

Ingeniería conceptual de la arquitectura de la cadena de suministro Conceptual engineering of supply chain architecture

Antonio J. Sucre-Salas^a, César Hernández-Brito^b

Abstract:

Information and communications technologies (ICTs) have enabled the development of new processes and work methods that demand effective synchronization and control mechanisms. These systems are essential for ensuring products are delivered with high quality and in less time. Supply chains are increasingly complex and demanding, which necessitates advanced systems to manage them effectively. Suppliers, for instance, must ensure on-time delivery to the agreed-upon location. The flow of raw materials must be adequate in both quantity and quality to guarantee continuous production. Additionally, warehouses require optimal organization for efficient transportation and distribution, while distributors must have the products that customers—be they wholesalers or end consumers—demand. Facilitating these dynamic processes requires robust systems. In this context, various branches of engineering provide critical tools. Through the convergence of ICT, systems engineering, software engineering, logistics engineering, and supply chain engineering, a holistic systems approach is used to meet market demands. This approach considers all actors involved, from suppliers and production centers to distributors, wholesalers, retailers, and transporters, all of whom contribute to ensuring that goods and services reach consumers in a timely manner. While this may seem simple, managing such complexity requires significant technological support. Modern systems leverage a wide range of technologies, including Enterprise Resource Planning (ERP), Customer Relationship Management (CRM), Model-Based Systems Engineering (MBSE), Business Intelligence, Artificial Intelligence, robotics, intelligent algorithms, fuzzy logic, and multidimensional analysis. The evolution of advanced methodologies and techniques has allowed us to develop more sophisticated systems that make intensive use of these technologies. This research provides an educational and practical explanation of engineering's contributions to the development of these intelligent systems.

Keywords:

Engineering, artificial intelligence, robotics, systems, information and communications technologies.

Resumen:

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) han permitido desarrollar nuevas formas de trabajo y de ejecución de procesos, que necesitan sincronización, así como mecanismos de control para garantizar productos en menor tiempo y con altos niveles de calidad. Las cadenas de suministro son cada vez más demandantes y su complejidad aumenta a la par, por ello se necesitan sistemas que faciliten su manejo. Los proveedores desean entregar las órdenes de compra a tiempo, en el lugar acordado. Los flujos de materias primas deben ser los adecuados en cantidad y calidad para garantizar la continuidad de los procesos de producción. Los almacenes deben contar con la mejor organización posible para atender eficientemente los procesos de transporte, también la distribución, además, los distribuidores deben disponer de los productos que desean adquirir los clientes sean estos mayoristas o consumidores finales. Para que eso suceda, deben existir sistemas que faciliten esa dinámica de los procesos. En ese sentido, la ingeniería provee diferentes herramientas que; a través de las TIC's, ingeniería de sistemas, ingeniería de software, ingeniería logística y de cadena de suministro; utilizando diferentes sistemas holísticos, buscan dar respuesta a los mercados, considerando a todos los actores que participan en los procesos. Es así como proveedores, empresas, centros de producción, centros de distribución, centros de almacenamiento, mayoristas, minoristas y transportistas ayudan para que los bienes y servicios estén oportunamente en los mercados, atendiendo las necesidades de los consumidores. Aun cuando parece sencillo, se necesita de mucha tecnología para controlar tanta complejidad. Con sistemas de planificación de recursos empresariales, gestión de las relaciones con el cliente, Ingeniería de sistemas basada en modelos, Inteligencia de negocios, Inteligencia artificial, robótica, algoritmos inteligentes, lógica difusa, análisis multidimensional, metodologías, métodos y técnicas avanzadas, se ha ido evolucionando para lograr mejores sistemas que hacen uso intensivo de las tecnologías mencionadas. En la presente investigación, se explica de forma didáctica y práctica los aportes de la ingeniería en el desarrollo de los sistemas inteligentes.

Palabras Clave:

Ingeniería, inteligencia artificial, robótica, sistemas, tecnologías de la información y las comunicaciones.

^a Autor de Correspondencia, Universidad del Caribe | Ciencias Básicas e Ingeniería | Cancún-Quintana Roo | México, <https://orcid.org/0009-0009-4721-2573>, Email: asucre@ucaribe.edu.mx

^b Universidad del Caribe | Ciencias Básicas e Ingeniería | Cancún-Quintana Roo | México, <https://orcid.org/0009-0002-3727-2432>, Email: chernandez@ucaribe.edu.mx

Introducción

Logística

El Council of Supply Chain Management Professionals (2025) define la logística como "... la parte del proceso de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el eficiente y eficaz flujo y almacenaje de bienes, servicios e información relacionada, desde el origen hasta el consumidor para poder cumplir con los requerimientos de los clientes".

Cadena de Suministro (SCM: Supply Chain Management)

Es la secuencia de proveedores que contribuyen a la creación y entrega de una mercancía o un servicio a un cliente final. Ayers (2006 p.5) cita la definición de cadena de suministro propuesta por la Sociedad Americana de producción y control de Inventarios (APICS: American Production and Inventory Control Society), la cual define de la siguiente manera: "Red global encargada del envío de productos y servicios desde la materia prima hasta el producto terminado mediante un flujo de ingeniería de información, distribución física y dinero". A partir de estos dos conceptos, se deriva la arquitectura de la Cadena de Suministro que se desarrolla en esta investigación, ilustrada en la Figura 1.

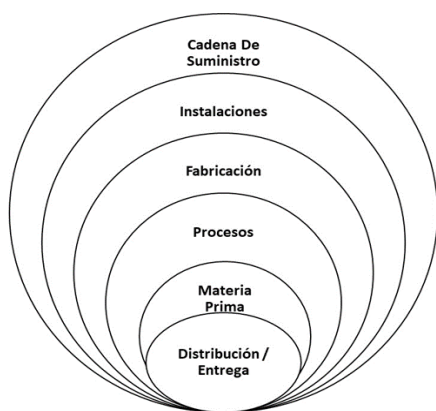


Figura 1: Cadena de Suministro

Fuente: Elaboración propia

La complejidad creciente de los sistemas requiere la implementación de nuevos métodos de desarrollo para mantener costes, tiempo y calidad bajo control. Los enfoques tradicionales, centrados en documentos, así como basados en pruebas ya no son compatibles con la actual ingeniería de sistemas, multidisciplinaria y distribuida. La ingeniería de sistemas basada en modelos (MBSE: Model-Based Systems Engineering) trata esta complejidad con una metodología de ingeniería centrada en el modelo, con enfoque de carga central.

Para poder aplicar MBSE en logística y cadena de suministro, se parte de los fundamentos de la ingeniería de sistemas, de logística y de la SCM, que son bases esenciales para la conceptualización de la arquitectura de la SCM propuesta en este documento, incluido el diseño del modelo teórico genérico, con énfasis en los componentes de la SCM, apuntalado con el uso de las tecnologías de la información y comunicación.

Fundamentos de la logística:

La logística de una empresa deberá cubrir tanto la gestión como la planificación de las actividades.

