

**Propuesta de un marco de trabajo para la implementación
de sistemas de gestión de datos en empresa tomada
como caso de estudio del sector de fármacos en
Medellín.**

Modalidad: Exploratorio

ANDRÉS HENAO PEÑALOZA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

José Manuel Gómez López Ingeniero Informático



**UNIVERSIDAD EIA
PROGRAMAS ACADÉMICOS EN LOS QUE SE ENMARCA
ENVIGADO
2019**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	8
1. Preliminares.....	9
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Objetivos del proyecto	10
1.2.1 Objetivo general	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
1.3 Marco de referencia.....	11
1.3.1 Antecedentes.....	11
1.4 Marco teórico.....	12
1.4.1 Conceptos clave	12
1.4.2 Beneficios.....	15
2. Metodología.....	17
3. Presentación y discusión de resultados	19
3.1 Estado del arte	19
3.1.1 Importancia de los sistemas de información	19
3.1.2 Sistemas de información existentes en el mercado que pueden ser utilizados en empresas del sector fármaco.....	20
3.1.3 Pasos para convertirse en una smart factory. Error! Bookmark not defined.	
3.1.4 Indicadores de producción.....	25
3.2 Estado de implantación de sistemas de información en empresa del sector fármaco en medellín.....	28
3.2.1 Cuestionario para la empresa del caso de estudio que permita identificar los sistemas de información que tienen.....	28

3.2.2	Análisis del punto donde se encuentra actualmente la empresa del caso de estudio hoy en materia de implementación de sistemas de información	29
3.2.3	Impacto de estas tecnologías en la empresa	30
3.3	Recomendaciones sobre lo que debe hacer la empresa del caso de estudio para optimizar la línea de producción de sólidos	311
3.4	Definir los pasos para un marco de trabajo	34
3.4.1	Desarrollo de una metodología	34
3.4.2	Proceso de la línea de sólidos en la empresa.....	35
3.4.3	Marco de trabajo para aplicar sistemas de información prescriptiva en la línea de producción descrita en el flujograma	36
4.	Conclusiones y consideraciones finales.....	42
	Referencias	43

LISTA DE TABLAS

	pág.
<i>Tabla 1.</i> Tabla de actividades a realizar por orden cronológico	40

LISTA DE FIGURAS E ILUSTRACIONES

	pág.
<i>Ilustración 1.</i> Índice de adopción de tecnologías avanzadas por estadio de la cadena de valor (Katz, 2017)	21
<i>Ilustración 2.</i> La adopción por componente y tecnología (Katz, 2017)	21
<i>Ilustración 3.</i> Modelo de madurez analítica (Elliott, 2018)	25
<i>Ilustración 4.</i> La base de poder del mercado se traslada al cliente y al consumidor (Greeff & Ranjan , 2004)	27
<i>Figura 1.</i> Matriz DOFA: análisis de factores internos y externos de la empresa del caso de estudio	33
<i>Figura 2.</i> Flujograma de proceso de la línea de producción de sólidos de la empresa del caso de estudio	36

RESUMEN

En Colombia hoy hay poca adopción de tecnologías avanzadas por parte de las empresas productivas. En Antioquia tan solo el 10,4% de ellas las han implementado. Esta baja adopción ha hecho que las empresas colombianas sean menos competitivas y que países como China, Alemania y Estados Unidos sean potencias productoras a nivel mundial. Empresas pioneras en estos países en esta adopción de tecnologías se les conoce como Smart Factories. Estas son empresas manufactureras que implementan sistemas de información que integran diversas áreas de la organización para automatizar procesos internos con base en analítica de datos. En este trabajo se muestra un ejemplo de una empresa del sector fármaco en Medellín cuya misión es convertirse en una Smart Factory y ha adoptado diferentes sistemas de información para lograrlo.

Para comprender los avances que esta empresa ha tenido, se realizó una investigación cualitativa donde se entrevistó al líder de innovación de la empresa para comprender qué sistemas de información manejan hoy en día y los beneficios que estos han traído a la compañía. Esta información se comparó con una investigación profunda sobre qué opciones existen en el mercado y qué puede hacer la empresa para avanzar en integración de sistemas y automatización de procesos.

Se encontró que la empresa actualmente se encuentra en un estado nivel tres de madurez de los datos. Esto significa que organizacionalmente hay una cultura de datos y la empresa ha invertido en diversos sistemas de información para distintas áreas. Con esta información hoy realizan analítica descriptiva y predictiva. Este trabajo propone a la empresa un marco de trabajo que les permita pasar al nivel cuatro de madurez de los datos y puedan realizar analítica prescriptiva para automatizar la compra de materia prima y planeación de la producción de la línea de producción de sólidos. Una vez el sistema funcione en esta línea podrán implementarlo en las demás. Comenzar con una línea y luego seguir con las demás se basa en la metodología Kaizen de mejora continua y disminuye el riesgo del cambio. Se propone a la empresa centralizar la información de los distintos sistemas existentes en una sola base de datos para que el software predictivo considere variables de todas las áreas. La adopción de esta tecnología se debe hacer bajo el ciclo PHVA para constantemente monitorear su correcto funcionamiento. Este trabajo se realiza la actividad de planeación para que la empresa pueda seguir con la implementación.

Palabras clave: Smart Factory, sistemas de información de datos, analítica de datos, Kaizen, PHVA, DOFA.

ABSTRACT

In Colombia today there is little adoption of advanced technologies by productive companies. In Antioquia only 10.4% of them have implemented them. This low adoption has made Colombian companies less competitive when compared against companies in countries such as China, Germany and the United States. Pioneer companies in these countries in the adoption of technologies are known as Smart Factories. These are manufacturing companies that implement information systems that integrate various areas of the organization to automate internal processes based on data analytics. This work shows an example of a company in the pharmaceutical sector in Medellin whose mission is to become a Smart Factory and has adopted different information systems to achieve it.

To understand the advances that this company has had, a qualitative investigation was conducted where the company's innovation leader was interviewed to understand what information systems they handle today and the benefits they have brought to the company. This information was compared with an in-depth investigation into what options exist in the market and what the company can do to integrate various information systems and automate processes.

It was found that the company is currently in a level three state of data maturity. This means that organizationally there is a culture of data and the company has invested in various information systems for different areas. With this information today they perform descriptive and predictive analytics. This work proposes to the company a framework that allows them to move to level four of data maturity and perform prescriptive analytics to automate the purchase of raw material and production planning of the solid production line. Once the system works in this line, they can implement it in the others. Starting with one line and then continuing with the others is based on the Kaizen methodology of continuous improvement and decreases the risk of failure. The company is proposed to centralize the information of the different existing systems in a single database so that the predictive software considers variables from all areas. The adoption of this technology must be done under the PDCA cycle to constantly monitor its proper functioning. This work is carried out the planning activity so that the company can continue with the implementation.

Keywords: Smart Factory, data information systems, data analytics, Kaizen, PDCA, SWOT.

INTRODUCCIÓN

Recientemente en los países que son potencia en producción industrial, se habla de las industrias 4.0 o Smart Factory. Esta consiste en reunir datos en tiempo real de los distintos procesos involucrados en la producción. Estos datos, provienen de distintas fuentes alrededor de la compañía y son procesados, relacionados y analizados por sistemas de información que la digitalizan y la hacen comprensible para los operarios. De esta manera se puede medir en tiempo real qué está pasando en la planta, dónde se está fallando y dónde hay alertas de posibles problemas. Al medir el rendimiento en tiempo real tanto de los procesos productivos como de algunos de los procesos comerciales, se deja de actuar de manera correctiva y se comienza a actuar de manera preventiva, aumentando la eficiencia y evitando sobrecostos por demoras y por fallas inesperadas en la operación.

Esta información proveniente de distintas fuentes no solo permite a las empresas tomar acciones preventivas con base en predicciones, sino que los mismos sistemas son capaces de corregirse a sí mismos tomando decisiones propias. A medida que estos sistemas gestión de datos reciben nueva información, los sistemas comienzan a detectar patrones en los datos y, por medio de estadística, son capaces de prever fallas y decidir cuál es la mejor solución a un problema específico. A este proceso donde los sistemas de información se obtienen datos de diversas fuentes en tiempo real y aprenden de la retroalimentación de información se le conoce como Inteligencia Artificial. Las empresas que hoy en día son capaces de automatizar procesos industriales con inteligencia artificial son consideradas Smart Factories. Actualmente es baja la adopción de tecnologías avanzadas en las empresas del sector industrial en Colombia. Este proyecto destaca el impacto que ha tenido implementar algunos sistemas en una empresa del sector fármaco en el país y lo que debe hacer para convertirse en una Smart Factory. Dicho análisis se logra a través de una investigación cualitativa donde se hacen entrevistas con el director de innovación y directivos de la empresa y se plantea un análisis detallado que identifica qué ha hecho esta empresa con relación a sistemas de gestión de datos, por qué lo hizo y qué han logrado con implementarlos. Con base en esta información se propone un marco de trabajo que la empresa puede seguir para implementar un de sistemas que permita automatizar algunos procesos que se llevan a cabo en la línea de producción de sólidos. Este marco de trabajo lo pueden seguir otras empresas en el país teniendo en cuenta que algunos de los pasos pueden cambiar según el diagnóstico de la madurez que tengan las empresas en materia de gestión de datos.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Nuevas tecnologías facilitan la manera en la que los seres humanos realizamos nuestras actividades cotidianas, y su uso hasta en las tareas más simples es cada vez más notorio. Desde el inicio de los tiempos, el ser humano ha desarrollado nuevas tecnologías y gran parte de su evolución se debe a la implementación de ellas. El mayor logro de la revolución digital fue lograr que gran parte de la población tuviera a la mano un computador que facilitaba procesos de registro, almacenamiento, cómputo y análisis de grandes cantidades de datos simultáneamente.

Hasta hace poco tiempo se hablaba de la era digital con la llegada del internet y la posibilidad de comunicación y obtención de información desde cualquier lugar del mundo. La aplicación del internet en las industrias facilitó la realización de muchas tareas en las organizaciones como almacenar, recuperar, transmitir y manipular datos. Limitarse a estas acciones en el mundo cambiante de hoy lleva a que las organizaciones se atrasen en manera tecnológica frente a la competencia. La tecnología avanza y mejora día a día y las empresas deben avanzar junto con ella para seguir siendo competitivas en los constantes mercados cambiantes (Kloss, 2019).

En los años recientes se habla de Big Data, industria 4.0 o Smart Factory la cual consiste en la introducción de las tecnologías digitales en las fábricas. Más específicamente las Smart Factory lo que buscan es reunir datos en tiempo real sobre la eficiencia de los procesos productivos y otras áreas de la organización y digitalizar esta información. Luego, con el uso de sistemas de gestión de datos, se transmiten estos datos a un puesto de control donde las variables que afectan los procesos industriales son analizadas. De esta forma se mide el rendimiento de los procesos productivos y se toman medidas correctivas para hacerlos más eficientes. El sistema no solo permite a los operarios visualizar la información, sino que predice lo que puede suceder en la planta y es capaz de reaccionar de manera automática a estas predicciones (Burke, Mussomeli, Laaper, Hertigan, & Sniderman, 2017). La automatización no es una novedad en los procesos industriales. La diferencia viene en conectar todos los procesos de la organización implicados en tiempo real, analizarlos, predecir un estado futuro y poder tomar decisiones y realizar cambios para aumentar el rendimiento de los procesos. "La Smart Factory representa un salto hacia adelante de la automatización más tradicional a un sistema totalmente conectado y flexible, que puede usar un flujo constante de datos de las operaciones y sistemas de producción conectados para aprender y adaptarse a las nuevas demandas (Burke, Mussomeli, Laaper, Hertigan, & Sniderman, 2017)."

