoque de Industria 4.0 ha emergido como una revolución que integra tecnologías avanzadas y digitalización en los procesos industriales. Varios autores como (Bordigoni Díaz et al., 2024), (Del Val Román, 2016), (Castrillo Sardón, 2019), (Tjahjono et al., 2017), (Martínez, 2023) y (Peñalver-Higuera & Isea-Argüelles, 2024) manifiestan varios criterios, pero en resumen la Industria 4.0 es la base para la creación de valor fundamentada en datos, modelos de negocio innovadores y formas ágiles de organización.

Las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 como la computación en la nube, la impresión 3D, el almacenamiento de datos, el internet de las cosas, la realidad aumentada y realidad virtual, la integración de sistemas, la ciberseguridad, la inteligencia artificial y la robótica avanzada han dado origen a un nuevo término denominado fábrica inteligente; que según (Mosleuzzaman et al., 2024), (Osterrieder et al., 2020), (Kusiak, 2019) y (Bortolini et al., 2017) este término, en esencia, se refiere a un entorno avanzado de la producción que combina el mundo físico con el digital donde se experimenta un cambio notable en sus procesos con la obtención de mejoras en todos los ámbitos.

Para el uso de las tecnologías mencionadas anteriormente en la producción se diseñan indicadores de desempeño del proceso, que miden la eficiencia, la calidad y la eficacia del sistema de producción. Estos indicadores monitorean el rendimiento de la producción y ayudan a la toma de decisiones y a implementar las medidas adecuadas ante fallas que pueden garantizar la mejora continua del proceso. Así lo plantean (Joppen et al., 2019), (Stricker et al., 2017) y (Jovan & Zorzut, 2006) en sus investigaciones.

Para implementar la industria 4.0 en procesos de manufactura existen “modelos de madurez” y “hojas de rutas”, así lo establecen (Butt, 2020), (Martin Tschandl, 2019), (Sjödin et al., 2018), (Santos et al., 2017), (Puchan et al., 2018), (Schuh et al., 2017) y (Blanc et al., 2021); donde exponen que estos términos se sustentan en los principios de Enfoque basado en procesos, Seis sigma, Lean Manufacturing, Modelo de la Fundación Europea para la Gestión de Calidad y Ciclo de Deming (Planificar, Hacer, Chequear, Actuar).

En la práctica, muchas empresas no pueden aprovechar el potencial de la Industria 4.0 porque no saben cómo adaptar las nuevas tecnologías ni cómo identificar los requisitos adecuados dentro de su empresa. (Schumacher et al., 2016)

Una revisión de los 10 modelos de madurez y hojas de rutas más importantes (Gronau & Schumacher, 2023) permite afirmar que no existe un procedimiento universal para la implementación de la Industria 4.0 en las organizaciones. En consecuencia, cada empresa requiere un proceso de transformación personalizado, que le permita identificar, evaluar y aprovechar su potencial específico en el contexto de la Industria 4.0.

Esta transformación e implementación constituye una mejora significativa para el desarrollo de una o de varias capacidades de dirección y gestión empresarial con ese enfoque tecnológico. Existe un procedimiento de diagnóstico y mejora de 7 capacidades de dirección y gestión empresarial desarrollado por (Leal-Pupo et al., 2022). Las capacidades son las siguientes: 1. Capacidad General de la Empresa, 2. Capacidad de Gestión del Desarrollo de la Empresa, 3. Capacidad de Gestión de Operaciones de la Empresa, 4. Capacidad de Gestión Logística de la Empresa, 5. Capacidad de Gestión Económica Financiera, 6. Capacidad de Gestión Comercial y Mercadotecnia de la Empresa y 7. Capacidad de Gestión de Recursos Humanos.

El procedimiento se basa esencialmente en la aplicación de listas de chequeo como instrumento de autodiagnóstico en cada capacidad para detectar debilidades específicas en elementos y variables clave, que posteriormente serán consideradas en la formulación de planes de mejora orientados al fortalecimiento organizacional.

La integración de la perspectiva de este procedimiento con los modelos de madurez y las hojas de ruta de implementación de la Industria 4.0 descritas en la literatura puede dar lugar al diseño de un nuevo procedimiento orientado a mejorar la capacidad de gestión de procesos productivos con enfoque de Industria 4.0.