Cuando se habla de logística, se refiere al conjunto de medios y de métodos que son necesarios a la hora de llevar a cabo la organización de una empresa o de un servicio.

- Es la gestión que sincroniza acciones de suministro como compras, producción, ventas y distribución con las demandas.
- Se trata de proveer un nivel satisfactorio en el servicio de distribución a los clientes, a través de una efectiva organización, planificación, control de las actividades de traslado y almacenamiento que facilitan un flujo de producción.

Fundamentos de la cadena de suministro:

1. Toda empresa debe tener una estrategia corporativa bien definida y clara, congruente con la estrategia de la cadena de suministro.
2. Toda empresa debe medir el desempeño de su cadena de suministro en los niveles organizacionales estratégico, táctico y operativo.
3. Es necesario que exista sincronización entre los equipos de ventas y operaciones.
4. Debe eliminar desperdicios en la cadena de suministro (transporte – inventario innecesario – movimientos – espera – sobreproducción – procesos inadecuados – defectos, elementos todos ellos del acrónimo en inglés TIMWOOD).
5. Tener bien definidos los perfiles de puestos del personal que colabora en la cadena de suministro.
6. Hacer Outsourcing de los procesos que no forman parte del núcleo del negocio.
7. Manejo e incorporación de las tecnologías de la información (TI).

Objetivo general

Definir la Arquitectura del Diseño Conceptual de la Gestión de la Cadena de Suministro integrando tanto las actividades primarias como las actividades secundarias

Objetivos específicos

1. Aplicar los fundamentos de logística y cadena de suministro en la Arquitectura del Diseño Conceptual de la Gestión de la Cadena de Suministro

2. Aplicar los Modelos del pentágono de coordinación con escalera escalar -CPM/SSM.
3. Modelar las actividades primarias y secundarias de los procesos de la cadena de suministro.

Metodologías y métodos

El desarrollo de la arquitectura y los diferentes modelos se realizaron usando la propuesta metodológica del Modelo del Pentágono de Coordinación con Escalera Escalar-CPM/SSM; que flexibiliza y garantiza la integridad y completitud de los sistemas. (Aporte del Dr. Sucre a la Ingeniería de Software e Ingeniería de Sistemas). Sucre (2001 / 2001a).

Se hace uso de las funcionalidades de:

1. IDEFx: Integration Definition (Integración de definiciones),
2. UML: Unified Modeling Language (Lenguaje de modelado unificado)
3. SysML: System Modeling Language (Lenguaje de modelado de sistemas)
4. BPMN: Business Process Modeling and Notation (Modelo y notación de procesos de negocio)

Con lo que se demuestra que la combinación de estas herramientas facilita y garantiza un mejor análisis y diseño de los sistemas.

Con la finalidad de resaltar la necesidad de esta propuesta, se analizarán las metodologías de cascada y modelo incremental en espiral, luego se revisarán las correspondientes a orientación a objetos (OO).

En la tabla 1 se observa una comparativa entre estos modelos.

Característica	Modelo en Cascada	Modelo Incremental en Espiral
Enfoque Principal	Secuencial, lineal	Iterativo, gestión de riesgos
Adaptabilidad al Cambio	Baja, rígido	Alta, flexible
Gestión de Riesgos	Se pospone, riesgo tardío	Proactiva, en cada ciclo
Participación del Cliente	Mínima (al inicio)	Alta (a lo largo del proyecto)
Proyectos Ideales	Pequeños, requisitos estables	Grandes, complejos, alto riesgo

Tabla 1: Cascada vs Modelo incremental en espiral

Fuente: Elaboración propia

Es claro que el modelo en cascada es fuertemente secuencial, por lo que es muy rígido y poco aplicable en desarrollos modernos, sin embargo, en áreas como la construcción todavía tiene aplicación. El modelo incremental en espiral exhibe las ventajas de los modelos ágiles, que dan origen a metodologías modernas como SCRUM, sin embargo, estos dos modelos no exhiben una característica importante que

es la trazabilidad, un requisito fundamental en los modelos de calidad.

Para indagar sobre los modelos OO, se realiza una comparativa similar entre dos modelos, que se pueden consultar en la tabla 2.

Característica	Modelo OO-Spiral	Rational Unified Process (RUP)
Enfoque Principal	Desarrollo iterativo y gestión de riesgos	Desarrollo iterativo e incremental, centrado en UML y mejores prácticas
Fases	Cuatro fases por cada iteración: planificación, análisis de riesgos, desarrollo de prototipos y evaluación.	Cuatro fases (disciplinas): inicio, elaboración, construcción y transición.
Gestión de Riesgos	Es el núcleo del modelo. Se evalúan y mitigan los riesgos en cada espiral.	Proactiva y continua. Los riesgos se gestionan a lo largo de todas las fases.
Flexibilidad	Alta. Permite la adaptación a cambios y la incorporación de nuevas tecnologías en cada ciclo.	Moderada a alta. Es un marco de trabajo adaptable que puede ser personalizado para proyectos específicos.
Documentación	Menos formal que RUP, aunque se genera documentación de riesgos y prototipos en cada iteración.	Muy formal y rigurosa. Se basa en la creación de múltiples modelos y artefactos UML.
Orientación a Objetos	Se utiliza para el diseño e implementación del software en cada ciclo.	Es el pilar fundamental. RUP fue diseñado para proyectos orientados a objetos, usando UML como lenguaje de modelado.
Idoneidad	Proyectos grandes, complejos y de alto riesgo, donde la evolución del producto es clave.	Proyectos grandes, complejos y con equipos de desarrollo amplios.

Tabla 2: OO-Spiral vs RUP

Fuente: Elaboración propia con base en Boehm, B. W. (1988) y Booch, G., Jacobson, I., & Rumbaugh, J. (1999)

Se han tomado dos de los modelos OO más cercanos a las metodologías clásicas, incluso OO-Spiral hereda del modelo incremental en espiral, para enfatizar que no es la antigüedad lo que determina el enfoque de trazabilidad, se enlistarán algunos otros modelos OO.

Método de Tecnología de Objetos (OMT: Object Technology Method): Desarrollado por James Rumbaugh y su equipo (Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., & Lorensen, W. 1991), OMT fue uno de los modelos orientados a objetos más influyentes en su época. Se compone de tres modelos principales: un modelo de objetos, un modelo dinámico y un modelo funcional. Al igual que el método Booch, sus principios fueron integrados en UML.

Modelo de Diseño de Software Orientado a Objetos (OOSD: Object Oriented Software Design): Descrito por Somerville (2001), es un modelo más genérico que se enfoca en la creación de un diseño de software basado

en objetos. A menudo se combina con otros enfoques, como la programación ágil o los modelos en cascada, para crear un proceso de desarrollo completo. Entre otros modelos de los cuales han derivado en metodologías ágiles como SCRUM y Kanban, las cuales no soportan la trazabilidad del Modelo de Escalera Escalar – SSM que se muestra en la figura 5.