Son muchos los beneficios de la implementación de los Smart Factory. La obtención de datos en tiempo real permite a la industria aumentar la productividad y reducir tiempos operativos gracias a la alta y rápida capacidad de respuesta de cada una de las actividades. Además, permite automatizar procesos como la planeación de la producción y la compra de materia prima con base en una predicción de la demanda. Como explican

los autores del artículo de la Deloitte University Press, “la capacidad de ajustarse y aprender de los datos en tiempo real puede hacer que la Smart Factory sea más receptiva, proactiva y predictiva, y permite a la organización evitar el tiempo de inactividad operativo y otros desafíos de productividad. (Burke, Mussomeli, Laaper, Hertigan, & Sniderman, 2017).” Esta capacidad adaptativa en tiempo real se ve reflejada finalmente en los costos operacionales de la industria. “Los beneficios de productividad y eficiencia de las fábricas inteligentes podrían mejorar el margen de operación de la compañía de un 5% al 10.4% en un período de cinco años en un caso optimista (Capgemini Consulting, 2017).”

En Colombia es evidente la desindustrialización que ha sufrido el país en los últimos 50 años. “Chile y Colombia pasaron de participaciones industriales cercanas al 23%-24% del PIB en los años setenta a cerca de un 15% en la última década, registrando una pérdida de 2.6 puntos porcentuales por década por falta de aplicación tecnológica en la industria (Clavijo, Vera, & Fandiño, 2012).” La implementación de sistemas de información en la industria colombiana puede cambiar esta tendencia decreciente al optimizar los procesos industriales. El propósito de esta investigación es precisamente determinar los beneficios que la implementación de sistemas de Big Data puede traer a la industria colombiana tomando como caso de estudio una empresa del sector fármaco.

La empresa sobre la cual se base este estudio actualmente tiene como objetivo adoptar tecnologías avanzadas en materia de sistemas de gestión de datos relacionados con la industria 4.0 y que le permitan automatizar y tener más control sobre los procesos. Si bien la empresa hoy en día ha avanzado en la implementación de algunos sistemas, necesitan dar el próximo paso para implementar machine learning que tome decisiones por sí mismo al interior de la planta. Este proyecto busca plantearle a la empresa un marco de trabajo que puedan seguir para llegar a este punto y que sean más competitivos en el mercado farmacéutico.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Proponer un marco de trabajo para la adopción de un sistema de gestión de datos que le permita a la empresa farmacéutica el monitoreo predictivo del cumplimiento en la fabricación de un lote específico dentro de la línea de producción de sólidos y tome decisiones con base en analítica prescriptiva.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisar estado del arte de los diferentes sistemas de información existentes que se pueden implementar en una empresa del sector fármaco.
- Diagnosticar el estado de madurez de la empresa del caso de estudio en temas de sistemas de información y manejo de datos.

- Definir qué debe hacer la empresa para optimizar el proceso de producción de sólidos por medio de analítica prescriptiva.
- Definir los pasos en un marco de trabajo que puede seguir la empresa para unificar sistemas de información y realizar analítica predictiva y prescriptiva con base en ellos aplicado a la línea de sólidos.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Antecedentes

Con la implementación del internet en las industrias se logró que las organizaciones optimizaran recursos y disminuyeran costos operativos con base en estrategias implementadas sobre la obtención de datos sobre el proceso. A raíz de esto, surge la necesidad de recopilar y analizar en tiempo real todos los datos obtenidos en los procesos (Iglesias-Urkia, Orive, & Urbieto, 2017). La obtención de los datos no lo es todo. Es necesario automatizar todo el sistema productivo para que este mejore el rendimiento total del proceso de manera autónoma. La automatización históricamente era una acción en la cual una máquina realizaba una acción de manera independiente con base en una serie de reglas. Acciones como abrir una válvula, activar una alarma o colocar una pieza específica en un punto. Las Smart Factory van más allá de la simple automatización ya que son un sistema flexible que puede optimizar el rendimiento de la red automáticamente. Esto lo hacen recibiendo datos en tiempo real de las variables que afectan los procesos industriales y adaptándose a estos cambios (Burke, Mussomeli, Laaper, Hertigan, & Sniderman, 2017). La cuarta revolución industrial “se caracteriza en parte por la recogida masiva de datos que permite la toma de decisiones en tiempo real sobre aspectos de toda la cadena de valor (Márquez, 2017).”

Carolina Castresana Sáenz concluye en su trabajo de grado que la Smart Factory es el mayor reto al que se enfrenta la industria en la actualidad ya que ha pasado de ser un modelo tecnológico a un punto que marcará un antes y un después en la producción industrial. La implementación de Smart Factory va a transformar la cadena de valor como se conoce actualmente ya que posibilita nuevas interacciones dentro de un proceso productivo que añaden valor, disminuyen costos y aumentan la eficiencia del proceso como tal (Sáenz, 2016). Los países que adopten este enfoque productivo serán los que se conviertan en referencia para el resto del mundo como lo es Alemania. Por el contrario, los países que se atrasen en este tema pueden verse en una situación pobre en el tema de relaciones comerciales y competitividad industrial (Márquez, 2017).

Sáenz también habla de los retos que se presentan con la implementación de estas nuevas tecnologías. “Tendremos que familiarizarnos con nuevos conceptos de las cosas como los productos inteligentes que llevan en sí mismos instrucciones de uso, indicando a las máquinas cómo deben ser tratados, su mantenimiento, etc. Y cambiar nuestra forma de trabajar y de entender el trabajo en sí mismo, pues ahora prima la eficiencia y el ahorro energético (Sáenz, 2016).” Así mismo (Márquez, 2017) hace referencia a la importancia de educar a las futuras generaciones en este tema por medio de mayor interacción entre universidades y la industria.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 Conceptos Clave

Internet de las cosas

A medida que evoluciona la tecnología y la facilidad de comunicación global por medio del internet, han aparecido dispositivos y necesidades. La necesidad de que los dispositivos se comuniquen entre sí ha creado lo que se llama el internet de las cosas. El internet de banda ancha está cada vez más disponible a nivel mundial y es cada vez más necesario en los procesos industriales y en las organizaciones. El costo de conexión está disminuyendo, se están creando más dispositivos con capacidades de Wi-Fi y sensores incorporados, los costos de tecnología están bajando y la penetración de teléfonos inteligentes está aumentando. Estos factores han permitido la facilidad de conexión entre una gran cantidad de dispositivos.

El Internet de las cosas (IoT), es básicamente el concepto de conectar cualquier dispositivo electrónico a Internet para que, con un interruptor de encendido y apagado se pueda monitorear y controlar. (Atzoria, Lera, & Morabito, 2017). Estos dispositivos incluyen teléfonos celulares, lavadoras, audífonos, lámparas, entre otros. “Este concepto también aplica a los componentes de las máquinas, por ejemplo, un motor a reacción de un avión o el taladro de una plataforma petrolera” (Morgan, 2014). El IoT es una red gigante de cosas conectadas que pueden ser accionadas y monitoreadas entre sí. Como dice (Morgan, 2014) en su artículo de la revista Forbes, “Todo lo que se pueda conectar se conectará”. En el mismo artículo también da un ejemplo de cómo la conectividad entre máquinas puede ayudarnos en nuestro día a día. Que al momento que suena el despertador, esta manda una señal a la máquina de café para que empiece a prepararlo (Morgan, 2014). Esto puede ser escalable a nivel industrial y hasta el punto de crear ciudades inteligentes donde por medio de las señales que envían unos dispositivos a otros se puede reducir el desperdicio, mejorar la eficiencia en procesos, reducir el consumo energético y avisar cuando haya fallas y dónde es la falla específicamente para que pueda ser solucionada de manera inmediata (Atzoria, Lera, & Morabito, 2017).

Big Data

Big data es un conjunto de datos cuyo tamaño o tipo está más allá de la capacidad de las bases de datos tradicionales. Estos datos son generados en tiempo real por dispositivos electrónicos y de medición como celulares, dispositivos de audio y video, sistemas GPS, sensores digitales y medidores eléctricos (Barranco, 2012). La obtención de esta información permite que las organizaciones compartan información en tiempo real a las diferentes áreas internas, a los clientes y a los proveedores. El análisis de esta información en tiempo real al interior de la operación permite “optimizar los procesos productivos, la cadena de suministro, los recursos humanos, mejorar las métricas financieras y desarrollar los conocimientos críticos para la toma de decisiones” (Fosso Wamba, Akter, Edwards, Chopin, & Gnanzou, 2015).

Sistemas de información de datos

“Los sistemas de información son componentes interrelacionados que trabajan juntos para recopilar, procesar, almacenar y diseminar información para respaldar la toma de decisiones, la coordinación, el control, el análisis y la visualización en una organización” (Bourgeois, 2014). El autor dice además en su libro que los sistemas de información constan de cinco componentes claves; hardware, software, data, procesos y personas. Los primeros tres que se mencionan están relacionados con la computación y la tecnología. Los otros dos, procesos y personas, son los componentes que diferencian a los sistemas de información de los campos técnicos. Estos son los componentes más importantes ya que, si bien pueden existir software y máquinas independientes, los sistemas no pueden ser considerados como tal si no tienen la capacidad de comunicarse entre sí y de ser analizados por personas.

Smart Factory

La Smart Factory es la materialización de lo que se llama industria 4.0 o cuarta revolución industrial que “se caracteriza en parte por la recogida masiva de datos que permite la toma de decisiones en tiempo real sobre aspectos de toda la cadena de valor (Márquez, 2017).” Las Smart Factory son la combinación de IoT y Big Data ya que recogen datos en tiempo real de distintos sistemas de información y así permite que las personas puedan tomar decisiones basadas en los datos. Un Smart Factory es capaz de predecir qué va a suceder con base en los datos obtenidos y puede llegar a tomar decisiones de maneja autónoma. Como se había mencionado anteriormente, las Smart Factory van más allá de la simple automatización ya que son un sistema flexible que puede optimizar el rendimiento de la red automáticamente. Esto lo hacen recibiendo datos en tiempo real de las variables que afectan los procesos industriales y adaptándose a estos cambios (Burke, Mussomeli, Laaper, Hertigan, & Sniderman, 2017). En el artículo “*Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics*”, (Hofmann & Rüsck, 2017) describen las Smart Factory “como un cambio en la lógica de fabricación hacia un enfoque cada vez más descentralizado y autorregulador de la creación de valor para ayudar a las empresas a enfrentar el futuro requisitos de producción”.

Análisis de datos

Las empresas cometen el error de que no saben para qué necesitan un sistema de información, no conocen el problema y por ende, mucho menos la solución ni el alcance (McKinsey Analytics, 2018). Esto es debido a que ni siquiera entienden bien qué es y para qué se usan sistemas de información. Los datos que producen las empresas se acumulan en bases de datos. Estos datos de por sí no dicen nada, deben ser analizados y generar un conocimiento a partir de ellos. Este proceso de estudiar los datos y crear un conocimiento a partir de ellos se llama minería de datos. La recolección y almacenamiento de datos a través de Big Data permite utilizar la información de tres maneras; descriptiva, predictiva y prescriptiva (McKinsey Analytics, 2018). La primera y más sencilla, analítica descriptiva se encarga de describir qué pasó y descubrir patrones en ellos. Los modelos predictivos permiten anticipar qué va a pasar y, con base en modelos de comportamiento, determinar valores futuros de variables claves. Este proceso predictivo debe ser hecho

por una persona que comprenda los datos, los analice y sea capaz de plantear el modelo. Finalmente, los datos pueden ser utilizados de manera prescriptiva. Esto es cuando los mismos datos, a través de un software especializado recomienda acciones para llegar a un objetivo deseado y es capaz de tomar decisiones de manera propia. Estos procesos los hace la misma máquina juntando información de varias fuentes y aprendiendo de los resultados obtenidos anteriormente. Esto es a lo que se le denomina machine learning (McKinsey Analytics, 2018).

Metodología Kaizen

La palabra Kaizen proviene de juntar dos palabras japonesas, "Kai" que significa cambio y "Zen" que significa bueno. Esta palabra se le atribuye al proceso de realizar pequeñas mejoras incrementales de forma continua. A través de estas mejoras graduales se logra alcanzar una mejora permanente (Hasan & Hossain, 2018). Esta metodología puede ser aplicada tanto en la vida profesional como en ámbitos personales. En la ingeniería industrial también se le conoce como metodología de mejora continua y se aplica cuando, después de evidenciar un problema en la organización, este no se corrige por completo en un instante, sino que se va corrigiendo sobre la marcha para no afectar radicalmente los procesos. Cuando un proyecto de mejora afecta diversas áreas de la planta o de la organización, primero se ataca un área y al ser exitoso en esa área, se replica para las demás. Esto también hace parte de la metodología de mejora continua (Giraldo, 2018).