En Cuba, el avance hacia la transformación digital está respaldado por políticas gubernamentales que impulsan la innovación tecnológica, especialmente en sectores estratégicos como la industria biotecnológica y médica. (PCC, 2021). Sin embargo, la realidad de la Industria 4.0 en el país es que se identifican más de 30 instituciones y grupos científicos cubanos activos en estas tecnologías, así como un conjunto de desarrollos que, desde la academia, el sector empresarial, y formas de gestión no estatal, avanzan en estas cuestiones. Aun cuando se reconoce la necesidad del cambio y hay una voluntad política, ello no resulta suficiente (Del Sol González Yaditza, 2022).

La estrategia de desarrollo de Cuba no puede estar apartada de las transformaciones tecnológicas que implica este fenómeno. Aunque en el plan de desarrollo económico y social del país se toman acciones para orientar el cambio tecnológico, la preparación de los directivos empresariales es necesaria para que puedan conducir la hoja de ruta de sus organizaciones. (Martínez Corbillón & Figueras Texidor, 2022).

A continuación, en el siguiente acápite se presentan y desarrollan las bases metodológicas del procedimiento propuesto para fortalecer la capacidad de gestión de los procesos productivos mediante el uso de tecnologías digitales. Posteriormente, dicho procedimiento se aplica en una empresa cubana, con el propósito de servir como caso de estudio que facilite su futura implementación en otras organizaciones.

METODOLOGÍA

El procedimiento para la mejora de la capacidad de gestión de procesos productivos con enfoque de Industria 4.0 se estructura en cuatro etapas, como se muestra en la siguiente figura:

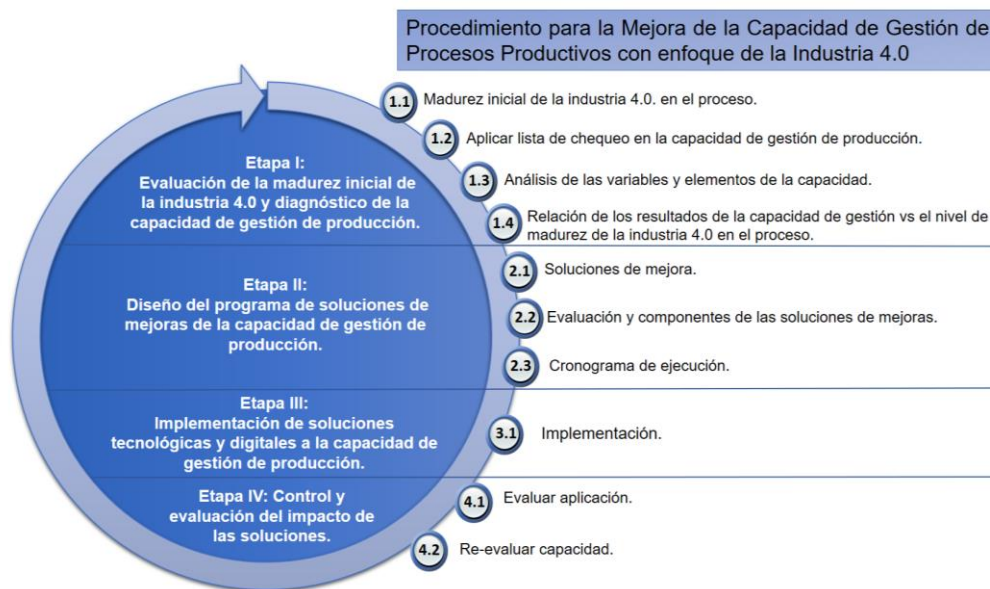


Figura 1: Procedimiento propuesto.

En la etapa I se evalúa el nivel de madurez de la Industria 4.0 en la dimensión de producción y, además, se realiza un diagnóstico mediante la aplicación de una lista de chequeo diseñada de los elementos que integran las variables de la capacidad de gestión del proceso productivo. La obtención de estos datos preliminares permite contar con un diagnóstico integral del proceso.

El nivel de madurez de la Industria 4.0 se determina con las siguientes puntuaciones del nivel de implementación de las tecnologías habilitadoras en el proceso:

Tabla 1: : Puntuaciones de implementación de las tecnologías de la Industria 4.0

Puntuación	Descripción
0	No implementado
1-2	Implementación inicial o piloto
3-4	Parcialmente implementado
5	Totalmente implementado

Entonces, para establecer el nivel de madurez de la industria 4.0 se determina la ubicación de la puntuación promedio calculada a partir de los rangos establecidos por niveles:

Tabla 2: Niveles de madurez de industria 4.0

Nivel	Descripción	Puntuación promedio
Inicial	La empresa conoce el concepto de Industria 4.0 pero no ha iniciado acciones.	0
Básico	Se han iniciado proyectos piloto o pruebas con tecnologías digitales.	1-2
Intermedio	Hay implementación parcial en algunas áreas con resultados visibles.	2-3
Avanzado	Las tecnologías están integradas en procesos clave y hay gestión digital.	3-4
Líder	La empresa lidera en innovación, con ecosistemas digitales y mejora continua.	4-5