Metodología aplicada

Para el desarrollo de la arquitectura se utilizó la metodología mostrada en la figura 2.

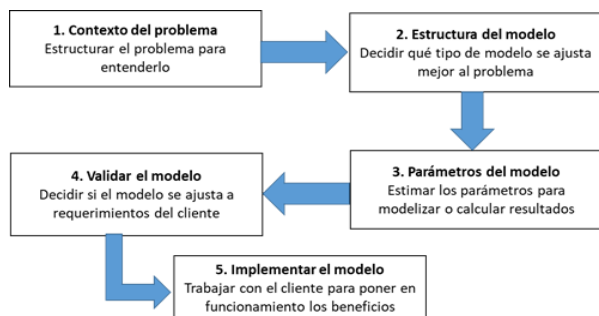


Figura 2: Etapas para modelar sistemas

Fuente: Sucre-Salas, J. A. (2001)

Modelos del pentágono de coordinación con escalera escalar -CPM/SSM.

El Modelo del Pentágono de coordinación con el Modelo de escalera escalar - CPM/SSM, propuesto por Sucre (2001 / 2001a); se basa en un análisis y desarrollo de tipo evolutivo e incremental en espiral. Mantiene los Principios orientado a objetos sobre la organización de proyectos y su descomposición en fases propuesto por Meyer (1999), que se basa parcialmente en Object Success, y que presenta las ideas fundamentales: clústers, ingeniería concurrente, generalización, ausencia de discontinuidades y reversibilidad; se aplican las modificaciones propuestas por Sucre (2001 / 2001a).

Se usa el modelo de la espiral con Coordination Pentagon Model (CPM) o Modelo de Pentágono de Coordinación; y en la reversibilidad se usa Scalar Staircase Model (SSM) o Modelo de Escalera Escalar. Ambos modelos permiten utilizar Object Success y/o las facilidades de UML indistintamente - Sucre (2001 / 2001a). Se combina el Modelo del Pentágono de Coordinación con Escalera Escalar - CPM/SSM para el diseño de cada uno de los modelos de la arquitectura de la cadena de suministro (SCM).

Clústeres CPM

La estructura modular del método orientado a objetos es la clase. A efectos organizativos, lo normal es agrupar las clases por colecciones, denominadas clústeres, un ejemplo se muestra en la figura 3. Sucre (2001 / 2001a).

Un clúster es un grupo de clases relacionadas o, recursivamente, de clústeres relacionados. Un clúster puede ser básico, formado por clases, o un súper clúster, formado por otros clústeres. La forma de las representaciones de esta actividad sugiere la naturaleza carente de discontinuidades del desarrollo. Sucre (2001 / 2001a).

Los pasos en el mini ciclo de vida de cada uno de los clústeres son:

Especificación: Se identifican las clases (abstracciones de datos) del clúster y sus características y restricciones principales.

Diseño: Se define la arquitectura de las clases y sus relaciones.

Implementación: Se finalizan las clases, añadiendo todos los detalles.

Verificación y Validación: Se comprueba que las clases del clúster funcionen satisfactoriamente (mediante un examen estático, comprobaciones y otras técnicas).

Generalización: Se prepara la reutilización.



Figura 3: Ciclo de Vida Individual de un Clúster CPM

Fuente: Sucre-Salas, J. A. (2001)

Sigue existiendo la necesidad de dos fases que abarquen a todo el sistema y que sean independientes de los clústeres.

Estudio de viabilidad: Como en cualquier otro enfoque, será preciso realizar un estudio de viabilidad, que dará lugar a una decisión positiva o negativa para continuar o cancelar el estudio del sistema.

División en clústeres: De resultar positivo el Estudio de Viabilidad, el proyecto necesita descomponerse en clústeres.

De su agrupación surge el ciclo de vida que se ilustra en la Figura 4.



Figura 4: Ciclo de Vida Individual de un Clúster CPM con Recursividad. Fuente: Sucre-Salas, J. A. (2001)

Cada CPM se desarrolla con una espiral completa en ingeniería directa o inversa, lo que garantiza la integridad de todos los requerimientos del sistema.

Reversibilidad SSM

Sugiere la constante posibilidad de revisiones y correcciones retroactivas. SSM escala dinámicamente las modificaciones oportunas y tempranas que se hagan. A través de CPM se coordinan esas modificaciones. Cada fase de SSM es bi-direccional. Sucre (2001 / 2001a), ilustrada en las Figuras 5 y 6.



Figura 5: Modelo de Escalera Escalar – SSM Fuente: Sucre-Salas, J. A. (2001)

Componentes de la cadena de suministro – SCM

Ayers (2006 p.5) cita la definición de cadena de suministro propuesta por APICS, la cual define de la siguiente manera: “Red global encargada del envío de productos y servicios desde la materia prima hasta el producto terminado mediante un flujo de ingeniería de información, distribución física y dinero”.

Chopra & Meindl (2008) definen a la cadena de suministro de la siguiente forma:

Todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (o menudeo) e incluso a los mismos clientes.

Dentro de cada organización, como la del fabricante, abarca todas las funciones que participan en la recepción y el cumplimiento de una petición del cliente. Estas funciones incluyen, pero no están limitadas al desarrollo de nuevos productos, la mercadotecnia, las operaciones, la distribución, las finanzas y el servicio al cliente.

La cadena de suministro es el conjunto de actores involucrados en la planificación y gestión de las operaciones relacionadas con la entrega final de un bien o servicio, cumpliendo con los objetivos estratégicos de la organización y la aportación de valor a los patrocinadores (stakeholders).

La gestión de la cadena de suministro (SCM: Supply Chain Management) comprende la gestión de todos los flujos de materiales, información y dinero que fluyen dentro de todos los actores que participan en la entrega de un bien y/o servicio a un cliente final, añadiendo valor a las operaciones logísticas que en ella se realizan.

En esencia, una cadena de suministro integra la gestión de la oferta y demanda dentro y fuera de cualquier empresa.

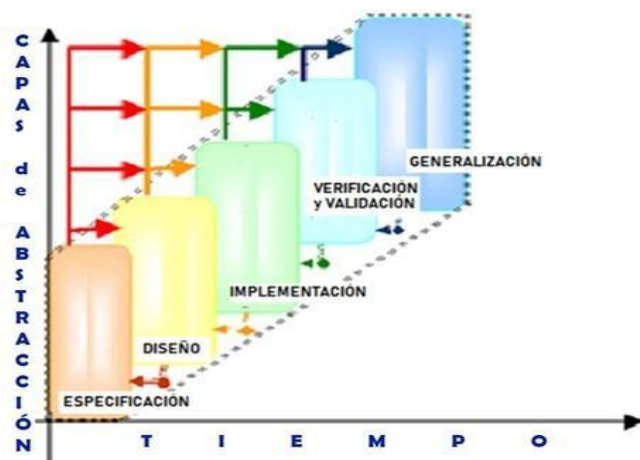


Figura 6: Capas de Abstracción Modelo de Escalera Escalar – SSM. Fuente: Sucre-Salas, J. A. (2001)

Las funciones de un proceso de producción, que contiene los elementos que integran una cadena de suministros. Para mayor claridad se enlistan enseguida:

1. Materia Prima
2. Producción
3. Almacenes e Inventarios
4. Transporte & Logística
5. Distribución (Mayoristas & Minoristas)
6. Ventas / contacto con el cliente
7. Entrega / Servicio postventa

Ingeniería conceptual de la arquitectura de la SCM

Para mantener un nivel de abstracción robusto, que cubra todos los aspectos de la SCM, la arquitectura para la gestión de procesos se debe diseñar bajo dos vistas:

1. Vista estructural y dinámica con UML.

- a) La *vista estructural* detalla cómo está organizado el sistema internamente, los elementos que lo componen, la interrelación entre ellos y sus respectivas dependencias.
- b) La *vista dinámica* describe el comportamiento y la colaboración entre los objetos en tiempo de ejecución del sistema.