Ciclo PHVA

El ciclo de PHVA hace parte de la metodología de mejora continua o Kaizen. Sus siglas representan cuatro pasos esenciales a la hora de ejecutar una mejora; planear, hacer, verificar y actuar o ajustar. Se habla de que esta metodología es un ciclo por que no basta con hacerlo una vez, es necesario ajustar continuamente hasta alcanzar la mejor solución posible. El ciclo de mejora continua consta de seis fases. Los pasos tres, cuatro y cinco componen el ciclo PHVA (Hasan & Hossain, 2018):

1. Identificar un problema u oportunidad a mejorar
2. Analizar y comprender el proceso a mejorar
3. Planear: Desarrollar una solución óptima
4. Hacer: Implemente la solución
5. Verificar y ajustar: Estudie los resultados y ajuste
6. Estandarizar la solución y replicarla en otras áreas si es necesario

Matriz DOFA

Un análisis DOFA evalúa divide y evalúa criterios internos y externos a la organización. Como características internas evalúa las fortalezas y debilidades y como externas las oportunidades y amenazas que tiene la organización (Sammut-Bonnici & Galea, 2015). El análisis interno identifica recursos, capacidades y competencias básicas que tiene la

organización. Sus activos como infraestructura y capital humano también hacen parte esta. El análisis interno identifica las ventajas competitivas y define cuáles son los recursos que deben desarrollarse para seguir siendo competitivos. El análisis externo identifica las oportunidades y amenazas del mercado al observar el entorno de la competencia y la industria y las implicaciones que podría traerle a una empresa no resolver una problemática actual (Sammut-Bonnici & Galea, 2015). El objetivo de un análisis DOFA es utilizar el conocimiento que una organización tiene sobre sus entornos y con base en ella formular su estrategia para accionar.

Diagramas de flujo

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de hechos, situaciones, movimientos y relaciones en un proceso organizacional. En estos diagramas se pueden representar el orden en el que se realiza una actividad. Para esto se utilizan símbolos que representan la relación causa-efecto entre diferentes factores, situaciones o decisiones. Estos diagramas permiten a las organizaciones percibir en forma detallada la secuencia de un proceso (Franklin, 2009). Las figuras utilizadas en los diagramas de flujo están estandarizadas para que cualquier persona pueda comprenderlos. Las figuras más comunes son un óvalo para indicar el inicio y fin del proceso; un rectángulo que indica una operación o actividad; rombo que representa una decisión; flechas que muestran el orden de la secuencia (Franklin, 2009).

1.4.2 Beneficios

Daniel López, estudiante de Ingeniería Avanzada de Producción, Logística y Cadena de Suministro de la Universidad Politécnica de Valencia, menciona algunos de los beneficios de la implementación de sistemas de información en una planta de producción (López, 2016).

- Flexibilidad: el sistema puede adaptarse a cambios que se verán reflejados en tiempo y costo con base en la obtención de datos en tiempo real y conexión entre equipos.
- Optimización de toma de decisiones: las Smart Factory aportan transparencia y control sobre toda la cadena de suministro, lo que permite tomar decisiones de manera ágil y acertada.
- Nuevos métodos de planificación: se tiene control sobre variables que posiblemente antes no eran consideradas en los procesos. Al implementar la Smart Factory se puede pronosticar y planificar mejor ya que se consideran todas las variables que afectan un sistema.
- Crear valor a partir de datos: el Big Data permite tener registros de todo lo que sucede en la organización, tanto afuera como adentro, y esto permite planificar mejores estrategias comerciales y productivas.

- Automatización: las líneas de producción se automatizan al estar conectadas por internet entre ellas y con entradas de datos de otras áreas involucradas en la organización como el almacén y el área comercial.
- Mantenimiento oportuno: se conoce con antelación el estado de las máquinas y esto permite prever cuándo van a fallar y que se tomen medidas al respecto antes de que suceda un problema grave.
- Ahorro energético: se tiene control sobre el consumo de la operación en tiempo real. De esta manera se reduce el consumo energético al mismo tiempo en que se aumenta la eficiencia y la productividad.

2. METODOLOGÍA

La metodología sobre la cual se hará el siguiente trabajo consta de dos grandes pasos; un estado del arte donde se hará una búsqueda bibliográfica sobre sistemas de información en el mercado y una investigación con enfoque cualitativo donde, con base en lo investigado en el estado del arte, se hará una entrevista al director de innovación de la empresa del caso de estudio sobre el estado actual de la compañía en materia de madurez en analítica de datos. Con base en estos dos puntos se determinará qué puede hacer la empresa para avanzar en temas de analítica prescriptiva para optimizar los procesos que se llevan a cabo en la línea de producción de sólidos. Es importante mencionar que, al ser una investigación con enfoque cualitativo, hay una revisión inicial de la literatura que puede complementarse en cualquier etapa del estudio y apoyar desde el planteamiento del problema hasta la elaboración del reporte de resultados (Sampieri, 2014). Este autor plantea que las metodologías cualitativas se basan en explorar y describir un tema específico para luego generar perspectivas teóricas de él. En los estudios cualitativos no se prueban hipótesis, sino que se generan durante el proceso; son un resultado del estudio (Sampieri, 2014). A continuación, se detallan los pasos a seguir en el trabajo.

1. Revisar estado del arte de los diferentes sistemas de información existentes que se pueden implementar en una empresa del sector fármaco.
 - Plantear cuál es la importancia de los sistemas de información en las empresas productivas y sus partes esenciales.
 - Investigar artículos y textos relacionados con sistemas de información para conocer qué existe en el mercado que pueden ser utilizados en empresas del sector fármaco.
 - Explicar cuáles son los pasos para convertir una planta de producción o una línea productiva en una Smart Factory a través de sistemas de información.
 - Investigar cuáles son los indicadores de producción que se deben medir con un sistema de información para mejorar la productividad de una línea.
2. Diagnosticar el estado de madurez de la empresa del caso de estudio en temas de sistemas de información y manejo de datos.
 - Realizar un cuestionario para la empresa del caso de estudio que permita identificar los sistemas de información que tienen y la madurez de la compañía en materia de analítica de datos. El cuestionario para trabajar se hará con base en la información obtenida en el estado del arte.

- Con base en las respuestas al cuestionario, se busca identificar qué se ha implementado en la empresa, por qué lo implementaron y qué han logrado obtener con esto.
 - Realizar una reunión con las diferentes áreas de la empresa del caso de estudio que trabajen con algún sistema de información de datos. En esta reunión se hablará de cómo era la empresa antes y después de implementar dicha herramienta y detallar el cambio que ha habido en los procesos productivos.
3. Definir qué debe hacer la empresa para optimizar el proceso de producción de sólidos por medio de analítica prescriptiva.
- Con base en lo que ha hecho la empresa del caso de estudio, definir cuál es el paso que la empresa debe seguir en materia de analítica de datos para convertirse en una Smart Factory y optimizar procesos con analítica prescriptiva.
4. Definir los pasos en un marco de trabajo que puede seguir la empresa para unificar sistemas de información y realizar analítica predictiva y prescriptiva con base en ellos aplicado a la línea de sólidos.
- Realizar una investigación de cómo se desarrolla una metodología y cuáles son los pasos básicos en ella.
 - Detallar el proceso de la línea de sólidos en la empresa
 - Definir un marco de trabajo que la empresa pueda seguir que le permita la integración de sistemas de información y la implementación de analítica prescriptiva en la línea de sólidos.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 ESTADO DEL ARTE

3.1.1 Importancia de los sistemas de información

Como se mencionó anteriormente, los sistemas de información están compuestos por varios componentes interrelacionados que recopilan, procesan y almacenan datos para que las personas puedan tomar decisiones a partir de ellos. Anteriormente los fabricantes utilizaban tablas y métodos manuales para la recolección de datos. Hoy, los sistemas de información de datos en las áreas de producción se encargan de integrar sensores, plataformas informáticas, tecnología de comunicación, modelado de datos y simulación para tomar decisiones sobre los estados de la operación (Kusiak, 2017). Estos sistemas de información tienen un efecto directo con seis pilares de la producción; tecnología y procesos de fabricación, materiales, datos, ingeniería predictiva, sostenibilidad e intercambio de recursos y redes (Kusiak, 2017). Su impacto sobre cada pilar es explicado a continuación.

- **Tecnología y procesos de fabricación:** Los sistemas de información permiten monitorear el estado de una línea de producción y detectar fallas y malfuncionamientos. Además, abren puertas para el mejoramiento y desarrollo de nuevos procesos, nuevas máquinas, mayor integración de procesos y recursos con el uso de robots, sensores y softwares que hacen que las líneas de producción sean más inteligentes y adaptables al estado de la fábrica (Kusiak, 2017).
- **Materiales:** Es posible monitorear el ciclo de los materiales para evidenciar dónde se presentan desperdicios y poder optimizar los procesos. No es sólo la recuperación de materiales sino también la creación y utilización de nuevos materiales en la producción (Kusiak, 2017).
- **Data:** Los sistemas de información organizan los datos de manera que sean fáciles de visualizar y utilizar para, no sólo describir el estado actual de la operación, sino para la predicción de estados futuros. Los sistemas de información permiten unificar datos de distintas fuentes para tomar decisiones con base en una visión más global de los eventos. Esta data es utilizada para potenciar aplicaciones como modelos predictivos (Kusiak, 2017).
- **Ingeniería predictiva:** Tradicionalmente los datos de la industria manufacturera se usan para el análisis, monitoreo y control de operaciones. De ahí salen herramientas y teorías como el six sigma para el control estadístico de procesos. Estos análisis se enfocan más en comprender lo que ha pasado que en lo que puede suceder. La ingeniería productiva ofrece una visión distinta de los datos para, por medio de modelos, explorar espacios y situaciones futuras. Los modelos

pueden servir para simular un solo proceso o pueden involucrar entradas múltiples de toda la organización para tomar decisiones relacionadas con la producción futura con base en las condiciones del mercado. Estos sistemas consideran variables como demanda, inventario, capacidad de producción, productos en proceso y transporte (Kusiak, 2017).

- Sostenibilidad: La sostenibilidad se trata de cómo se fabrica un producto. Los sistemas de información sirven para evitar reprocesos, mejorar la calidad de la operación y ser más eficientes en la utilización de recursos (Kusiak, 2017).
- Intercambio de recursos y redes: La información puede ser transmitida de manera efectiva y comprensible a toda la organización para la toma de decisiones. Esta información también se puede compartir con agentes externos para realizar modelados colaborativos, compartir equipos de fabricación, software y experiencias para buscar soluciones conjuntas (Kusiak, 2017).

3.1.2 Sistemas de información existentes en el mercado que pueden ser utilizados en empresas del sector fármaco.

En la actualidad existen herramientas llamadas Enterprise Resource Planners (ERP) que se encargan de digitalizar y centralizar la información de las organizaciones. (Gartner Inc, 2019) define un ERP como “la capacidad de entregar un conjunto integrado de aplicaciones comerciales.” Las herramientas ERP comparten datos obtenidos en los diferentes procesos operativos de toda una organización. Desde el área de compras y finanzas hasta recursos humanos, distribución, fabricación, servicio y la cadena de suministro (Gartner Inc, 2019). Los ERP se compran por módulos para cada una de las diferentes actividades que se pueden monitorear en él. Existen módulos de manufactura, almacenamiento, finanzas, clientes, ventas y control de calidad (ProcessPro ERP, 2019). Sin embargo, las implementaciones de ERP tienden a tener un precio significativo, y los beneficios comerciales son difíciles de justificar y comprender en un país como Colombia con baja digitalización en las empresas. En el 2017 tan sólo el 9% de las empresas en Colombia habían adoptado tecnologías relacionadas con el Internet de las cosas (Luna, 2018).