Posteriormente se aplica a un grupo de expertos una lista de chequeo diseñada con enfoque 4.0 donde se analiza 9 variables y 32 elementos de la capacidad de gestión del proceso productivo. A continuación, más detalles:

1. Variable Planificación Estratégica de la Producción: Planificación alineada a objetivos estratégicos y demanda nacional, Análisis formal de capacidad productiva (impresoras 3D, personal, materiales) y Programa de producción detallado con secuencias optimizadas.
2. Variable Control y Seguimiento de la Producción: Monitoreo del programa y acciones correctivas, Gestión del Lead Time y cuellos de botella y Dashboard en tiempo real de órdenes de trabajo.
3. Variable Gestión de la Calidad: Sistema documentado de gestión de calidad, Inspecciones en puntos críticos con criterios estandarizados, Análisis estadístico de no conformidades y acciones preventivas y correctivas y Control de materiales y proveedores críticos.
4. Eficiencia de Equipos y Procesos: Medición de Eficiencia General, Mantenimiento preventivo basado en condiciones de los equipos, Reducción de tiempos de ajuste/cambio y Procedimientos desarrollados con operarios actualizados.

5. Digitalización y Automatización: Flujo de trabajo digitalizado y automatizado, Uso de sistema MES para control en tiempo real, Nube empresarial como repositorio seguro de información y Uso de Inteligencia Artificial.
6. Gestión de Datos y Ciberseguridad: Uso de datos para tendencias y pronósticos y Plan de ciberseguridad para datos críticos y equipos conectados.
7. Gestión y Competencias del Personal: Plan anual de capacitación técnica y transversal alienado con la industria 4.0, Programa de multi-capacitación para flexibilidad laboral, Poder de los operarios para detener producción ante no conformidad y Sistema de motivación y reconocimiento.
8. Logística y trazabilidad: Trazabilidad en tiempo real de los productos y los parámetros, Gestión de proveedores logísticos y Gestión eficiente de almacenes e inventarios.
9. Orientación al Cliente y Mejora Continua: Medición y comunicación de satisfacción del cliente, Cumplimiento sistemático de plazos de entrega, Sistema formal de mejora continua con impacto cuantificado, Benchmarking contra mejores prácticas nacionales e internacionales para identificar oportunidades de mejora en procesos y Recursos asignados a proyectos de innovación y mejora.

El análisis de la aplicación de la lista de chequeo se realiza a partir de la valoración de sus resultados, determinando la concordancia entre los expertos mediante el coeficiente de Kendall y verificando la fiabilidad del instrumento a través del alfa de Cronbach. Posteriormente, se lleva a cabo un examen detallado de los resultados de cada variable y sus elementos, empleando técnicas de estadística descriptiva.

Seguidamente, se analiza la relación entre el desempeño de las variables vinculadas a la capacidad de gestión y el nivel de madurez. El objetivo es identificar cómo la incorporación o ausencia de tecnologías habilitadoras impacta en los resultados de dichas variables. Para su representación gráfica, pueden utilizarse herramientas como matrices de correlación, gráficos radiales o mapas de calor, que facilitan la visualización de patrones y tendencias relevantes.

Con el diagnóstico realizado y en función de los resultados obtenidos, en la etapa II se diseña el conjunto de soluciones para mejorar la capacidad de gestión del proceso. Este diseño se fundamenta en la identificación, el análisis y la selección de las mejoras a implementar, considerando su nivel de importancia y viabilidad a corto y a largo plazo.

En la etapa III se implementan las soluciones de mejora, mientras que en la etapa IV se lleva a cabo el seguimiento y la valoración del impacto de dichas soluciones sobre la capacidad de gestión del proceso productivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caso de estudio: Proceso de producción de prótesis auditivas en el Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO)

CNEURO, como empresa de alta tecnología, es responsable del desarrollo y producción de prótesis auditivas y moldes para la red nacional de servicios audiológicos. Sin embargo, enfrenta desafíos relacionados con la falta de un sistema integrado de gestión de la producción, dependencia de procesos manuales, limitaciones en la trazabilidad del flujo de trabajo, y afectaciones en la productividad debido a la escasez de recursos humanos especializados.

Indicadores como los tiempos de producción, índices de defectos y cumplimiento del plan de producción evidencian el bajo desempeño del proceso que se evalúa en cada semestre.