2. Vista de flujo de trabajo con BPMN que proporciona una visión holística de cómo se realizan y se organizan las actividades dentro de la cadena de suministro; cuál es la secuencia de éstas y cómo fluyen los materiales, la información y las transacciones monetarias de inicio a fin.

Si una cadena de suministro consta de diferentes eslabones que interactúan entre sí para satisfacer una solicitud de un cliente, cada eslabón es un módulo (desde el enfoque de sistemas).

Los módulos son estructuras o bloques de un algo que facilita su manejo y entendimiento para posteriormente ser integrados al sistema de alguna manera. Ulrich y Eppinger (2000); Baldwin and Clark (2000) afirman que “las arquitecturas modulares son las más fáciles de descomponer, a veces con base a las funciones que realizan, a veces de acuerdo a cómo están diseñadas y construidas, a veces en cómo son usadas o percibidas por los usuarios”, citado por Crawle et al. (2004, p.10).

Durante el tiempo de la colocación de la solicitud del producto, hasta su entrega, intervienen diversos procesos primarios:

- Proceso de administración de proveedores.
- Proceso de almacenamiento.
- Proceso de producción.
- Proceso de transportación.
- Proceso de distribución.
- Proceso de venta y de atención al cliente.

Estos procesos requieren soporte de otros conjuntos de actividades para su funcionamiento. En cualquiera de los procesos mencionados anteriormente se necesita comprar suministros; se requiere de recurso humano para ejecutar las actividades; los procesos generan costos y gastos, por tanto, se necesitan administrar la contabilidad, también las finanzas; los procesos están en constante monitoreo para asegurar y controlar la calidad, y entregar los productos solicitados con las especificaciones hechas por el cliente; por último, se necesita soporte para gestionar las devoluciones o las mermas producidas por algún defecto o mal uso de los recursos.

Los procesos descritos se presentan en cualquier organización, sin importar el tamaño o el tipo de actividad que desempeñan. La arquitectura propuesta permite la adaptabilidad de los procesos de negocio de la cadena de suministro a cualquier tipo de empresa o unidad de negocio. El valor que añade este modelo de arquitectura propuesta es la integración de la parte operativa y administrativa a la cadena de suministro. La mayor parte de los modelos conocidos, se limitan a ejemplificar los procesos primarios, sin tomar en cuenta los procesos de soporte. En este modelo se detallan con más precisión los procesos de la cadena de suministro y todos los flujos de materiales, información y dinero.

La arquitectura propuesta describe los flujos de materiales, información y dinero a través de todos los procesos que se ejecutan dentro de la cadena de suministro. El modelo arquitectónico de la cadena de suministro comienza con el diseño del diagrama contextual, representado en la Figura 7. Este diagrama recupera de UML los denominados paquetes. Cada paquete del modelo es un eslabón de la cadena de suministro que a su vez puede tener su propia logística y cadena de suministro.

El paquete “Arquitectura del diseño conceptual de la gestión de cadena suministro” es el paquete gestor del sistema. Dentro de él se ejecutan distintos procesos que requieren soporte de uno o más paquetes para el funcionamiento del sistema. La parametrización de los paquetes está hecha de la siguiente manera: los paquetes con índices alfabéticos (A, B, C, D y E) son las actividades de apoyo, mientras que los paquetes con índices numéricos (1, 2,...,7) constituyen las actividades primarias, estos conceptos se muestran en la figura 7.

Las actividades primarias son necesarias para la creación de un producto, pasando por la transformación de la materia prima, la distribución del producto terminado al punto de venta, hasta el servicio postventa del mismo. Las actividades secundarias brindan soporte a las actividades primarias, a excepción de la infraestructura, cuyo soporte es para toda la cadena.

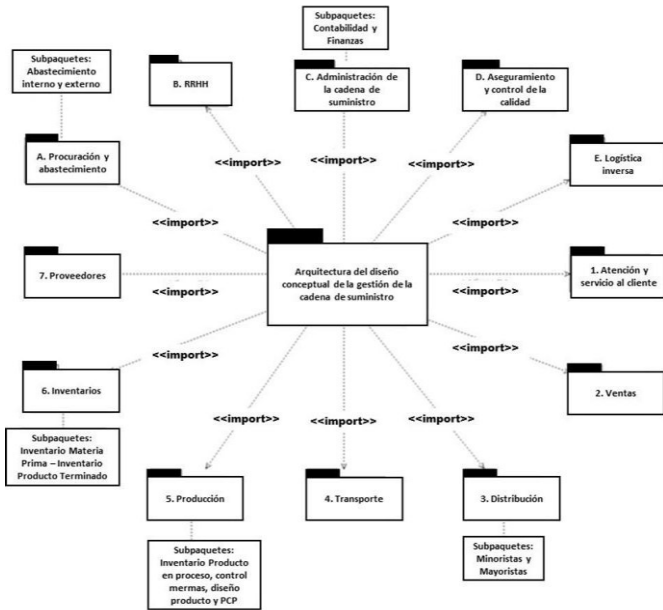


Figura 7: Diagrama de paquetes UML: Arquitectura de procesos de la cadena de suministro.
Fuente: Elaboración propia

Actividades primarias

Proveedores

Los proveedores son la base operacional y estratégica de cualquier empresa, sin importar el sector económico al cual están orientadas. Se requiere de un efectivo proceso de administración de los proveedores.