En 2017, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MinTIC) junto con Raúl Katz, presidente de Telecom Advisory Services realizaron un estudio llamada *El observatorio de la economía digital en Colombia*. El observatorio proporciona información para comprender el nivel de digitalización de procesos productivos. El autor separa las tecnologías digitales en dos áreas; tecnologías digitales maduras y tecnologías digitales avanzadas. Se entiende como tecnologías digitales maduras el uso de sitios web, redes sociales, y compras online. Las tecnologías digitales avanzadas se entienden como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas, datos masivos (Big Data), blockchain, computación cognitiva y realidad aumentada. Sistemas ERP y sus módulos están contenidos dentro de esta categoría ya que hacen parte de la rama de Big Data e Internet de las cosas (Luna, 2018).

COLOMBIA: ÍNDICE DE ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS AVANZADAS POR ESTADIO DE LA CADENA DE VALOR (0-100) (2017)

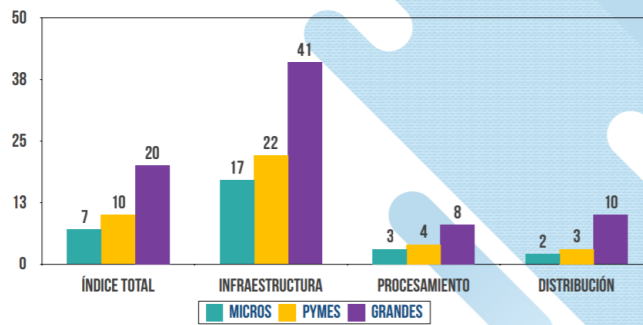


Ilustración 1 – Índice de adopción de dire por estadio de la cadena de valor (Katz, 2017).

En el estudio se mide el índice de adopción de tecnologías avanzadas dándole un valor de 0-100 donde cero es un nivel de adopción nula y 100 es una adopción total de tecnologías. Las tecnologías se dividen en tres pilares; infraestructura, procesamiento y distribución y se mide la adopción de tecnologías avanzadas en cada uno de estos pilares en cada una de las tipologías de empresas en Colombia; micro, pymes y grande. Las empresas grandes son las de mayor adopción de tecnologías y hay una brecha significativa entre la adopción de tecnología avanzada en las pymes contra la implementación de tecnología avanzada en las grandes empresas. Los pilares de procesamiento y de distribución son los pilares de menor adopción de estas tecnologías.

Pilar	Tecnología	Nacional	Grandes	Pymes	Micros
Infraestructura	Ciberseguridad	32.2 %	67.2 %	37.1 %	25.4 %
	Computación en la nube	19.1 %	48.8 %	22.9 %	13.6 %
Procesamiento	Internet de las cosas	9.0 %	14.8 %	9.3 %	8.2 %
	Robótica	1.5 %	11.1 %	1.2 %	0.6 %
	Impresión 3D	2.2 %	4.8 %	2.1 %	2.1 %
	Realidad virtual	1.0 %	1.7 %	0.9 %	1.0 %
Distribución	Big data	3.2 %	16.8 %	4.0 %	1.3 %
	Inteligencia artificial	1.8 %	9.7 %	2.4 %	0.7 %
	Blockchain	1.6 %	5.9 %	1.6 %	1.1 %

Ilustración 2 - La adopción por componente y tecnología (Katz, 2017)

En esta tabla se puede ver un avance en tecnologías avanzadas en el pilar de infraestructura especialmente relacionadas con ciberseguridad. Además se evidencia baja implementación de tecnologías en Internet de las cosas y Big Data en las tres tipologías

de empresas. Aterrizando el caso a Antioquia, tan sólo el 10,4% de las empresas en la región han adoptado internet de las cosas en sus procesos productivos (Katz, 2017). Este estudio demuestra que en Colombia seguimos atrasados en materia de adopción de tecnologías que aportan a la transformación digital.

A pesar de la baja adopción de tecnologías avanzadas, sí existen ERP conocidos en la industria colombiana. El más conocido es SAP. SAP es la empresa líder en el mercado en software de aplicaciones empresariales relacionadas con tecnologías avanzadas. El software ayuda a las empresas a relacionar todas sus operaciones sin importar el sector al que pertenece la empresa. La herramienta integra áreas y procesos por medio de machine learning, internet de las cosas para crear lo que ellos llaman empresas inteligentes (SAP, 2019). SAP al igual que el resto de los ERP ofrece módulos digitales para cada área y enfoque de la compañía como recursos humanos, finanzas, experiencia del cliente y compras y ventas. Siesa es otro ERP muy utilizado en Colombia en diversos mercados por la facilidad de integración que ofrece para los diferentes módulos.

Para el caso concreto del sector fármaco existe un ERP completo especializado en industrias químicas, farmacéuticas y cosméticas que se llama ProcessPro (ProcessPro ERP, 2019). Esta herramienta ofrece, al igual que SAP, módulos de almacenamiento y despachos, financieros, control de calidad, compras y ventas y gestión de clientes. Además de esto ofrece módulos especializados en procesos de fabricación con distintos enfoques dependiendo del tipo de empresa (ProcessPro ERP, 2019). El módulo de producción para el sector fármaco incluye:

- Sistema de planificación de materiales (MRP): permite un uso más eficiente de los recursos al tener en cuenta la oferta, demanda y pronósticos del negocio. Ayuda a planificar producción y compras de insumos (ProcessPro ERP, 2019).
- Gestión de fórmulas y recetas: permite tener en un solo lugar seguro fórmulas químicas y recetas de medicamentos y las pruebas de control de calidad (ProcessPro ERP, 2019).
- Programación de producción: permite generar una programación de producción de manera automática con base en los equipos disponibles, los tiempos de fabricación y la demanda (ProcessPro ERP, 2019).
- Ejecución de fabricación: permite administrar las diferentes líneas de producción teniendo en cuenta tiempos, eficiencias de las máquinas, pérdidas e inventarios (ProcessPro ERP, 2019). Muestra en tiempo real el cumplimiento de un proceso y el estado de las máquinas involucradas en el proceso.
- Mantenimiento y reparaciones: permite administrar los mantenimientos programados de las máquinas y alerta cuando una máquina no está funcionando de manera eficiente y necesita ser verificada. Incluye además un inventario de las piezas necesarias para el mantenimiento, y

programación de reparaciones preventivas además de un historial de trabajos realizados (ProcessPro ERP, 2019).

3.1.3 Pasos para convertirse en una Smart Factory

Después de revisar la literatura sobre el tema, no se encontró una serie de pasos detallada que se pueda aplicar en todos los casos para transformar una planta de producción en una Smart Factory completa. Sin embargo, se pudo determinar que esta transformación depende en gran parte de la cultura de manejo de datos que tenga la empresa, de la tecnología de la maquinaria, de la capacidad analítica del personal y del problema que se quiera solucionar. Por estas razones, cada empresa y su situación debe ser analizada de manera individual. Sin embargo, sí hay estados de maduración en cuanto al manejo de los datos internamente (Sundblad, 2019). El autor plantea que las empresas, deben pasar por los cuatro niveles para poder al final convertirse en una Smart Factory. Cada nivel es requisito para el próximo, pero no hay un tiempo definido en cada uno de ellos.

Nivel uno: Datos disponibles

Un sistema de nivel uno es el estado inicial. En esta etapa, los datos se recolectan y están disponibles, pero son difíciles de usar para tomar decisiones o implementar mejoras. Los datos se encuentran en sistemas aislados, que requieren trabajo manual para integrarlos y traducirlos en información útil (Sundblad, 2019). En este nivel es posible resolver problemas y hacer predicciones, pero requiere mucho tiempo y trabajo. Cuando se evidencian datos atípicos y surge un problema de calidad del producto o del estado de la maquinaria, los ingenieros deben recopilar manualmente los datos de varios sistemas para determinar qué sucedió y cómo solucionarlo. Este enfoque manual es frustrante y costoso; drena tiempo, recursos y dinero de la fábrica (Sundblad, 2019). Mantenerse en el nivel uno puede llevar a la empresa a perder grandes sumas de dinero.

Nivel dos: Datos Accesibles

Un sistema de nivel dos integra todas las fuentes de datos en una sola fuente y continuamente recopila y rastrea datos de producción (Sundblad, 2019). Con los datos en una ubicación y siempre disponibles, se vuelve más rápido en análisis de problemas y por ende solucionarlos. Cuando ocurre un problema, los ingenieros pueden acceder a los datos en el sistema mediante visualizaciones de datos y paneles de control, esencialmente aprovechando el sistema como un motor de consulta (Sundblad, 2019). Con un fácil acceso a todos los datos, pueden responder preguntas rápidamente, aumentando la productividad de la planta. Además, un sistema de nivel dos permite a los ingenieros enfocarse en abordar problemas de alto valor, como mejorar el producto en sí y optimizar tiempos en la línea de producción. En el nivel dos, aún es difícil predecir comportamientos futuros ya que el foco es la descripción y visualización de varias variables al mismo tiempo. El análisis proactivo, que permite a las fábricas realizar mejoras antes de que ocurran los problemas, aún requiere tiempo, esfuerzo y compromiso por parte de los ingenieros.

Nivel tres: Datos activos

Un sistema de nivel tres cambia los análisis de datos de los descriptivos a los análisis predictivos. Para pasar del nivel dos al nivel tres, debe basarse en la arquitectura de datos del nivel anterior agregando nuevas capacidades del sistema que permitan hacer pronósticos con base en el comportamiento del sistema. Muchos de estos sistemas están relacionados con el machine learning (Sundblad, 2019). Estas nuevas herramientas le permiten que el sistema mismo comience a generar ideas con base en tendencias y resultados pasados. Estas nuevas características, combinadas con el sistema de visualización y descripción de datos del nivel dos, crean un sistema inteligente que puede predecir fallos y órdenes de producción con mayor precisión, al tiempo que entrega información del estado actual de una máquina o una línea de producción (Sundblad, 2019). Los usuarios no tienen que consultar el sistema o realizar un análisis de procesos manual para encontrar las respuestas a los problemas de producción. Un ejemplo de los atributos del sistema de nivel tres incluyen modelos de aprendizaje automático que predicen defectos de productos o fallas de máquinas e identifican formas de producir de manera más eficiente (Sundblad, 2019). En un sistema de nivel tres, todavía se necesita una persona para realizar los cambios que recomienda el sistema inteligente.

Nivel cuatro: Datos orientados a la acción

En el nivel cuatro, el sistema de datos implementa las recomendaciones que encuentra al analizar los datos de fabricación (Sundblad, 2019). Por ejemplo, un modelo de aprendizaje automático identificará una optimización, luego generará y enviará las nuevas configuraciones recomendadas a la máquina, donde se ejecuta automáticamente (Sundblad, 2019). En una línea de producción de nivel cuatro, controlada por inteligencia artificial, el tiempo que lleva ejecutar una acción detectada por el sistema se vuelve mínimo. Alcanzar el nivel cuatro requiere no de sólo programas y sistemas de información avanzados sino un conjunto de datos robustos que le permita evaluar casos validados para proporcionar la información necesaria para que el sistema sepa los impactos que puede generar ese cambio automático.