Aunque en el sistema productivo ya se han implementado tecnologías de la Industria 4.0, su potencial no se aprovecha plenamente. La falta de integración con las capacidades de gestión limita la posibilidad de alcanzar los niveles de eficiencia y eficacia que demanda una empresa de alta tecnología.

Ejecución de la etapa 1: “Evaluación de la madurez inicial de la Industria 4.0 y diagnóstico de capacidad de gestión de producción”

El promedio de la implementación de las tecnologías en el proceso es igual a 1.40 puntos, lo cual significa que el proceso tiene un nivel de madurez básico. En el gráfico se puede identificar que tecnologías faltan por implementar.

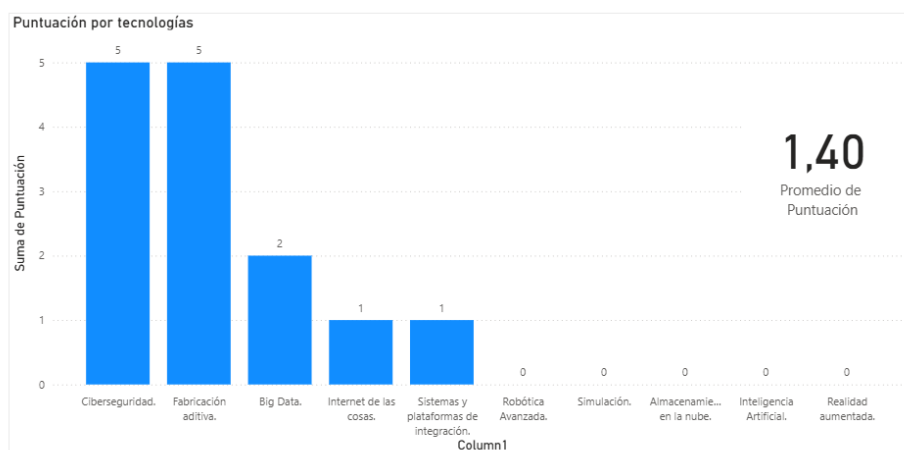


Gráfico 1: Nivel de implementación de tecnologías y puntuación promedio

En la aplicación de la lista de chequeo de las 9 variables y 32 elementos de la capacidad de gestión, los resultados se analizaron en el software estadístico MINITAB 19 para determinar el nivel de concordancia con el coeficiente de Kendall y el nivel de fiabilidad del instrumento:

Tabla 3: Análisis estadístico de lista de chequeo

Coef	Chi-cuad.	GL	P	Alfa de Cronbach
0.971004	301.011	31	0.0000<0.05	0.9963>0.7

De la tabla se puede arribar a la conclusión de que el instrumento es fiable y existe concordancia entre los expertos. También se puede decir que las variables con mejores resultados son Gestión de la Calidad, Gestión de Datos y Ciberseguridad, Gestión y Competencias del Personal, Logística y Trazabilidad y Orientación al Cliente y Mejora Continua. El valor promedio de la capacidad de gestión en base a 10 puntos es de 4.40.

En el análisis de las variables se observa que la capacidad de gestión, la planificación estratégica, el control de producción, la eficiencia operativa y la digitalización y automatización presentan promedios bajos de 3.57, 2.13, 3.03

y 1.7, respectivamente. En un nivel intermedio se ubican recursos humanos con 4.08, la gestión de datos y ciberseguridad con 4.95, y la orientación al cliente y mejora continua con un promedio de 5.1 puntos. Finalmente, se destacan como variables con promedios altos la logística, con 7.27, y la gestión de calidad, con 7.80.

Seguidamente, se muestra una matriz cualitativa donde se puede visualizar la relación existente entre las variables de la capacidad de gestión de la producción y las tecnologías de la industria 4.0:

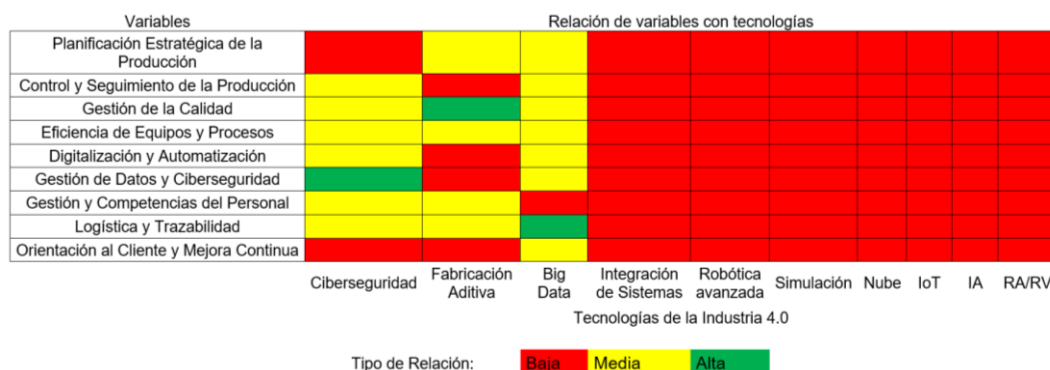


Figura 2: Matriz cualitativas de relación entre variables de capacidad y tecnologías de industria 4.0