De acuerdo a Peña et al. (2018), este proceso (ilustrado en la figura 8) consta de los siguientes subprocesos:

1. Selección de proveedores,
2. Establecimiento de términos de precio y
3. Evaluación y relación con los proveedores.

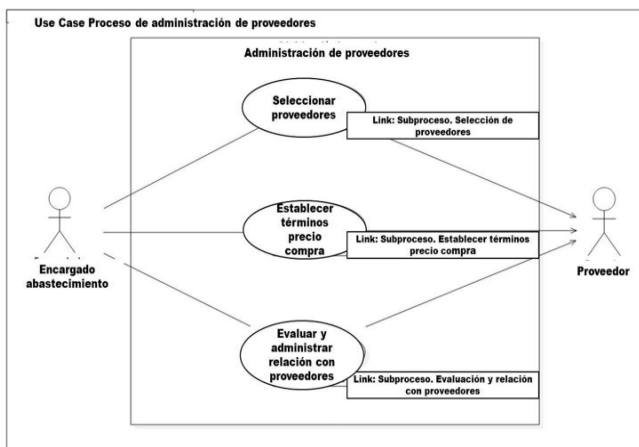


Figura 8: Diagrama de caso de uso de la administración de proveedores. Fuente: Elaboración propia

Seleccionar proveedores

La primera etapa (figura 9), en el proceso de "Administración de proveedores" consiste en la selección de éstos. Las decisiones de colocar determinada cantidad de operación sobre un proveedor, conlleva al encargo de abastecimiento a basarse en distintos criterios e indicadores de selección.

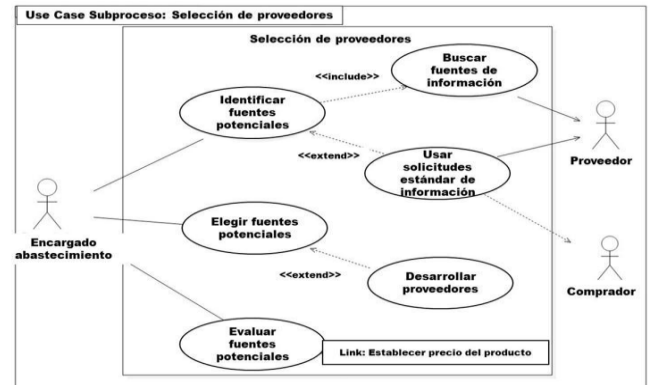


Figura 9: Diagrama de caso de uso del subproceso "Seleccionar proveedores". Fuente: Elaboración propia

Establecer términos de precio de compra

En esta fase (figura 10), se busca asegurar el precio más bajo que garantice un suministro continuo, con los requerimientos de calidad solicitados por el área de procuración y abastecimiento.

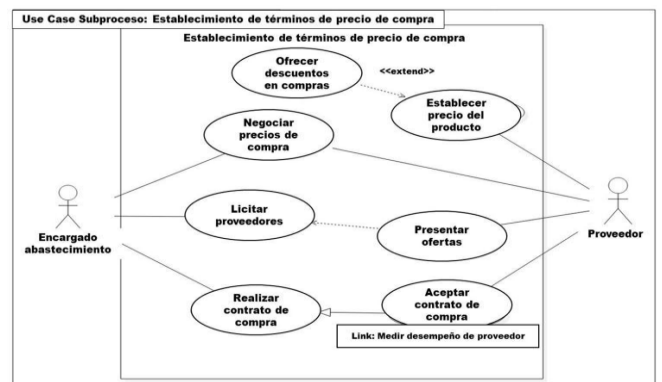


Figura 10: Diagrama de caso de uso del subproceso "Establecer términos de precio de compra". Fuente: Elaboración propia

Evaluar y administrar relación con proveedores

La manera de relacionarse con los proveedores afecta el desempeño de éstos y de la organización, como se puede observar en la figura 11.

Inventario

La gestión de inventario es parte integral del proceso de almacenamiento de materiales, el cual busca minimizar el

costo total de almacenar stock. Se entiende por inventario a la existencia de todos los bienes que son usados para entregar un producto o servicio y que forman parte de la organización.

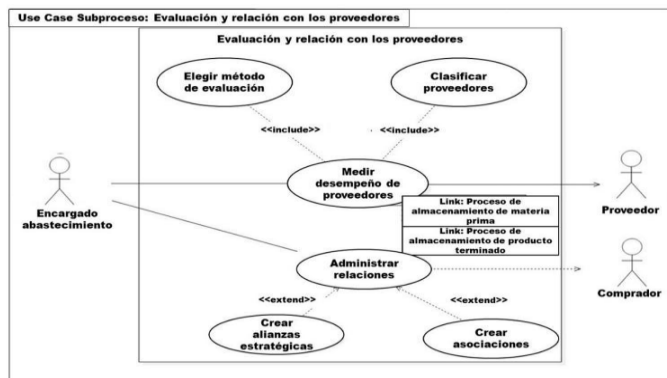


Figura 11: Diagrama de caso de uso del subproceso "Evaluar y administrar relación con proveedores".
Fuente: Elaboración propia

Los paquetes inventario de materia prima y de producto terminado están contenidos dentro del paquete almacenamiento (figura 12).

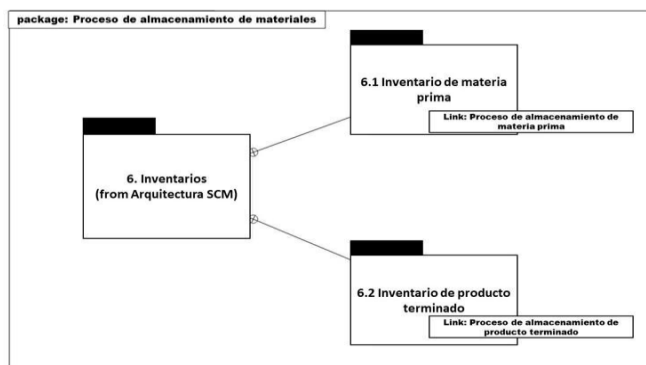


Figura 12: Diagrama de paquetes del proceso de gestión de almacenes e inventarios
Fuente: Elaboración propia

Inventario de materia prima

El objetivo principal del almacenamiento es la reducción de costos por mantenimiento de materiales almacenados. "El almacén no produce valor añadido al producto, sólo incrementa los costos" (Pau y Navascués, 2001, p.129). Por simplicidad se omiten los casos de uso correspondientes.

Producción

Usando el diagrama de paquete mostrado en la figura 13, se ilustra cómo la producción se encarga de la transformación de la materia prima en bienes y/o servicios. En este proceso intervienen la información y la tecnología, que interactúan con personas. Su objetivo es

la satisfacción de la demanda, como el anterior se omiten los casos de uso.

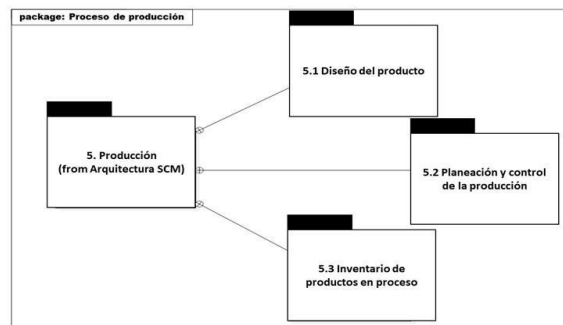


Figura 13: Diagrama de paquetes del proceso de producción
Fuente: Elaboración propia

Transporte

El transporte representa el movimiento de mercancías desde un punto de origen hasta un punto de destino. Regularmente este último es el cliente final. La decisión más importante respecto al transporte es la elección de los modos y medios de transporte a usar para mover mercancía a distintos puntos.