Este concepto de la madurez de los datos lo ejemplifica (Elliott, 2018) para el blog de SAP con la siguiente figura:

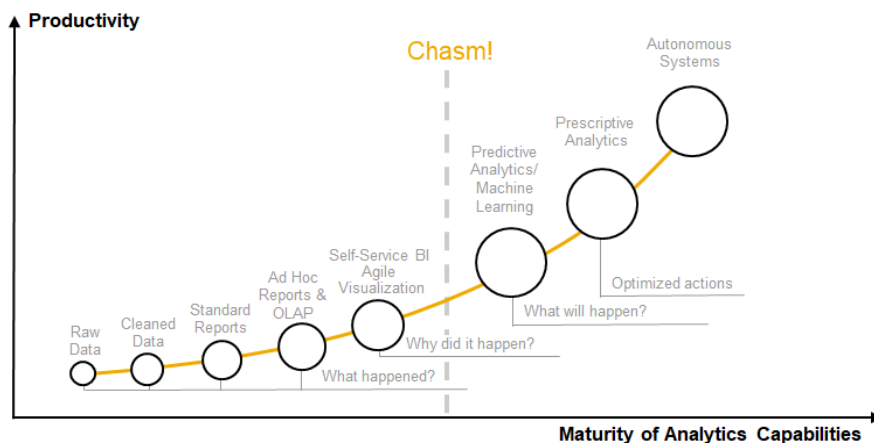


Ilustración 3 - modelo de madurez analítica (Elliott, 2018)

La evolución de un proceso analítico comienza con la recopilación básica de datos y culmina con el uso proactivo y automatizado de algoritmos avanzados (Elliott, 2018). En el eje horizontal de la figura se muestra la madurez de la tecnología analítica. El autor denomina como el "abismo" el momento cuando una empresa pasa de solamente hacer análisis descriptivos a hacer análisis predictivo. En el eje vertical se muestra la productividad de la compañía. De el gráfico se puede concluir que mientras más maduro sea el estado de los datos y los análisis que se se hagan con ellos, mayor es la productividad de la compañía. Las mayores barreras para el uso de la analítica son las organizacionales y culturales para la adopción de tecnologías (Elliott, 2018).

Según este modelo lo primero que se debe hacer es una buena descripción de los datos y los eventos relacionados a ellos. Esto sucede después de recolectar los datos, almacenarlos, hacer una limpieza de datos atípicos y crear reportes automáticos online para visualizar los estados de la operación (Elliott, 2018). Luego, por medio de inteligencia de negocios se puede encontrar una explicación a por qué sucedió algo en particular. Esta información realimenta el sistema para que él pueda predecir qué va a pasar con base en esos eventos pasados. Finalmente el sistema puede tomar decisiones de manera autónoma a medida que aprende de los resultados de las decisiones anteriores (Elliott, 2018).

3.1.4 Indicadores de producción

Sebastián Duque, country manager de Dunhumby para Colombia dijo en una conferencia sobre Big Data en el Pascual Bravo que de nada sirve la implementación de sistemas de información que recopilen data si esa data no es enfocada en serle leal al cliente (Duque, 2019). Él hace énfasis en que las estrategias de analítica de datos son una manera de comprender el comportamiento y los deseos de los clientes y que toda

estrategia interna en una compañía debe orientarse en mejorar el servicio hacia ellos. De nada sirve una minería de datos que no le aporta crecimiento comercial a la compañía. Esto va muy de la mano de un artículo sobre la recopilación de datos de producción y análisis de rendimiento que dice que las empresas deben dejar de diferenciar los indicadores de rendimiento entre áreas y comenzar a tratarlos como conjuntos que dependen de los demás (Greeff & Ranjan , 2004). Por esta razón es que actualmente en las organizaciones los KPI (key performance indicators) de las áreas de producción deben estar alineados con los KPI del área comercial.

Anteriormente en los mercados había pocos proveedores de productos manufacturados. En ese entonces los KPI de producción se centraban en las prácticas de producción en masa para aprovechar la capacidad instalada al máximo, ya que la fábrica con el menor costo de producción tenía una ventaja sobre sus competidores. Con el tiempo, la base de poder pasó a la cadena de suministro. Al haber menos barreras comerciales y al haber una globalización del mercado, los clientes tuvieron una mayor posibilidad de elección de proveedores. Los distribuidores eran dueños de la relación con el cliente (Greeff & Ranjan , 2004). Esto obligó a los fabricantes a enfocarse en fabricar productos personalizados de forma masiva según los deseos del distribuidor y del consumidor final. Actualmente, el servicio al cliente es el KPI de mayor prioridad para las empresas, y con la evolución de las estrategias de comercio electrónico, todos los actores involucrados en la cadena de suministro necesitan cooperar para garantizar la mayor satisfacción del cliente y ganarse su lealtad (Duque, 2019). Para que una empresa tenga éxito en el entorno empresarial actual, no solo necesita ejecutar procesos de manera efectiva y eficiente, sino que también debe recopilar datos de rendimiento comercial para analizar la información e identificar áreas a lo largo de la cadena de suministro con potencial de mejora (Duque, 2019).

En la figura 4, el artículo muestra el cambio de enfoque que han tenido los KPI en la industria hacia las áreas comerciales. En el eje x muestra la evolución en tiempo y asocia herramientas tecnológicas que ayudan a la medición de dichos KPI según donde sea necesario en la cadena de suministro (Greeff & Ranjan , 2004).

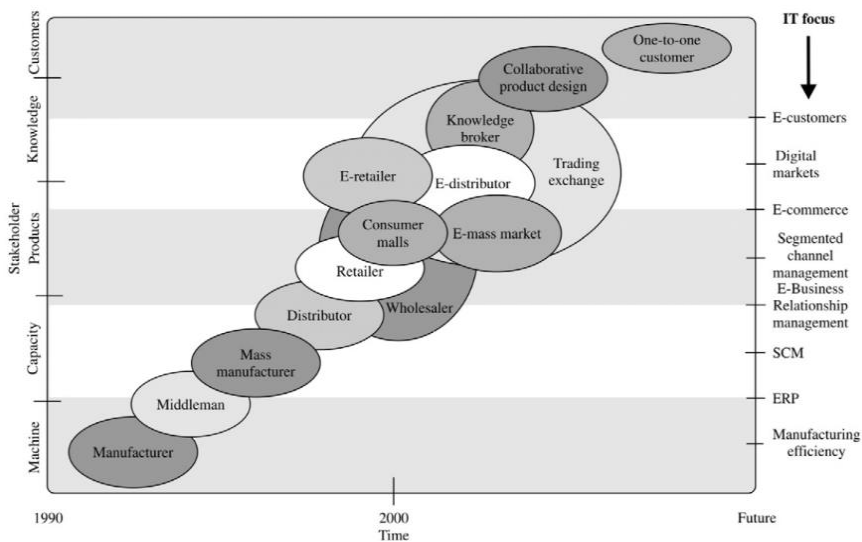


Ilustración 4 - La base de poder del mercado se traslada al cliente y al consumidor (Greeff & Ranjan , 2004)

Si bien el mayor foco de una Smart Factory es medir los indicadores de producción en tiempo real, una integración completa de la organización permite visualizar los KPI de todas las áreas al mismo tiempo para estar alineados e identificar en qué área hay falencias para evitar reprocesos e incumplimientos con los clientes. Las herramientas de medición de datos enfocadas en las áreas de producción miden las siguientes variables (Vazan, Janikova, Tanuska, Kebisek, & Cervenanska, 2017):

- Número de productos terminados en un periodo de tiempo establecido
- Número de productos en proceso
- Producto almacenado
- Flow time: tiempo que demora un artículo en ser terminado desde que es materia prima hasta que es empacado y almacenado.
- Lead time: Tiempo desde que se recibe una orden hasta que se despacha
- Costo por unidad
- Capacidad utilizada

- Seguimiento de desperdicios de producción
- Consumo de materias primas

Los sistemas de información permiten visualizar y analizar el cumplimiento de estas variables en tiempo real para la planta en general y para cada una de las líneas de producción. Como se mencionó anteriormente, estos no pueden ser ajenos a los KPI comerciales. Si bien monitoreando las variables de producción se puede minimizar costos y prever fallas, estos resultados deben impactar al cliente final. Todas estas mediciones hacen parte del nivel tres de la madurez de los datos donde, además de ser descriptivos, se pueden hacer predicciones con base en ellos y en los datos históricos de rendimientos. Para llegar al nivel cuatro con datos orientados a la acción, los sistemas de información involucrados deben ser capaces de regular las configuraciones de las máquinas para aumentar productividad, enviar alertas para pedidos de materias primas faltantes con base en la demanda cuando hagan falta y ser capaz de detectar qué falta para cumplir con los pedidos a tiempo y dónde deben intervenir los operarios.

3.2 ESTADO DE IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN EMPRESA DEL SECTOR FÁRMACO EN MEDELLÍN

3.2.1 Cuestionario para la empresa del caso de estudio que permita identificar los sistemas de información que tienen

La empresa del caso de estudio es una empresa del sector farmacéutico con 60 años en el mercado ubicada en la ciudad de Medellín, Colombia. Comenzó como una iniciativa para desarrollar un producto hecho en Colombia que tratara la anemia y hoy en día tiene un portafolio de más de 120 productos en el catálogo entre genéricos y marcas propias y en la constante búsqueda de aumentar este número. En los sesenta años que lleva de historia han adquirido equipos, maquinaria y softwares para ser más productivos y eficientes en los procesos y, desde el 2018, la junta decidió tomar encaminarse en un proyecto a mediano plazo para hacer parte de la industria 4.0 convirtiéndose una Smart Factory. Para esto han implementado diferentes softwares de medición en las distintas áreas involucradas en la operación. Si bien en el punto 3.1.2 se mencionó que existen ERP que integran todas las áreas de una organización, para la empresa no es posible adquirirlo de manera inmediata y han optado por adquirir distintos sistemas de manejo de datos con focos específicos para una necesidad puntual.

Se realizó una encuesta al director de innovación de la empresa quien lidera el proyecto de la transformación digital con el fin de entender cómo está la empresa actualmente en materia de sistemas de información y qué caminos están próximos a desarrollar. El fin de la encuesta es comprender no sólo qué softwares y sistemas usan y por qué los usan si no cómo analizan la información y qué acciones realizan con esta información. Para responder a estas preguntas se plantearon seis preguntas que se realizaron con base en la investigación realizada en el marco teórico:

3.2.2 Análisis del punto donde se encuentra actualmente la empresa del caso de estudio hoy en materia de implementación de sistemas de información

Con base en las respuestas por parte de la empresa a las preguntas planteadas anteriormente se identificaron los siguientes sistemas de información:

- SAP Business One: software utilizado en las áreas de la parte comercial más específicamente en el área financiera, de compras, de producción y de control calidad. Esta herramienta es el ERP de la compañía donde se administran los clientes, las ventas, los inventarios, las ordenes de producción, la facturación y la cartera. La información en SAP se analiza a nivel de reportes e informes: Informes de cartera, informes financieros, informes contables, órdenes de producción en procesos, informes nivel de inventarios. Estos informes son analizados por el personal del área correspondiente y toman decisiones relacionadas con la demanda; qué producir, cuánto producir y para cuándo. Además, toman decisiones con enfoque comercial como promociones y créditos a clientes.
- CRM: Se utiliza en el área de ventas y mercadeo para administrar todas las interacciones que se tiene con los clientes. En este sistema se almacena la información general de los clientes, la bitácora del cliente, los compromisos, listas de precios, las llamadas, las quejas, las inquietudes y si se está en una negociación se lleva un control de este proceso. La información en el CRM se analiza a nivel de reportes e informes y con base en esta información se han hecho campañas promocionales personalizadas para los clientes y aperturas de nuevas zonas de ventas a nivel nacional gracias a la cantidad de clientes que se contactan de dicha zona.
- Insitu Sales: Software utilizado por la fuerza de ventas en campo para el área comercial. Funciona como una plataforma móvil que permite a los vendedores administrar sus clientes, diligenciar encuestas, montar pedidos en tiempo real y monitorear la ubicación del personal con georreferenciación. La plataforma envía informes de ventas en línea al área comercial para medir el progreso y cumplimiento de las metas de ventas
- WMS: Se utiliza en el área de despacho y sirve para gestionar el inventario en bodega de producto terminado y realizar actividades de picking y packing según la demanda, la prioridad del cliente y la cantidad de referencias de producto terminado disponibles. Además, sirve para organizar de manera eficiente la distribución de paquetes en el almacén y así aprovechar al máximo el espacio disponible y minimizar el tiempo que se demora en completar un pedido y despacharlo completo. No mide una variable en específico pero su principal objetivo es la reducción de tiempos y errores en los procesos del almacén.
- JOBTRACK: Herramienta utilizada en área de operaciones y producción para el control de las actividades en el piso de la planta. Esta herramienta permite conocer el estado de cada una de las órdenes de producción al medir el estado de cada una de las máquinas donde considera qué procesos de una línea de producción han terminado, cuáles están en proceso y cuáles están detenidos. De esta

manera, y con la consideración del tiempo promedio de fabricación de un lote, es capaz de decir qué tanto se ha avanzado en el proceso y el tiempo aproximado para terminar. La información se visualiza en un panel de control que, por medio de dashboards muestra el estado de cada equipo y cada proceso. Con esta herramienta finalmente se puede conocer en tiempo real el nivel de carga de cada uno de los equipos, nivel de ocupación general de la planta y conocer los motivos de fallos a nivel de las máquinas en la operación.