La interpretación de la matriz permite identificar las relaciones existentes entre las variables y las tecnologías, así como reconocer sus fortalezas y debilidades. Además, evidencia cómo la no implementación de determinadas tecnologías repercute directamente en el bajo desempeño de algunas variables.

Ejecución de la etapa II: Diseño del programa de soluciones de mejoras de la capacidad de gestión de producción.

En términos generales, todas las tecnologías resultan aplicables; sin embargo, la prioridad debe centrarse en aquellas que aún no han sido implementadas. Considerando las características actuales del proceso, las capacidades instaladas de infraestructura y comunicaciones, así como los recursos disponibles en impresión 3D y financiamiento, se ha decidido iniciar el trabajo con las siguientes tecnologías: Almacenamiento en la Nube, Big Data, Impresión 3D, Internet de las cosas, Sistemas y plataformas de integración. (Informatización y automatización), Inteligencia Artificial y Robótica avanzada.

El objetivo principal, dentro de las posibilidades reales a corto plazo, es implementar las tecnologías en los elementos identificados como débiles que constituyen la prioridad y, al mismo tiempo, continuar fortaleciendo los elementos que actualmente representan puntos fuertes mediante soluciones de mejora sin realizar ningún tipo de inversión. No obstante, se proponen también soluciones a largo plazo de tecnologías como la inteligencia artificial y la robótica. Las soluciones deben impactar prácticamente en casi todas las variables.

Las soluciones están orientadas a: identificar cuellos de botellas en tiempo real, mejorar la trazabilidad interna, digitalizar el proceso de producción, asegurar el orden de fabricación de los productos, cumplir con los tiempos de fabricación establecidos, realizar consultas para saber información del estado de un pedido dentro del proceso y visualizar datos del proceso para posteriormente realizar análisis de datos, mejorar la eficiencia de las impresoras 3D, comunicar físicamente equipos con otros dispositivos, diseñar los productos automáticamente y Robotizar operaciones manuales.

Existen soluciones que dependen únicamente de la implementación por parte del personal y no requieren inversión económica. Otras, de mayor complejidad, sí necesitan financiamiento. De manera resumida, en la siguiente tabla se presenta un análisis preliminar de viabilidad.

Tabla 3: Viabilidad de las soluciones de mejora

Solución	Inversión	Viable
Almacenamiento en la nube	No	Si
Big Data	No	Si
Mejoras de Impresión 3D	No	Si
Software de Gestión de la Producción	Si	Si. A corto plazo
Análisis de datos con Power BI	No	Si
Sistema automatizado para el acabado de moldes auditivos	Si	No. Analizar a largo plazo.
Diseño automatizado	Si	No. Analizar a largo plazo.
Comunicación de equipos con otros dispositivos	No	Si

De igual manera se presenta el cronograma de ejecución de las soluciones:

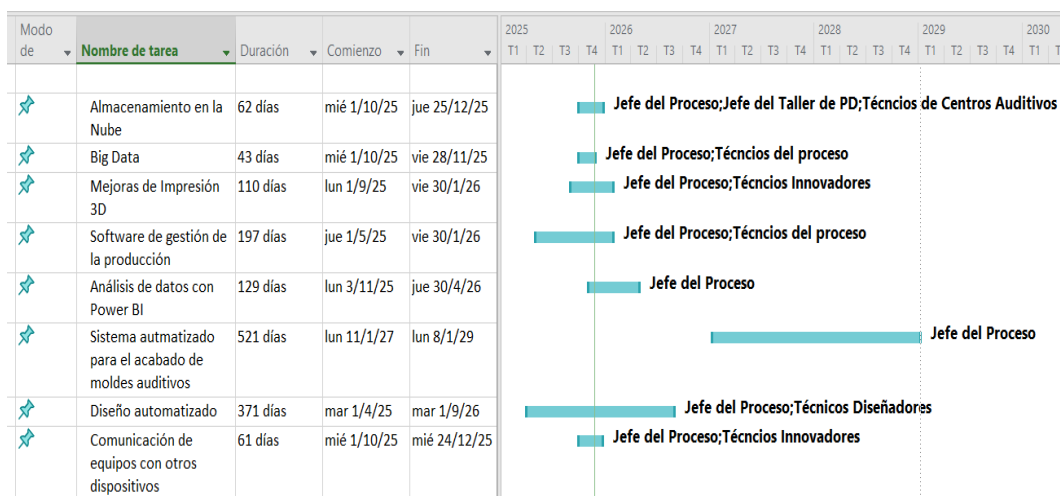


Figura 1: Cronograma de ejecución de las soluciones

Ejecución de la etapa III: Implementación de soluciones tecnológicas y digitales a la capacidad de gestión de producción.

En esta etapa, tomando como base las soluciones seleccionadas y los componentes clave definidos en la gestión de la producción, se procede al despliegue en el proceso de fabricación de prótesis auditivas.

Para una correcta implementación del software de gestión de la producción se preparó una serie de instrucciones de trabajo donde se explica con imágenes paso a paso las acciones a realizar en cada puesto de trabajo. A continuación, se detallan los documentos elaborados, los cuales forman parte de la documentación del sistema de

gestión de calidad implementado en la empresa basado en la norma ISO 13485 para la producción de dispositivos médicos:

- IT.PA.01-V01 Ingresar datos en software de gestión de producción auditiva.
- IT.PA.02-V01 Trazabilidad y seguimiento de los pedidos.
- IT.PA.03-V01 Escaneo 3D y Diseño digital.
- IT.PA.04-V01 Documentos de salida auditiva.
- IT.PA.05-V01 No conformidades y reprocesos de producción.

Ejecución de la etapa IV: control y evaluación del impacto de las soluciones.

Para la evaluación del nivel de aplicación de las 8 soluciones de mejoras de la capacidad de gestión del proceso de prótesis auditivas se realizó una valoración del cumplimiento de las mismas como se puede observar en la tabla siguiente:

Tabla 6: Cumplimiento de la implementación de las soluciones

No.	Soluciones de mejora	% de cumplimiento	Observaciones
1	Almacenamiento en la nube	100 %	Totalmente Cumplida
2	Big Data	100%	Totalmente Cumplida
3	Mejoras de Impresión 3D	90%	Parcialmente cumplida
4	Software de Gestión de la Producción	100%	Cumplida
5	Análisis de datos con Power BI	90%	Parcialmente cumplida
6	Sistema automatizado para el acabado de moldes auditivos	0%	Pendiente de ejecución
7	Diseño automatizado	0%	Pendiente de ejecución
8	Comunicación de equipos con otros dispositivos	100%	Totalmente Cumplida

Las acciones parcialmente cumplidas están en proceso de completarse, quedan algunos detalles que precisar y recursos humanos que capacitar. Las soluciones pendientes de ejecución corresponden a iniciativas de más largo plazo, cuya implementación requiere principalmente la obtención de financiamiento.

Para la reevaluación de la capacidad de gestión del proceso de producción y de las variables que la integran, se aplicó nuevamente la lista de chequeo a los mismos expertos. Los resultados, reflejados muestran un incremento de la capacidad de gestión hasta 6.45, lo que representa una mejora significativa respecto al valor inicial de 4.40 obtenido en el diagnóstico.