Baker et al. (2010) describen cinco modos de transporte: aéreo; marítimo; ferroviario; terrestre y multimodal (el uso de por lo menos dos modos de transportación distintos), habiendo establecido estas aclaraciones se representa este proceso en la figura 14.

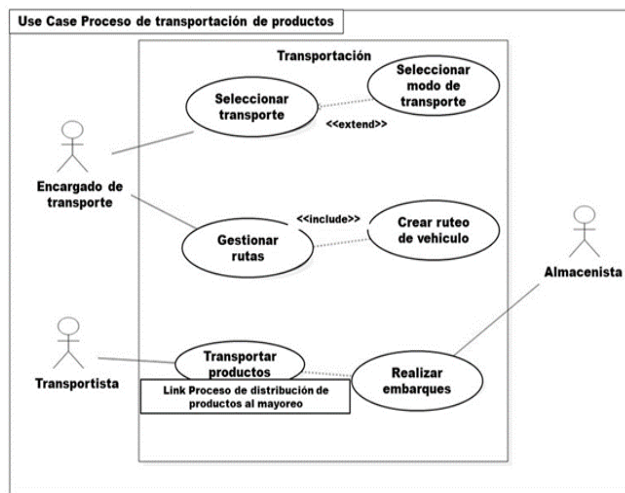


Figura 14: Diagrama de caso de uso del proceso de transportación de productos. Fuente: Elaboración propia

Distribución

La distribución constituye la forma en la que los productos o servicios entran al mercado para su posterior comercialización (figura 15). La decisión más importante que se debe tomar es si distribuir los bienes mediante un canal propio o recurrir a un proveedor de servicios

logísticos, por ejemplo, logística de terceros (3PL: Third Party Logistics).

Baker et al. (2010) describen dos canales de distribución. Un canal físico describe el método y los medios por el cual los productos son transferidos y distribuidos desde la planta de producción hasta los puntos de consumo; por su parte, un canal de transacción está enfocado a la transacción no física con los productos, es decir, las negociaciones y la compra y venta de los bienes, además existen distintas alternativas para distribuir un producto de manera física. Se presentan dos alternativas que son las más tradicionales al momento de comercializar bienes: a través de mayoristas o minoristas.

Atención y servicio al cliente

La atención al cliente se centra en la resolución de problemas, el manejo de quejas y el soporte técnico. El servicio al cliente, por su parte, es un conjunto de prácticas e interacciones a lo largo del ciclo de ventas, cuyo objetivo es asegurar que se cumplan las necesidades y expectativas del consumidor.

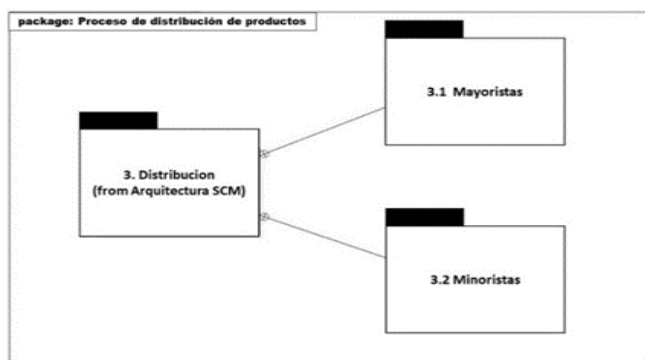


Figura 15: Diagrama de paquetes del proceso de distribución de productos. Fuente: Elaboración propia

La **atención al cliente** es un conjunto de prácticas destinadas a solucionar problemas de los consumidores. Generalmente representada por el equipo de soporte y sus agentes, la atención al cliente tiene como objetivo dar respuesta a consultas, gestionar quejas y promover el buen uso de los productos vendidos por una empresa (figura 16).

El **servicio al cliente** es el conjunto de acciones y estrategias implementadas para satisfacer las necesidades del cliente y brindarle una excelente experiencia. Es el valor agregado del producto, la razón por la cual se diferencia de la competencia.

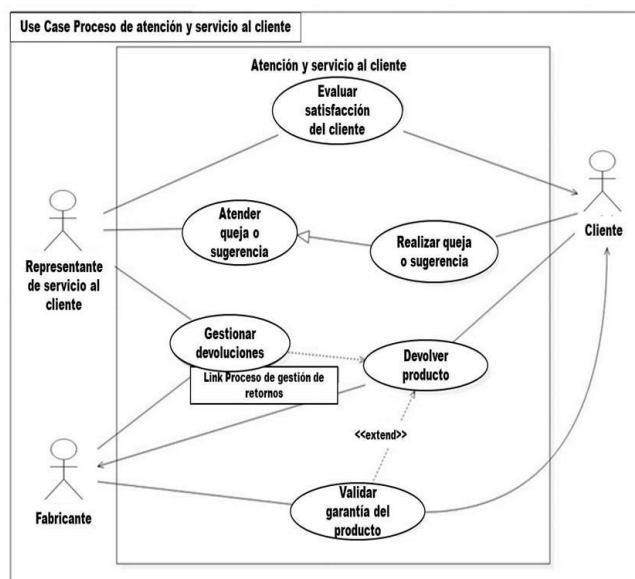


Figura 16: Diagrama de casos de uso del proceso de atención y servicio al cliente. Fuente: Elaboración propia

Actividades de apoyo o secundarias

Procuración y abastecimiento

El proceso de procuración y abastecimiento consiste en la adquisición de materias primas y productos terminados para uso operacional de la organización. Peña et al. (2018), definen dos tipos de abastecimiento: el abastecimiento interno, cuyo propósito es el aprovisionamiento de materias primas para su posterior transformación (en el caso de fabricar internamente) y el abastecimiento externo, el cual se encarga de la compra de productos terminados para después comercializarlos como un producto propiedad de la empresa (fabricación subcontratada).

Recursos humanos

El proceso de administración de recursos humanos coordina y organiza a las personas, sin importar el nivel jerárquico que tengan dentro de una organización, con el fin de procurar que las cosas se hagan de la mejor manera para lograr los objetivos planteados por la empresa. La administración del capital humano, o recurso humano, es un proceso que busca la integración, organización, retención, desarrollo y evaluación de las personas que laboran dentro de una empresa (Chiavenato, 2011).

Administración de la Cadena de Suministro

La administración de la cadena de suministro consiste en el manejo de los flujos de efectivo, que se generan durante el despacho de una solicitud de un cliente. Se manejan todos los movimientos contables, cuentas por cobrar y cuentas por pagar; devoluciones, entre otros.

Aseguramiento y control de la calidad

El término de calidad se refiere a que los productos y servicios cumplan con los requerimientos de quienes los usan. "La calidad significa adecuación para uso" (Montgomery, 2004, p.4). El objetivo que persigue es reducir la variabilidad en los procesos y los productos.

Logística inversa

La logística inversa se encarga de la recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos peligrosos; así como de los procesos de retorno de excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventarios estacionales.

Paquete gestor: Arquitectura del diseño conceptual de la gestión de la cadena de suministro

El paquete gestor es el encargado de importar los elementos necesarios para brindar funcionalidad al sistema.

Resultados:

Para el diseño conceptual de la arquitectura de la SCM se comenzó entendiendo los fundamentos de Logística y de Cadena de Suministro. Este enfoque es esencial para abordar con éxito el modelamiento, análisis y diseño de los sistemas logísticos.

El valor que añade este modelo de arquitectura propuesta es la integración de la parte operativa y administrativa a la cadena de suministro.

El modelo consta de dos grandes componentes:

1. Actividades primarias conformadas por siete macro procesos operativos propios de la SCM.
2. Actividades secundarias conformadas por cinco macro procesos de gestión administrativa.

Adicionalmente hay un módulo gestor: "**Arquitectura del diseño conceptual de la gestión de cadena suministro**"; que se encarga de la coordinación, supervisión, ejecución y control del sistema. Dentro de él se ejecutan distintos procesos que requieren soporte de uno o más paquetes para el funcionamiento del sistema. El Modelo del Pentágono de Coordinación con Escalera Escalar - CPM/SSM facilita al módulo gestor la funcionalidad y la integridad de las operaciones.

Propuesta de caso práctico hipotético

Hotel "Caribbean dreams" en Cancún

1. Descripción del Problema: El Hotel "El Paraíso" es un establecimiento con 100 empleados e ingresos anuales de 200 millones de pesos, que enfrenta desafíos en su cadena de suministro. La gestión manual de sus procesos logísticos genera ineficiencias, sobrecostos y un alto riesgo de desabastecimiento, afectando la calidad del

servicio al cliente. El hotel necesita optimizar la adquisición, el almacenamiento y la distribución de sus insumos clave (alimentos, bebidas, productos de limpieza y blancos).

El problema se centra en la falta de sistemas de control y sincronización (como se menciona establece en la propuesta del documento), lo que lleva a los siguientes retos:

Gestión de inventario ineficiente: Excesos o faltantes de productos, afectando la continuidad de los servicios.

Falta de visibilidad: Imposibilidad de rastrear los pedidos en tiempo real desde la orden de compra hasta la entrega.

Procesos de compra lentos: Retrasos en la colocación de pedidos y en la validación de facturas.

Toma de decisiones reactiva: La falta de datos en tiempo real impide una planificación proactiva para la temporada alta o eventos especiales.

2. Solución Propuesta: Un Sistema Inteligente de Gestión de la Cadena de Suministro, basado en el Modelo de Pentágono.

Para abordar estos problemas, se propone el desarrollo de un software de gestión de la cadena de suministro que aplique los principios de la ingeniería de software y sistemas expuestos con anterioridad. Este sistema sería un componente holístico que integraría a todos los actores y procesos, algunos de los cuales se detallan en los diagramas UML proporcionados.

El software se diseñaría como un sistema de apoyo para la toma de decisiones que haría un uso intensivo de tecnologías avanzadas como:

ERP (Enterprise Resource Planning): Para integrar la gestión de inventarios, compras, finanzas y operaciones del hotel.

Inteligencia de Negocios (BI): Para analizar el consumo histórico, identificar tendencias de demanda y generar reportes sobre el rendimiento de los proveedores.

Algoritmos Inteligentes: Para optimizar las rutas de entrega de los proveedores locales y automatizar la generación de pedidos.

3. Aplicación Práctica del Software: El sistema operaría de la siguiente manera, cubriendo las principales etapas de la cadena de suministro del hotel:

Abastecimiento (Compras)

El sistema, basado en el historial de consumo (BI) y los niveles de inventario, generaría automáticamente alertas de reabastecimiento para productos clave. Los gerentes de compras podrían emitir órdenes de compra digitales que serían enviadas directamente a los proveedores, eliminando el proceso manual.

Gestión de Inventario (Almacén)

El personal del almacén utilizaría un módulo móvil del software para registrar la entrada de mercancías, escaneando códigos de barras y validando la cantidad y calidad de los productos. El sistema registraría los datos en tiempo real, actualizando el inventario y permitiendo una visibilidad completa de las existencias.

Distribución Interna (Cocina y Bares)

Los diferentes departamentos del hotel (cocina, bares, servicio de habitaciones) harían sus solicitudes de insumos a través del software. El sistema asignaría las solicitudes a los encargados del almacén, optimizando el tiempo de preparación y entrega interna.

Toma de Decisiones y Análisis

El módulo de Inteligencia de Negocios (BI) generaría paneles de control con indicadores clave de rendimiento (KPI: Key Performance Indicator), como el costo por porción, la rotación de inventario y la precisión de los pedidos.

Los algoritmos inteligentes analizarían los datos para pronosticar la demanda futura, ayudando al hotel a planificar con anticipación y reducir el desperdicio.

Algunos de los indicadores cuantitativos para medir la efectividad del software implementado, de manera enunciativa más no limitativa:

- Efectividad de las alertas de reabastecimiento
- Reducción de tiempos en los procesos de compras
- Control de los inventarios y reducción de mermas
- Identificación oportuna de insumos
- Nivel de optimización del almacén
- Monitoreo de los KPI establecidos
- La revisión en tiempo real de los procesos del hotel

Discusión:

- La ingeniería conceptual de la arquitectura de la SCM propuesta en la investigación, aun cuando no es la única, presenta la adaptabilidad a la SCM de cualquier organización.
- Sus componentes primarios y secundarios son módulos interdependientes, parametrizables a través del modelo CPM – SSM; haciendo uso de cualquier metodología de las que actualmente presenta la Ingeniería de Sistemas e Ingeniería del Software.
- La combinación de diferentes herramientas permite obtener mejores productos al hacer uso de las potencialidades y ventajas de cada método, asegurando la satisfacción de los requisitos logísticos especificados por el cliente y facilitando la obtención de diferentes KPI que permiten medir el desempeño de cada proceso o actor económico.
- El método CPM-SSM es de tipo evolutivo e incremental en espiral.
- El clúster es la unidad básica modular del método para desarrollos con ingeniería directa o inversa

(reversibilidad) garantizando la integridad y completitud de los módulos.

La descomposición modular permite la parametrización robusta y la integridad del sistema logístico y de SCM.

Referencias

- [1] BJ. Ayers, J. (2006): Handbook of supply chain management. United States of America: Auerbach Publications.
- [2] Ballou, R. (2004). Logística. Administración de la cadena de suministro. Ediciones Díaz de Santos. España.
- [3] Booch, G., Jacobson, I. y Rumbaugh, J. (2010): El lenguaje unificado de modelado. Pearson Educación. España.
- [4] Boehm, B. W. (1988). A spiral model of software development and enhancement. Computer, 21(5), 61–72. <https://doi.org/10.1109/2.59>
- [5] Booch, G., Jacobson, I., & Rumbaugh, J. (1999). The unified software development process. Addison-Wesley.
- [6] Chiavenato, I. (2011). Administración de recursos humanos. El capital humano de las organizaciones. 9na edición. Mc Graw Hill. México.
- [7] Chopra, S. y Meindl, P. (2008): Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación. 3era. Edición. Pearson Educación. México.
- [8] Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). (2025). CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary. Recuperado de https://www.cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx
- [9] Crawle et al. (2004). The Influence of Architecture in Engineering Systems [en línea PDF]. Recuperado el 06 de septiembre del 2016 de: <https://esd.mit.edu/symposium/pdfs/monograph/architecture-b.pdf>
- [10] Flokzu. (2018, 28 mayo): ¿Qué es BPMN? Notación estándar para modelar procesos. Recuperado 28 de septiembre de 2020, de https://www.flokzu.com/blog/es/bpmn_es/que-es-bpmn/
- [11] International Journal of Flexible Manufacturing Systems 13, 209–228. <https://doi.org/10.1023/A:1011139719773>
- [12] Larman, C., & Basili, V. R. (2003). Iterative and incremental development: A brief history. Computer, 36(6), 47–56. <https://doi.org/10.1109/MC.2003.1204375>
- [13] McLeod, R. (1998): Management Information Systems 6th Edition. Prentice Hall. 1998. Capítulo 6, 7, 8
- [14] Meyer, B. (1997): Object Oriented Software Construction. Recuperado 29 de septiembre del 2020, de Interactive Software Engineering Inc. (ISE) Sitio web: http://www.academia.edu/4903777/Object_Oriented_Software_Construction_SECOND_EDITION
- [15] Montgomery, D. (2004): Control Estadístico de la Calidad. 3era. Edición. Editorial Limusa Wiley.
- [16] Peña, L; Rodríguez, Y. (2018): Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta. Ingeniería, vol. 23, núm. 3, pp. 230-251, 2018. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
- [17] Pressman, R. (2007): Ingeniería del Software. Un Enfoque Práctico. 5ta. Edición. Mc Graw Hill.
- [18] Riggs, J. L. (1998): “Sistemas de Producción. Planeación, Análisis y Control”. 3era. Edición en español. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México.
- [19] Rumbaugh, J. et al. (1996): Modelado y Diseño Orientados a Objetos. 1era. Edición en español. Prentice Hall. España.

- [20] Sommerville, I. (2005): Ingeniería de Software. 7ma. Pearson Educación, S.A. Madrid. España.
- [21] Soto, D. (2016): ¿Qué es BPMN y para qué sirve? Nextech Education Center. <https://nextech.pe/que-es-bpmn-y-para-que-sirve/>
- [22] Sucre S, A.; Contreras, L.; Molero, J. (2001a): "Object Oriented Metamodel of Systems Administrative Production Process". ISAS-SCI '01: Proceedings of the World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics: Information Systems Development-Volume I - Volume I July 2001 Páginas 601–606 Orlando, U.S.A ISBN: 978-980-07-7541-7
- [23] Sucre S., A. J. (2001): Análisis y Diseño de Sistemas Administrativos de Procesos de Producción Orientado a Objetos. Tesis Magistral. Universidad Simón Bolívar. Departamento de Procesos y Sistemas. Caracas. Venezuela. Biblioteca Nacional de Venezuela. Registro Nro. 2013 1044783
- [24] Sucre S., A. J (2001). Etapas para modelar sistemas. Página 12
- [25] Sucre S., A. J (2001). Ciclo de Vida Individual de un Clúster CPM. Página 21
- [26] Sucre S., A. J (2001). Ciclo de Vida Individual de un Clúster CPM con Recursividad. Página 38
- [27] Sucre S., A. J (2001). Modelo de Escalera Escalar – SSM. Página 44
- [28] Sucre S., A. J (2001). Capas de Abstracción Modelo de Escalera Escalar – SSM. Página 50
- [29] Sucre S., A. J. (2009): Modelado del Control de Calidad de Sistemas Administrativos para Procesos de Producción, Tesis Doctoral, Universidad Simón Bolívar. Caracas. Venezuela. Biblioteca Nacional de Venezuela. Registro Nro. 2017-2973592
- [30] Sucre S., A. J. (2020): Logística y Cadena de Suministro. Una perspectiva financiera en el contexto global., 1era. Edición. Editorial Académica Española. Mauritius. ISBN-10: 620-0-43054-3 ISBN-13: 978-620-0-43054-0
- [31] Sucre S., A. J. (2021): Sistemas de apoyo para la toma de decisiones. Metodologías y prácticas de la ingeniería para el modelamiento de sistemas de apoyo a la toma de decisiones., 1era. Edición. Editorial Académica Española. República de Moldavia. ISBN-13: 978-620-3-58578-0
- [32] Sucre S., A. J. (2022): Fundamentos de Ingeniería de Sistemas para Sistemas Logísticos y de Cadena de Suministro, 1era. Edición. Carsten Groppe. Guadalajara, JALISCO. MÉXICO. ISBN: 978-607-29-4004-8
- [33] Sucre S., A. J.; Contreras, L.; Llatas, I. (2009-a): PESCA - OO / QFD - SAPP-OO // "Prototipo Evolutivo Sistémico de Calidad Orientado a Objeto para Gestionar Sistemas Administrativos de Procesos de Producción usando la Metodología QFD y aplicando Técnicas de Control Estadístico ". Revista Informe de Investigaciones Educativas DIP UNA Volumen XXIII-2008 Universidad Nacional Abierta. Venezuela.
- [34] Sucre S., A. J.; Contreras, L.; Molero, J. (2003): "Estrategia Metodológica para el Análisis y Diseño OO de SAPP. Un enfoque para el desarrollo de software Orientado a Objetos de Sistemas Administrativos de Procesos de Producción-OO-SAPP". IV Congreso de Automatización y Control, CAC'2003. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- [35] Sucre S., A. J.; Contreras, L.; Molero, J. (2009-b): "FW-SISPECA-OO/QFD-SAPP-OO: FrameWork – Sistema Parametrizable de Evaluación de la Calidad Orientado a Objetos para Gestionar Sistemas Administrativos de Procesos de Producción usando la Metodología QFD y aplicando Técnicas de Control Estadístico". Revista Tekhné. Volumen 11 Número 2. Universidad Católica "Andrés Bello". Venezuela.
- [36] Turban E; Aronson J; Liand T. (2007): Decision Support Systems and Intelligent Systems. New Delhi: Prentice-Hall, Inc
- [37] UML (1995): Reference Manual Versión 0.8 Rational Corporation. 1995. Santa Clara. California
- [38] UML (1997): Semantics Apendix M1- UML Glossary 1.0 Rational Corporation. 1997. Santa Clara. California.
- [39] UML® Resource Page Visual Modelling: past, present and future. Andrew Watson Vice-President and Technical Director Object Management Group.The Object Management Group (OMG). Fecha de consulta: 02/03/2007. Disponible: <http://www.omg.org>