- QLIK SENSE: Herramienta que permite visualizar todos los indicadores de gestión y KPIs de las áreas de mercadeo y ventas, gestión humana, compras, financiera, operaciones, producción, gestión calidad. De esta manera toda la organización puede visualizar en tiempo real el cumplimiento de presupuesto, cumplimiento fuerzas de ventas, porcentaje de ocupación de planta, cumplimiento de órdenes de producción, nivel de servicio, ventas perdidas, ventas faltantes. Esta herramienta es utilizada por la gerencia y los altos mandos únicamente.
- WA Solution (En implementación): Herramienta que va a facilitar la planeación del abastecimiento y la producción diseñada bajo la metodología Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP). Esta metodología trata de tener siempre el nivel de inventario necesario para la producción según la demanda estimada. Esta herramienta es capaz de medir el nivel de inventario de materias primas, material de empaque y producto terminado y el consumo promedio diario de estos materiales para no sólo avisar cuándo se acaba el inventario sino para que se anticipe y prediga cuándo y qué cantidad pedir para lograr cumplir con la demanda.

3.2.3 Impacto de estas tecnologías en la empresa

En la entrevista que se sostuvo con el director de innovación de la empresa del caso de estudio para entender cuál ha sido el impacto que han tenido estas tecnologías sobre la operación del día a día de en la empresa. Los resultados obtenidos se diferencian para las distintas áreas ya que el impacto de estos sistemas de información es distinto en cada una de ellas. Las áreas que más han visto los resultados de dichas tecnologías son el área comercial, área de producción y área de almacenamiento y despacho. A continuación, se presentan los resultados declarados por el director de innovación en cada área.

- Comercial: El mayor beneficio que los sistemas de información le han dado al área comercial es el de mejorar las relaciones con los clientes y ofrecerles promociones especializadas para aumentar los tickets de compra. La información obtenida a través de sistemas de información en las áreas de mercadeo y ventas ha permitido a la compañía conocer cómo compra cada uno de sus clientes; las frecuencias de compra, los productos de mayor rotación y los volúmenes de compra. Conocer estos detalles de los clientes permite al área de ventas crear promociones ideales para cada cliente y anticipar la demanda para hacer una mejor programación de la producción y de las compras de materia prima.

- **Producción:** La implementación de sistemas de información en la producción han permitido conocer el porcentaje de cumplimiento de cada las órdenes de producción en tiempo real. Esto ha permitido identificar cuellos de botella y oportunidades de mejora en los procesos además de la posibilidad de adelantarse a fallas de la maquinaria. Al medir el estado de cada máquina, ha sido posible medir nivel de ocupación general de la planta y hacer programación de producción más eficientes. La programación de la producción está también ligada a la estimación de la demanda generada por el área comercial y a la disponibilidad de materias primas y recursos. Los sistemas de información también permiten adelantarse a cuándo se deben hacer pedidos de estos recursos para que la producción sea continua y no haya fallas por falta de material.
- **Almacenamiento y despacho:** Mediante sistemas de información se ha podido tener un control sobre el inventario en bodega de producto terminado y agilizar actividades de picking y packing. El manejo de datos en esta área permite saber con qué se cuenta de producto terminado y cuánto más se necesita para completar una orden. Con base en la prioridad de entrega, los sistemas de información le dicen a los operarios qué se debe despachar primero y le dicen a producción qué deben producir con mayor frecuencia. Además, le dicen al encargado de despacho cuál es la ruta más rápida dentro de la bodega para cumplir con un pedido. Finalmente ha facilitado la acomodación de producto terminado según la rotación del producto y sus fechas de caducidad.

3.3 RECOMENDACIONES SOBRE LO QUE DEBE HACER LA EMPRESA DEL CASO DE ESTUDIO PARA OPTIMIZAR LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS

Con la información recolectada en la etapa 3.1 de esta investigación y las declaraciones obtenidas por parte del director de innovación de la empresa del caso de estudio, se determinó en qué estado de madurez está la compañía en materia de manejo de datos y cuál debería ser el siguiente paso que deberían tomar. Para este análisis se realizó una matriz DOFA que permite evidenciar qué han hecho bien, dónde tienen falencias y aterrizar la oportunidad de mejora que tienen. Se optó por hacer un análisis DOFA porque permite aterrizar de manera clara la oportunidad de mejora al agrupar las fortalezas, debilidades y amenazas a las que se enfrenta la organización. Al momento de ordenar estas ideas sobre sus entornos y determinar en dónde se encuentra hoy la empresa en madurez de los datos, se hace más fácil formular una estrategia accionable según su capacidad.

Debilidades: interno	Fortalezas: interno
<ul style="list-style-type: none"> • Baja integración entre sistemas de información de las diferentes áreas de la compañía • KPI de las áreas comerciales no se hablan con los KPI del área de producción. Si bien la gerencia monitorea en tiempo real las dos áreas, cada una funciona como un área independiente y no se hablan entre sí. • La programación de la producción se hace de manera manual con base en proyecciones del área de ventas. Esto afecta también al área de compras quien encarga la materia prima con base en esto mismo haciendo estos procesos muy manuales y con margen de error. • Las órdenes de materia prima se hacen actualmente de manera manual por el equipo de compras cuando ven que se está acabando un producto que se necesita para algún pedido específico de un cliente o sobre una predicción de la demanda por parte del mismo equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de sistemas de información en cada área de la compañía. Han creado una cultura de los datos en la organización al disponer de distintas herramientas para las distintas áreas. Además, los coordinadores de área conocen de la importancia de la analítica de datos. • Jobtrack: herramienta para monitorear capacidad productiva en tiempo real • Qlik Sense: herramienta para monitorear todos los KPI de las diferentes áreas en tiempo real. • CRM que permite conocer al cliente para darle soluciones especializadas con base en su historial de compras

Oportunidades: externo	Amenazas: externo
<ul style="list-style-type: none"> • La empresa tiene la oportunidad de comenzar a integrar los diferentes sistemas de información para realizar predicciones y que los mismos sistemas se encarguen de algunas labores. El área comercial cuenta con información de la demanda histórica de los diferentes clientes y con base en esto y la información de almacenamiento puede hacer pedidos de materia prima de manera automática y hacer una programación de la producción de la manera más eficiente asegurando la utilización del 100% de la capacidad interna. 	<ul style="list-style-type: none"> • La principal amenaza para la compañía en materia informática es el hecho de que si no continúan modernizando las operaciones dejarán de ser competitivos en el mercado ya que otras empresas producirán medicamentos de mejor calidad a menor costo. La empresa está en riesgo de que surja un competidor que apalanque su producción en automatizaciones de procesos con analítica prescriptiva y que se vea reflejado en una disminución de costos con la que pueden salir a competir en el mercado.

Figura 1 – Matriz DOFA: análisis de factores internos y externos de la empresa del caso de estudio

Actualmente la empresa cuenta con datos activos tomados en tiempo real de las diferentes áreas que permiten hacer análisis descriptivos del estado actual y permite hacer proyecciones de la demanda. Las fortalezas de la empresa en términos de madurez de datos están relacionadas con las diferentes herramientas descriptivas que la empresa utiliza en las distintas áreas de la organización y con la cultura de manejo de datos que les han inculcado a sus empleados. El hecho de que la empresa haya invertido tiempo y dinero en adquirir y educar al personal en estas herramientas es un gran avance para la misión de transformarse en una Smart Factory. Con base en el análisis anterior, se puede concluir que la empresa del caso de estudio está actualmente en el nivel tres de madurez de los datos, el nivel de datos activos. En este nivel los datos de la empresa sirven para hacer predicciones. Esta predicción permite que hoy en día la empresa se adelante a lo que se viene para surtir de materia prima y realizar la programación de producción del mes. Sin embargo, estos son precisamente los procesos que se pueden automatizar con acciones prescriptivas por parte del mismo sistema de información.

A pesar de que la empresa es capaz de hacer una adecuada predicción de la demanda con base los datos de ventas aún tienen una clara debilidad que deben solucionar antes de avanzar al nivel cuatro de madurez de datos y poder generar analítica prescriptiva. La empresa debe integrar las bases de datos de los diferentes sistemas en cada área para que un mismo software de gestión de datos la analice y pueda automatizar los procesos de compra de materia prima y planeación de la producción. Esta automatización requiere correr softwares de machine learning que identifiquen patrones en la demanda de cada cliente, considere la cantidad de producto terminado y de materia prima en bodega e identifique la utilización de la planta. El software debe ser capaz de considerar todas estas variables para predecir qué viene y que puedan actuar de manera autónoma y proactiva.

En el marco organizacional, la empresa, de la mano del director de innovación y TI, deben convencer tanto a las áreas involucradas en producción como a las áreas de la parte comercial sobre el proyecto para que entre todas alineen sus KPI y su estrategia organizacional.

3.4 DEFINIR LOS PASOS PARA UN MARCO DE TRABAJO.

3.4.1 Desarrollo de una metodología

Antes de integrar los diferentes sistemas de información en la empresa del caso de estudio y realizar análisis prescriptivos con la data obtenida, es necesario crear un marco de trabajo específico para la empresa. El marco de trabajo para la implementación de dicha solución se planteará con base en el artículo "*Methodology for Creating Methodologies*". Según los autores (Smith & Apple, 2019) crear una metodología es un proceso complejo pero este proceso se hace más fácil si se formalizan sus pasos. Una metodología debe cubrir la gama completa de actuaciones dentro de un proceso, y deben estimular la reflexión pensando en el rendimiento (Smith & Apple, 2019). La implementación de una metodología es similar a la de un ciclo de PHVA donde constantemente se debe monitorear los avances y ajustar hasta que la mejora funcione de manera perfecta para luego replicarlo en otras áreas de la organización. Antes de planear una solución es necesario primero identificar qué se desea mejorar y comprender el proceso a mejorar. Con esto definido y el plan de acción claro se comienza a implementar la solución, se verifican los resultados y se mejora lo que no funciona. Los autores identifican 10 pasos para crear una metodología que se resumen a continuación (Smith & Apple, 2019).

1. Definir un horizonte: Antes de comenzar a construir una metodología, se debe establecer el alcance del proceso estableciendo un inicio y un plazo final para definir un periodo de ejecución. Además, se debe plantear el propósito y los objetivos del proceso y quién se beneficia de ello.
2. Identificar aspectos claves: En este paso se debe plantear preguntas claves relacionadas con cómo se afectará la empresa con la nueva metodología a implementar. Hay preguntas claves que se deben plantear en este momento como las dificultades que se pueden presentar en el proceso, qué implica una mejora en el rendimiento, qué diferencias habrá si se compara con lo que se hace hoy, qué factores dificultan la ejecución del proceso. Es clave asumir las perspectivas de diferentes partes involucradas ya que cada parte podrá tener una visión distinta sobre un tema en específico dependiendo de cómo se afectará.
3. Contextualizar el proceso: La implementación de un cambio en un proceso productivo generalmente afecta un sistema más grande del cual el proceso hace parte. Por eso en este paso es esencial aterrizar la metodología sólo al proceso que se desea afectar, pero teniendo en cuenta los otros que se pueden ver afectados.

4. Definir criterios: Los criterios sirven para evaluar la calidad y el rendimiento logrado en el proceso. En este paso se deberán establecer criterios para medir el impacto en el proceso y sus resultados. Estos criterios van atados a los KPI de calidad y eficiencia del proceso.
5. Información y recursos: Es importante revisar la calidad y la cantidad de recursos que se tienen. Los recursos además de monetarios deben contar con el recurso humano y el conocimiento necesario para llevar a cabo la implementación.
6. Ordenar el proceso de manera lógica: En este paso se debe organizar la implementación del proceso en una serie de pasos lógicos. Primero, se debe dividir el proceso en etapas. Dentro de cada etapa, determine qué debe hacerse y cómo. Es importante preguntarse si cada paso es valioso para el conjunto. El objetivo es tener el número mínimo de pasos y, al mismo tiempo, mantener cada paso manejable.
7. Ejecutar la metodología: en este paso se ejecuta el proceso utilizando la metodología como guía. Es importante además documentar el desempeño en cada paso.
8. Evaluar cada paso: Se comparan los datos observados en el Paso 7 y los criterios definidos en el Paso 4 para ver si la mejora se está implementando de manera exitosa. En caso de que se identifiquen fallas en el proceso, este es el momento para corregir.
9. Facilitar el proceso: asegurarse de que todos los involucrados comprendan qué está pasando y cómo se están implementando los cambios.
10. Evaluar el funcionamiento: A diferencia del paso 8 donde se evalúa cada paso de la metodología, en este paso se evalúa la totalidad del proceso como un todo. Al igual que en el paso 8, si se identifican fallas y todavía hay opciones de mejorar, estas se deben hacer.

3.4.2 Proceso de la línea de sólidos en la empresa

A partir de la matriz DOFA en el punto 3.3 de este estudio, se determinó que la empresa tiene una oportunidad de integrar los diferentes sistemas de información para realizar predicciones y hacer que los sistemas tomen decisiones propias por medio de analítica prescriptiva para satisfacer la demanda predicha. Estas decisiones concretamente son las órdenes y compras de materia prima y la planeación de la producción. Bajo el contexto actual de la empresa del caso de estudio, por un tema de costos, de capacidad humana, y de riesgo es imposible que den el salto a ser una Smart Factory de manera inmediata. El área de producción cuenta con varias líneas y, para ser una Smart Factory, cada una de estas debe ser intervenida. Esta conversión a una Smart Factory implica que todas las líneas de producción deben estar integradas con la data del área comercial y deben hacer los pedidos de materia prima de manera automática. Por esta razón es que se propone que la implementación de los softwares prescriptivos se haga bajo el modelo Kaizen o de mejora continua donde primero se hagan los cambios en sólo una parte del proceso y

luego esto se repita en las demás líneas. La implementación en una sola línea sirve como control para luego replicar el marco de trabajo en las otras líneas.

Un proceso de mejora continua permite que la empresa aprenda de forma progresiva cómo adoptar el software y verifique que efectivamente sus acciones automáticas sean acertadas. El hecho de que primero se haga en una sola línea de producción y luego el marco de trabajo se replique a las demás permite que la empresa disminuya el riesgo y evite sobre costos por un eventual mal funcionamiento del sistema. Por esta razón el primer paso del marco de trabajo es definir una línea como prueba para implementar el software de automatización. Para este caso se propone comenzar con la línea de producción de sólidos ya que es la menos compleja y es con la que la empresa lleva operando más tiempo. A continuación, se puede ver el diagrama de flujo que detalla el proceso de toda la línea de producción de sólidos. En este diagrama de flujo se excluyen los procesos de control de calidad ya que estos hacen parte de otros procesos. El flujograma se divide en las tres áreas que interactúan en el proceso; almacén de materia prima, área de producción y área de empaquetado.

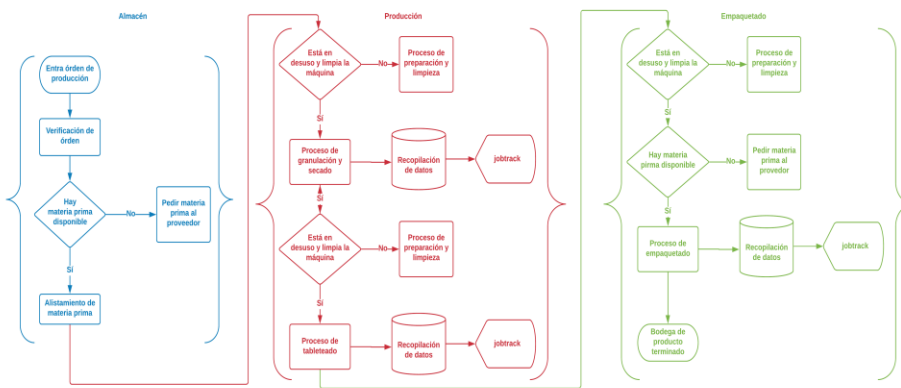


Figura 2 – Flujograma de proceso de la línea de producción de sólidos de la empresa del caso de estudio.

3.4.3 Marco de trabajo para aplicar sistemas de información prescriptiva en la línea de producción descrita en el flujograma

Con base en los pasos para definir una metodología propuestos por los autores (Smith & Apple, 2019) y descritos en el punto 3.4.1 se plantea lo que la empresa del caso de estudio debe hacer para implementar sistemas de información aplicados a la línea de producción de sólidos. Estos pasos para hacer una metodología son la base para el marco de trabajo que la empresa del caso de estudio debe seguir para implementar un sistema de gestión de datos que permita realizar analítica prescriptiva en la línea de producción de sólidos. Los sistemas de información pueden ser aplicados en los procesos

donde se captura información. Estos procesos están señalados en el diagrama de flujo en el punto 3.4.2 mostrando una salida de información como un cilindro. En estos procesos se implementan sensores que se conectan con el software Jobtrack que actualmente utiliza la empresa. La información captada en esta parte mide variables en tiempo real relacionadas con el funcionamiento de la maquinaria y permite visualizar el cumplimiento del proceso total, el porcentaje de utilización de la capacidad productiva de los equipos y el consumo de materia prima.

Cada uno de estos puntos donde se implementan sensores que alimentan los sistemas de información son estratégicos para medir el rendimiento general del proceso y poder automatizar las órdenes de materia prima. Al mismo tiempo un sistema de información conectado al CRM y a las ventas realiza una predicción de la demanda. Cuando la información sobre el panorama del cumplimiento de fabricación se une con la predicción de la demanda, el sistema de manera automática es capaz de hacer la planeación de producción para el siguiente periodo decidiendo qué y cuánto se debe producir, cuándo es el mejor momento para hacerlo y cuándo pedir materia prima para abastecer el proceso con base en la demanda y en la capacidad de la maquinaria. Además, podrá generar alertas cuando no se esté cumpliendo con la producción y cuando identifique que vaya a haber una posible falla en el proceso.

Este es el salto que la empresa debe tomar para alcanzar el nivel cuatro de madurez de los datos. En este nivel se aplica la inteligencia artificial y la unión de diversos sistemas de información para aplicar analítica prescriptiva que llevan al sistema a ejecutar una acción de manera independiente. A continuación, se plantea el marco de trabajo que debe seguir la empresa para llegar a este nivel de madurez y poder automatizar los procesos mencionados.

1. Definir un horizonte: Como se mencionó anteriormente en el punto 3.4.2, la recomendación es hacer los cambios bajo el modelo Kaizen o de mejora continua donde primero se debe aplicar mejoras en un área, medir la eficiencia de la implementación, corregir y luego si funciona implementarlo en las demás. Por esta razón se recomienda que se enfoquen inicialmente sólo en la línea de producción de sólidos. Teniendo esto en cuenta se debe plantear un periodo de tiempo para implementar los sistemas de información y medir su correcto funcionamiento. En esta fase también se debe seleccionar las personas encargadas de ejecutar la mejora y de contextualizar al resto del equipo de lo que va a pasar y cómo se podrán beneficiar. Una vez el sistema de gestión de datos opere de manera eficiente en la línea de sólidos, se puede implementar en las demás líneas de producción hasta que toda la planeación de la producción se haga de manera automática.
2. Identificar aspectos claves: los aspectos identificados en este punto son las variables que se afectarán con el proyecto de automatización. En este punto se consideran variables tecnológicas, comerciales y de producción ya que la cartera de la empresa tendrá que hacer un desembolso.

Commented [JG1]: Te recomiendo hacer otro gráfico parecido a la figura 2 para que ilustres con otro color en dónde entra en acción el sistema de información.

Commented [JG2]: Te recomiendo a partir de tus conocimientos en Ing. Industrial, recomendar cuánto tiempo y por qué, ojalá con apoyo bibliográfico.

- a. Cuánto cuesta la integración de las diferentes fuentes de información necesarias para que el software que realice las funciones automáticas opere
 - b. Cuánto cuesta el software que se va a utilizar, la implementación de él y la capacitación de los empleados que lo van a utilizar.
 - c. Cuál es el costo de oportunidad. Cuánto se va a ahorrar la empresa con la implementación de sistemas de información predictiva considerando que se va a encargar de hacer las órdenes de producción y pedidos de materia prima. Esto no necesariamente significa que la empresa deba liquidar empleados. Los empleados que hoy hacen esa labor manual podrán disponer de su tiempo en otras actividades estratégicas de la empresa y haciendo control sobre las predicciones tomadas por el sistema para asegurar su correcto funcionamiento.
 - d. Cuánto más se podrá producir considerando que el sistema planeará la producción según la demanda de la manera más óptima asegurando la mayor utilización de la capacidad de la planta.
 - e. Cómo se deben intervenir las máquinas para que envíen la información necesaria. Los sensores que la empresa tiene hoy en día son óptimos para las mediciones de Jobtrack pero es posible que en un futuro estos deban ser reemplazados.
 - f. Cómo se va a centralizar y normalizar la información que proviene de los distintos sistemas de información que hoy existen para que el software que realice analítica prescriptiva la interprete.
3. Contextualizar el proceso: La implementación del sistema de información afectará el área de compras, ventas, TI y producción. Por esto es por lo que la estrategia no puede ser ajena a ningún área y se le debe explicar a los involucrados cómo se va a afectar su área. La estrategia de cada una de las áreas debe estar alineada con la estrategia organizacional. De ser aprobado el proyecto por la gerencia, los líderes de cada área se deben reunir para debatir el método de implementación y ser contextualizados de las implicaciones que el proceso traerá. Los aspectos claves mencionados en el punto anterior deben ser analizados y cuestionados en conjunto y se debe asegurar que cada líder de área los comprenda.
 4. Definir criterios: El principal criterio para medir la efectividad del proceso debe ser el rendimiento logrado se medirá con la efectividad que tenga el sistema para hacer predicciones de la demanda. Se debe medir la variación entre las predicciones del sistema y las proyecciones que hace el equipo comercial. Además, se debe cuantificar el inventario de producto terminado, materia prima, la rotación de estos y qué tan bien está haciendo la programación de producción al medir la utilización del equipo disponible. Con esta información será posible además cuantificar si se logra producir un mayor volumen de medicamentos considerando que el sistema planeará la producción según la demanda de la

manera más eficiente. Es importante medir los tiempos de fabricación desde que la orden de producción se emite hasta que el producto final es empacado y despachado a bodega. A este tiempo se le conoce como lead time y es una métrica clave que se debe disminuir con la optimización de la planeación de producción. Finalmente es importante medir el porcentaje de utilización de la capacidad de la línea. El sistema debe planear la producción de tal manera que no haya tiempos muertos y la utilización de la planta esté al máximo.

5. Información y recursos: La empresa hoy ha invertido importantes sumas de dinero en diferentes softwares mencionados en el punto 3.2.2. Estos sistemas son de gran ayuda para los procesos hoy y sería contra producente acabar con ellos para implementar uno nuevo. La empresa debe plantear cómo unirlos para que la información recolectada sea transversal y pueda ser utilizada como información predictiva. Esto tiene una implicación monetaria ya que se debe buscar un tercero experto en temas de machine learning y datos para que integre y normalice la información. Es posible que entre los diversos sistemas de información en la compañía las mismas variables tengan distintos nombres dependiendo de la fuente. El software que se encarga de la analítica prescriptiva comprenderá estos datos como dos variables distintas. Es necesario realizar un proceso de normalización de los datos antes de unificar las fuentes. El proceso de normalización de los datos trata de que todas las variables tengan el mismo nombre y los datos se modifiquen para que estén registrados de la misma manera en todos los sistemas (Gómez, 2019). Un ejemplo es una variable de texto de los nombres de los clientes donde en un sistema de información se escribe con tilde y en otro sin tilde. La normalización de los datos hace un match entre los datos y los escribe de la misma manera. Este se hace mediante un proceso llamado data quality (Gómez, 2019). Una vez los datos de las distintas fuentes se normalicen, se puede proceder a unificarlos en una sola base de datos que contenga la información de todos los sistemas de información.