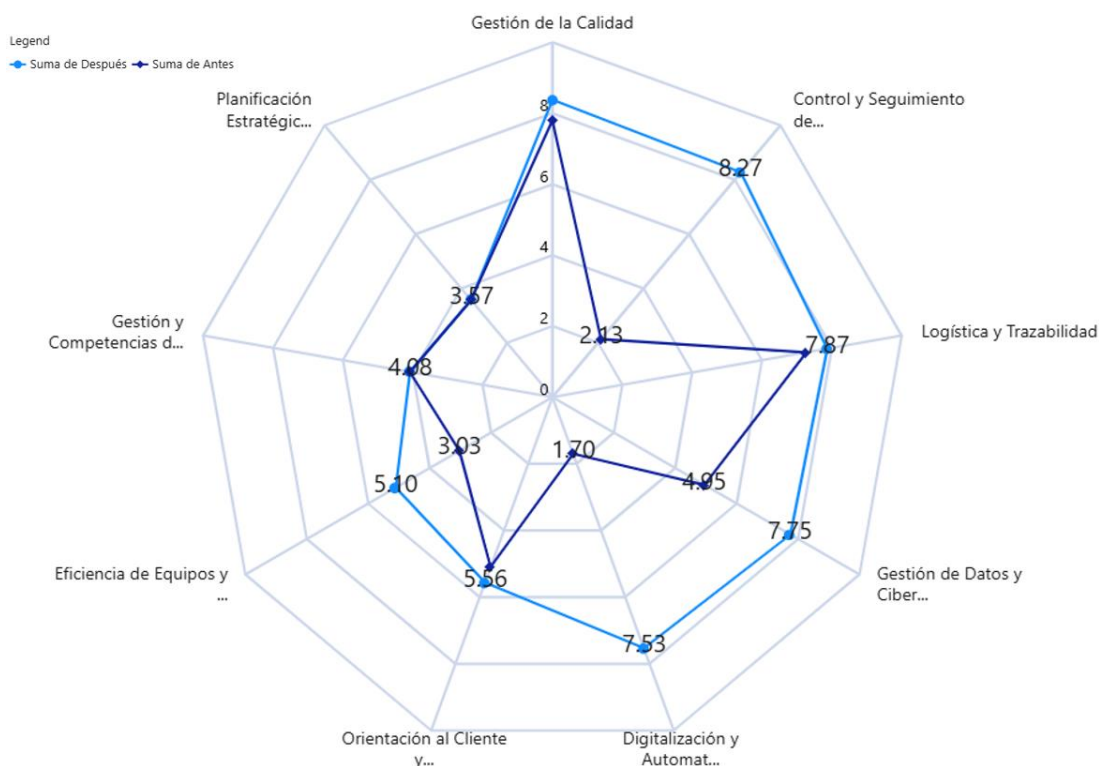


Gráfico 2: Comparación de capacidad de gestión inicial vs capacidad de gestión posterior con mejoras.

Aunque aún existen variables y elementos que requieren mejoras, se considera que el proceso ha alcanzado un nivel de madurez intermedio, superior a la inicial que era básico. A medida que se implementen las soluciones pendientes y otras futuras, la capacidad de gestión y el grado de madurez continuarán incrementándose, apoyándose en las tecnologías ya disponibles. Será necesario realizar, durante el primer semestre de 2026, una evaluación de los indicadores de eficacia y eficiencia, con el fin de analizar el impacto de estas soluciones en el desempeño del proceso de prótesis auditivas.

CONCLUSIONES

1. Los fundamentos teóricos de la gestión de producción y la Industria 4.0 demuestran que la digitalización y automatización de procesos constituyen herramientas esenciales para mejorar el desempeño productivo en empresas de alta tecnología.
2. El procedimiento propuesto, articulado en cuatro etapas, permite estructurar una ruta de transformación digital adaptada al contexto real de diferentes procesos.
3. La adopción progresiva de tecnologías de la Industria 4.0 constituye un camino necesario para elevar la capacidad de gestión de procesos de producción.
4. La aplicación del procedimiento en CNEURO funcionó como caso de estudio, mostrando la manera en que las empresas pueden implementarlo.

REFERENCIAS

- Barreto Pérez, L., & Lino Humerez, P. M. (2016). Diseño de un sistema de gestión de la producción en la empresa sociedad importadora universal–SIUL SA <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/21564>
- Blanc, R., Ratto, D., Cettour, W., & Leprat, L. (2021). Modelos de madurez e implementación en industria 4.0 análisis de alternativas y nivel de implementación. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial. Buenos Aires, Argentina. <https://www.researchgate.net/publication/362426743>,
- Bordigoni Díaz, S. F., Stroia, F. E., Tang, E. F., & Rosanova, S. (2024). Aplicación de herramientas de la industria 4.0 en planta industrial Rasti SA. <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/17932/1/aplicacion-herramientas-industria.pdf>
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., & Faccio, M. (2017). Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. *Ifac-Papersonline*, 50(1), 5700-5705. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1121>
- Butt, J. (2020). A strategic roadmap for the manufacturing industry to implement industry 4.0. *Designs*, 4(2), 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/designs4020011>
- Castrillo Sardón, M. (2019). Implantación y evaluación de la Industria 4.0. https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/5189/Castrillo_Sardon.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Del Sol González Yaditza, A. R. S. (2022). La realidad de la Industria 4.0 en Cuba. *Cubadebate*. <http://www.cubadebate.cu/especiales/2022/03/25/la-realidad-de-la-industria-4-0-en-cuba/>
- Del Val Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria <https://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- Gamarra Santillán, E. O. (2022). El proceso administrativo y la gestión de producción en la Empresa Prolavados de la Ciudad de Ambato 2021 Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10228>
- Gavilánez, J. G. P. (2021). Gestión de producción y el desarrollo de las pequeñas empresas textiles en Riobamba Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/71d633f1-e406-435d-8033-d1bf4e752ecf>
- Gronau, N., & Schumacher, J. (2023). Comparing Industry 4.0 Maturity Models. *Industry 4.0 Science* 39, 16-33. <https://doi.org/DOI:10.30844/I4SE.23.1.16>
- Joppen, R., von Enzberg, S., Gundlach, J., Kühn, A., & Dumitrescu, R. (2019). Key performance indicators in the production of the future. *Procedia Cirp*, 81, 759-764. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.190>
- Jovan, V., & Zorzut, S. (2006). Use of key performance indicators in production management. 1-6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICCIS.2006.252343>