Para este proceso existe una solución en el mundo de la computación llamado master data management (MDM) por sus siglas en inglés (Gómez, 2019). Un MDM es un método que permite a una organización relacionar todos sus datos críticos en un solo archivo maestro. De esta manera se centralizan los datos más importantes ya normalizados en una misma base de datos. Sin este proceso no se pueden realizar predicciones que consideren variables de todas las áreas de la organización por que la data no es coherente (Gómez, 2019). Recordando la Ilustración 3, sin este proceso sólo es posible visualizar qué pasa en cada área por medio de tableros de visualización de datos, pero no es posible combinarlos para hacer predicciones. El software que se encargue de hacer las predicciones lo hará con base en modelos estadísticos integrados y la data histórica que se logre recolectar normalizada en el MDM. Con ella comprenderá patrones y se guiará para tomar acción. Entendiendo que este no es el saber de la empresa del caso de estudio es importante buscar a un tercero que lo haga.

6. Ordenar el proceso de manera lógica: Este paso es el último paso del marco de trabajo que hace parte de la planeación del ciclo PHVA. En este paso se ordena de manera cronológica los pasos a seguir y los pasos que son prerrequisito para

otros. Este paso no se puede hacer sin antes haber puesto en común los cinco pasos anteriores entre las distintas áreas involucradas en el proyecto. En la siguiente tabla se especifican los pasos a seguir para cada una de las etapas. Estos pasos a seguir se deben hacer únicamente después de que la mejora se haya socializado con las distintas áreas de la organización involucradas y con la gerencia apoyando el proyecto.

Id	Acción	Prerrequisito
A	Cotizar el sistema a implementar que con base en datos históricos y modelos estadísticos realice acciones prescriptivas y seleccionar las personas encargadas de ejecutar el proyecto.	
B	Buscar el tercero que se encargue integrar los datos en un MDM de donde el software de analítica prescriptiva va a extraer la información.	
C	Identificar cómo se deben intervenir las máquinas que se tienen hoy para hacer las mediciones.	
D	De ser necesario, intervenir la maquinaria con los dispositivos necesarios para hacer las mediciones.	C
E	Normalizar los datos por medio de un proceso de data quality. Este proceso lo puede hacer el área de TI de la empresa o la misma empresa que se seleccione para hacer el MDM.	B
F	Integrar la información obtenida de las distintas fuentes de las áreas involucradas. Información de CRM, de Jobtrack, WMS y SAP.	E
G	Aplicar el software que realice la analítica prescriptiva integrándolo con la base de datos que integra los distintos sistemas de información de la empresa	F
H	Medir la eficiencia del software instalado con los criterios definidos en el paso cuatro del marco de trabajo.	G

Tabla 1 – Tabla de actividades a realizar por orden cronológico.

Con esto termina el marco de trabajo que le empresa debe seguir para implementar la solución propuesta. Los seis pasos del marco de trabajo mencionados anteriormente hacen parte de la etapa de planeación del ciclo PHVA. El siguiente paso es implementar

el software cotizado. En este paso es clave seguir el proceso lógico que se menciona en el paso seis ya que los pasos identificados en este punto están en orden y es requisito haber terminado uno antes de continuar con el próximo. Una vez termine el punto seis del marco de trabajo y la herramienta haya sido implementada se deben verificar los criterios descritos en el punto cuatro para asegurar que el sistema está operando de manera correcta. En caso de que el software requiera de alguna intervención se debe hacer y no se puede continuar con la implementación del sistema en otras líneas de producción. Esto sólo se podrá hacer una vez el sistema en la línea de producción de sólidos opere de manera perfecta. El proceso de implementar la solución en una línea a la vez hace parte del modelo de mejora continua que garantiza disminuir el riesgo y las posibilidades de falla.

4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

- La empresa del caso de estudio tiene altas posibilidades de convertirse en una Smart Factory y automatizar procesos internos al interior de las líneas de producción por medio de analítica prescriptiva. Los procesos que puede automatizar son los de órdenes de materia prima y planeación de la producción. De no implementar dichas mejoras, corre el riesgo de sufrir de obsolescencia tecnológica.
- La empresa hoy posee diversos sistemas de información en distintas áreas de la organización y sería contraproducente implementar un nuevo sistema que integre la información de todas estas áreas. La empresa debe optar por normalizar la información proveniente de las distintas áreas aplicando data quality y unificar la información en un MDM.
- Para disminuir el riesgo de que la implementación de la mejora falle, la empresa trabajar bajo el modelo Kaizen para convertirse en una Smart Factory. Primero debe realizar la mejora a la línea de producción de sólidos y, una vez esta funcione a la perfección podrá replicar el proceso en las otras áreas de producción.
- La implementación de los sistemas involucrados en la mejora debe hacerse siguiendo el ciclo PHVA donde constantemente se verifique la eficiencia y se ajusten las fallas del software implementado hasta que este funcione de manera perfecta. Estos sistemas son el data quality, MDM y el software que realice analítica prescriptiva con base en esos datos.
- La gerencia debe ser la primera área que decida implementar la automatización. Una vez la gerencia acepte el marco de trabajo, se debe contextualizar con las demás áreas involucradas principalmente el área comercial, de producción y de TI.
- El marco de trabajo propuesto en el punto 3.4.3 aplica para la empresa que se estudió en este trabajo. Para replicarlo en otra empresa se debe realizar un análisis detallado del estado actual de la empresa en materia de madurez de la cultura de datos, de los sistemas de información que poseen, de la maquinaria disponible y del capital humano, así esta empresa sea del sector fármaco.

REFERENCIAS

- Agaian, S. (2012). *Near Field Communication (NFC)*. Paloalto: Stanford University.
- AILA. (18 de Mayo de 2016). *Asociación de Industriales Latinoamericanos*. Obtenido de <http://aila.la/2016/05/el-sector-industrial-es-clave-para-el-desarrollo-economico-y-social/>
- Atzoria, L., Lera, A., & Morabito, G. (2017). *Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm*. *Ad Hoc Networks*, 122-140.
- Barranco, R. (2012). *¿Qué es Big Data?* IBM Developer Works.
- Botha, T., & Theron, P. (2016). *How are companies around the world really embracing digital?* World Economic Forum.
- Bourgeois, D. (2014). *Information Systems for Business and Beyond*. Pressbooks.
- Burke, R., Mussomeli, A., Laaper, S., Hertigan, M., & Sniderman, B. (2017). *The Smart Factory. Responsive, adaptive, connected manufacturing*. Deloitte University Press.
- Cappemini Consulting. (2017). *Smart Factories: How can manufacturers realize the potential of digital industrial revolution*. Digital Transformation Institute.
- Chittaie, R. (2012). *Customer Relationship Management and Business Strategies*. Ardabil: International Journal of Organizational Leadership.
- Clavijo, S., Vera, A., & Fandiño, A. (2012). *La Desindustrialización en Colombia. Análisis cuantitativo de sus determinantes*. Bogotá: Asociación Nacional de Instituciones Financieras.
- Duque, S. (2019). *Negocio - Organización leal al cliente*. Big Data day Customer Analytics. Medellín.
- Elliott, T. (2018). *Predictive Is the Next Step in Analytics Maturity? It's More Complicated than That!* SAP-Blog.
- Fernández, P. G. (2015). *Implantación de un Sistema ERP en una PyME*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya.
- Fosso Wamba, S., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2015). *How 'big data' can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study*. *International Journal of Production Economics*, 234-246.
- Franklin, E. B. (2009). *Procedimientos y Procesos*. En E. B. Franklin, Organización de Empresas (págs. 298-301). México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.
- Gartner Inc. (7 de Agosto de 2019). *Gartner IT Glossary*. Obtenido de Gartner: <https://www.gartner.com/it-glossary/enterprise-resource-planning-erp/>

- Gómez, J. M. (27 de Octubre de 2019). Ingeniero Informático. (A. H. Peñaloza, Entrevistador)
- Giraldo, S. (2018). *Clase Manufactura Esbelta*. Presentación, Universidad EIA, Envigado, Antioquia.
- Greeff, G., & Ranjan, G. (2004). Production and data collection. En G. Greeff, & G. Ranjan, *Practical E-Manufacturing and Supply Chain Management* (págs. 270-307). Oxford: Newnes.
- Hasan, Z., & Hossain, M. S. (2018). *Improvement of Effectiveness by Applying PDCA Cycle or Kaizen: An. Journal of Scientific Research*.
- Hofmann, E., & Rüschi, M. (2017). *Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics*. *Computers in Industry*, 23-34.
- Iafrancesco, G. (2003). *La investigación es educación y pedagogía*. Bogotá: Magisterio.
- Iglesias-Urki, M., Orive, A., & Urbieto, A. (2017). *Analysis of CoAP Implementations for Industrial Internet of Things: A Survey*. *Procedia Computer Science*, 188-195.
- Katz, R. (2017). *El observatorio de la economía digital en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC).
- Kloss, K. (Dirección). (2019). *Coding Explained* [Documental].
- Kusiak, A. (2017). *Smart manufacturing*. *International Journal of Production Research*.
- López, D. (2016). *Análisis de Casos de Estudio sobre Industria 4.0 y clasificación según sectores de actividad y departamentos empresariales*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Luna, D. (1 de Febrero de 2018). jefe del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (L. F. R., Entrevistador)
- Márquez, E. C. (2017). *La Cuarta Revolución Industrial*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- McKinsey Analytics. (2018). *An executive's guide to AI*. McKinsey Analytics.
- Molina, J. (7 de Febrero de 2013). *Coltejer está forzado a hacer cambios por pérdidas*. La República.
- Morgan, J. (2014). *A Simple Explanation Of 'The Internet Of Things'*. Forbes.
- Nee, A. Y. (2006). *Warehouse Management System and Business Performance: Case Study of a Regional Distribution Centre*. Kulim: Hoya Electronics Malaysia.
- ProcessPro ERP. (7 de Agosto de 2019). *What is ERP*. Obtenido de ERP Software for Process Manufacturers: <https://www.processproerp.com/what-is-erp>

Reza Khoei, M., Kashefi, M., Ghadimi, P., Hossein Azadnia, A., & Lalmazlounian, M. (2011). *Order Processing in Supply Chain Management with Developing an Information System Model: An Automotive Manufacturing Case Study*. Johor: Universiti Teknologi Malaysia.

Sáenz, C. C. (2016). *Trabajo fin de Grado Industria 4.0*. Universidad de la Rioja.

Sammur-Bonnici, T., & Galea, D. (2015). *SWOT Analysis*. En T. Sammut-Bonnici, & D. Galea, Wiley Encyclopedia of Management. John Wiley & Sons, Ltd.

Sampieri, R. H. (2014). *¿Qué características posee el enfoque cualitativo de investigación?* En R. H. Sampieri, Metodología de la investigación sexta edición (pág. 41). México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

SAP. (8 de Agosto de 2019). *About SAP SE*. Obtenido de SAP web site: <https://www.sap.com/corporate/en.html>

Smith, P., & Apple, D. (2019). *Methodology for Creating Methodologies*. Pacific Crest Faculty Development Series.

Sundblad, W. (2019). *The Four Levels of a Smart Factory Evolution*. Forbes Magazine.

Vazan, P., Janikova, D., Tanuska, P., Kebisek, M., & Cervenanska, Z. (2017). *Using data mining methods for manufacturing process control*. Bratislava: Institute of applied informatics, Automation and Mechatronics Slovak University of technology in Bratislava.

World Economic Forum. (2017). *Global Competitiveness Ranking 2017-2018*.