- Kusiak, A. (2019). Fundamentals of smart manufacturing: A multi-thread perspective. *Annual Reviews in Control*, 47, 214-220. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.02.001>
- Leal-Pupo, A., Bolaño-Rodríguez, Y., Espinosa-Carro, N., Correa-Sánchez, D., & Piñero-Rodríguez, N. A. (2022). Procedimiento de diagnóstico y mejora de siete Capacidades de Dirección y Gestión Empresarial. *Ingeniería Industrial*, 43(1), 119-138.
- Martin Tschandl, E. P., Sabrina Sorko, Katrin Lenart. (2019). Roadmap Industry 4.0. Structured Implementation of Digitization or Smart Production and Services in Companies. Whitepaper, Kapfenberg 2019.
- Martínez Corbillón, L., & Figueras Texidor, R. (2022). Revisión sobre Industria 4.0 en el contexto cubano. *Retos de la Dirección*, 16(2), 109-130. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10095090>
- Martínez, F. R. L. (2023). Industria 4.0, Herramienta Administrativa. *Consejo Ejecutivo*, 365. https://www.researchgate.net/profile/Felix-Lostal-Martinez/publication/377399006_Industria_40_herramienta_administrativa/links/65a495c640ce1c5902de84e0/Industria-40-herramienta-administrativa.pdf
- Mosleuzzaman, M., Arif, I., & Siddiki, A. (2024). Design and development of a smart factory using Industry 4.0 technologies. *Academic Journal on Business Administration, Innovation & Sustainability*, 4(4). https://www.researchgate.net/profile/Md-Mosleuzzaman/publication/385287848_DESIGN_AND_DEVELOPMENT_OF_A_SMART_FACTORY_USING_INDUSTRY_40_TECHNOLOGIES/links/6759b88c138b414414d63994/DESIGN-AND-DEVELOPMENT-OF-A-SMART-FACTORY-USING-INDUSTRY-40-TECHNOLOGIES.pdf
- Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 221, 107476. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011>
- PCC. (2021). Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026. Empresa de Artes Gráficas Federico Engels Retrieved from <https://siteal.iiep.unesco.org/bdnp/3710/lineamientos-politica-economica-social-partido-revolucion-periodo-2021-2026>
- Peñalver-Higuera, M. J., & Isea-Argüelles, J. J. (2024). Transformación hacia fábricas inteligentes: El papel de la IA en la industria 4.0. *Ingenium et Potentia. Revista Electrónica Multidisciplinaria de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura*, 6(10), 38-53. <https://doi.org/https://doi.org/10.35381/i.p.v6i10.3742>
- Puchan, J., Zeifang, A., & Leu, J.-D. (2018). Industry 4.0 in practice-identification of industry 4.0 success patterns. 2018 IEEE international conference on industrial engineering and engineering management (IEEM),
- Santos, C., Mehra, A., Barros, A., Araújo, M., & Ares, E. (2017). Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Procedia manufacturing*, 13, 972-979. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.093>
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). *Industrie 4.0 maturity index (Vol. 61)*. <https://www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/download-pdf?lang=en>

-
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 52, 161-166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Sjödin, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. *Research-technology management*, 61(5), 22-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277>
- Stricker, N., Echsler Minguillon, F., & Lanza, G. (2017). Selecting key performance indicators for production with a linear programming approach. *International Journal of Production Research*, 55(19), 5537-5549. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1287444>
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does industry 4.0 mean to supply chain? *Procedia manufacturing*, 13, 1175-1182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191>
- Trzcielinski, S., Mrugalska, B., Karwowski, W., Rossi, E., & Nicolantonio, M. (2021). *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-80462-6>

Copyright © 2025, Autores: Villate Acosta, Javier, Bolaño Rodríguez, Yuniel



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional