DESARROLLO DE PRODUCTO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Claudia Sánchez, Consultora en Innovación Tecnológica

Resumen — Desarrollar productos es un reto en diferentes escalas para las diferentes industrias. El diseño o rediseño de productos en la industria automotriz, donde se tienen altos niveles de complejidad en cada vehículo, debido a los requerimientos del mercado, los requerimientos ambientales y de seguridad, impactan varios actores en la cadena de valor de este sector, en sus procesos de diseño, de manufactura y en el relacionamiento de los actores vinculados con estas actividades. En el presente artículo se introducen de manera genérica los pasos para el desarrollo de producto automotor, teniendo en cuenta algunos de los desafíos y retos que enfrentan los fabricantes (o ensambladores) del producto final y los desarrolladores de autopartes.

Palabras Clave — Industria Automotriz, Desarrollo de Producto, Proveedores de Autopartes, Manufactura

1. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz está en continuo movimiento: tanto sus productos, como el desarrollo de las cadenas de valor la hacen altamente competitiva. Debido al nivel de inversión en investigación y desarrollo (I+D), durante varios años ha sido clasificado entre los sectores de media alta complejidad tecnológica, ubicándose desde el año 2009 como la segunda industria en incrementar continuamente sus valores de inversión en I+D con respecto a otros sectores productivos (European Commission - Joint Research Centre, 2018), situación ocasionada por la necesidad de generar y usar continuamente conocimiento, tanto para el desarrollo de nuevos productos, como para la optimización de sus procesos. La inversión en I+D del sector automotor reportado entre los años 2013 y 2017, alcanzó más del 15% con respecto a la inversión de las 2500 empresas analizadas anualmente en la Unión Europea (European Commission - Joint Research Centre, 2018). Al hacer un análisis por país entre el nivel de producción y la inversión en I+D de la industria automotriz, se identificó que los países donde se realiza la mayor producción de vehículos, son también los países donde se realiza una mayor inversión en I+D (Sánchez & Pacheco, 2018).

Su valor estratégico es reconocido en las diferentes economías donde se encuentra presente como industria (García, Vial, & Montañez, 2010), debido a que tanto para la fabricación de vehículos, como para el ensamble de los mismos se requiere desarrollo de proveedores con capacidades de diseñar, prototipar, validar y fabricar subproductos desde diferentes sectores (metalmecánico, vidrio, plástico, electrónico, textil entre otros) con el fin de integrarlos en un solo producto: el automóvil. Por lo tanto, su presencia garantiza la generación de innovación, transferencia de conocimiento y de transformaciones en los procesos del sector manufacturero (Sánchez & Pacheco, 2018).

La cadena de valor (Ver Figura 1) está conformada por diferentes industrias de manufactura y servicios, entre las que los fabricantes o ensambladores encuentran aliados para el diseño (en algunos casos incluso capacidades de diseño del vehículo completo), el desarrollo, la realización de pruebas, ensamble y subensamble de piezas. Aguas arriba del proceso de ensamble del vehículo, se encuentra la cadena de distribución, integrada principalmente por los concesionarios, en los cuales se realiza tanto la venta de vehículos, así como servicios posventa, de cara al usuario final (OECD, 2009).

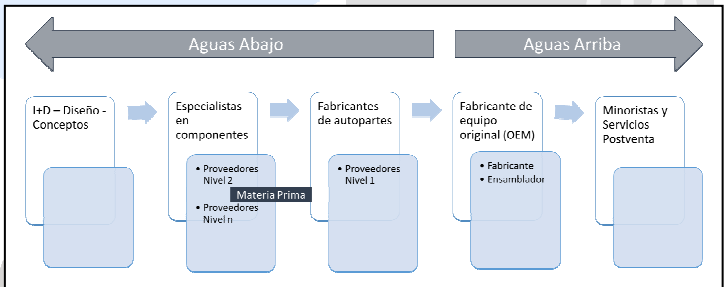

Figura. 1. Cadena de Valor Global de la Industria Automotriz
Fuente: Adaptado de (Lejarraga, Kouzul-Wright, Primi, Toselli, & Wermelinger, 2016)

Son muchos los retos que enfrenta la industria de autopartes y vehículos, por cuanto los clientes finales demandan altos niveles de calidad y seguridad en sus productos, mientras los niveles de competencia demandan mejora continua que permita reducir tiempo, costos de fabricación, con el fin de mantenerse competitivo. En este sentido, como se verá en el artículo, cada desarrollo de nuevo vehículo o la modificación en un sistema del

mismo que origine una nueva versión de automóvil, generará un impacto en los integrantes de la cadena aguas abajo, en el desarrollo de prototipos y de productos intermedios, así como en los procesos de manufactura. Cada una de las decisiones de procesos debe evaluarse, buscando asegurar una adecuada fabricación de los productos (Stylidis, Madrid, Wickman, & Söderberg, 2017).

2. Desarrollo de Productos en el Sector Automotor: Estado del Arte

El sector automotor desarrolla sus productos cumpliendo varias etapas, entre las que se pueden identificar: planeación, desarrollo de conceptos, diseño de sistemas, diseño de detalle y pruebas y ajustes (Glomski, 2005). Siendo los vehículos productos integrados por sistemas complejos, de acuerdo con los requerimientos funcionales de los mismos, se diseñan los sistemas, subsistemas y piezas, teniendo en cuenta tanto requerimientos geométricos, de materiales, de procesos de fabricación, entre otros.

Al entrar en la siguiente fase de diseño, se enfrentan retos específicos que involucran tanto al ensamblador como a los fabricantes de partes, en pasos que implican analizar la división del vehículo en sistemas, subsistemas y componentes, para realizar el diseño de detalle, pruebas y refinamiento de partes y subensambles, pasos que deben realizarse antes del lanzamiento de fabricación de productos para llegar al mercado. En este proceso, es necesario realizar el diseño de ingeniería, la fabricación de prototipos de partes sin herramientas, proceso del que saldrán datos que permitirán verificación y ajustes del proceso en el fabricante de partes y en el plan del proceso de ensamble del vehículo; posteriormente, se manufacturan prototipos de componentes, esta vez fabricados con herramientas y se ajustan los parámetros de producción, como se puede ver en la Figura 2.

El diseño de detalle de productos complejos se realiza para sistemas, subsistemas y componentes en pasos simultáneos; también se realizarán pruebas paralelamente, en la medida en que cada parte del prototipo es fabricado. Se utiliza como herramienta software de diseño asistido por computador, facilitando el intercambio de información entre equipos de trabajo. Los ajustes al diseño, prototipo y pruebas son procesos iterativos, que van generando nuevos cambios, en la medida en que se analizan los resultados de las pruebas individuales (Ulrich & Eppinger, 2013). La integración y pruebas del sistema complejo, también son iterativas y finalizan únicamente al garantizar el cumplimiento de los requerimientos de diseño, de estándares y de las normativas requeridas. Una vez cumplen con los procesos de verificación, se obtiene la aprobación para iniciar la producción en serie de las piezas y del vehículo (Ibid).

Los primeros prototipos con piezas fabricadas sin herramentales (Fig. 2), se ensamblan en talleres, es decir, fuera de la línea de producción. Posteriormente, los prototipos de partes fabricados con herramentales, serán ensamblados en los primeros prototipos de vehículos que se llevan a línea de producción, donde se ensamblan varios grupos de prototipos mientras se realizan los procesos de validación del ensamble (Glomski, 2005). Se realiza un ajuste de los procesos de producción, de acuerdo con el nivel de cumplimiento identificado en las pruebas (tanto de funcionalidad como de precisión dimensional) realizadas a vehículos y componentes (Ibid).

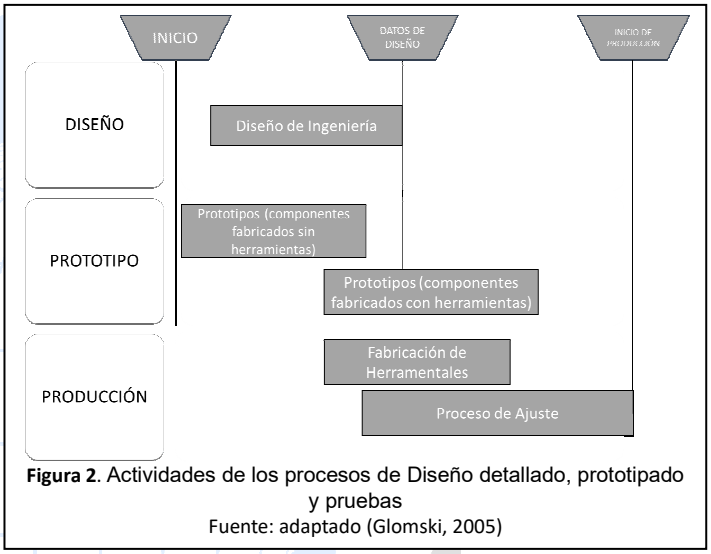

Figura 2. Actividades de los procesos de Diseño detallado, prototipado y pruebas
Fuente: adaptado (Glomski, 2005)

El diseño de nuevos vehículos o los cambios de los sistemas del vehículo, ocasionados por rediseños de modelos, implican transformaciones tanto en los procesos productivos del fabricante / ensamblador, como en los proveedores de partes originales (OEM), generando cambios en procesos de fabricación, en los herramentales y medios de control requeridos para producción (Glomski, 2005).

En general, el diseño y desarrollo de producto y proceso en este sector, son procesos globales, que son decididos y desarrollados a nivel corporativo de cada compañía automotriz. Sin embargo, a nivel local, a partir de las necesidades de cada mercado, se identifican segmentos y se adaptan modelos partiendo del diseño global y de las necesidades de los segmentos de mercado locales.

El lanzamiento de nuevas versiones de automóviles, como fenómeno reciente, presenta una tendencia de incorporación de tecnologías desarrolladas para vehículos de alta gama, en segmentos menos exclusivos, que demandan mejoras desde el punto de vista técnico en términos de optimización (como en el caso de los motores) o en la apariencia en el cuerpo del vehículo. Estos nuevos requerimientos de producto, generan cambios en diferentes sistemas del vehículo, impactando adicionalmente los procesos de producción de las nuevas versiones, ocasionando demandas de

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

nuevas tecnologías de procesos de manufactura y ensamble.

2.1. Sistemas que Integran un Automóvil

Cada vehículo puede dividirse en sistemas funcionales, que varían entre sí debido a modificaciones de diseño. Las modificaciones en los sistemas dan lugar a diferentes versiones del vehículo (Lutsey, 2010). Los sistemas funcionales convencionales de un automotor, son clasificados por Lutsey (2010) en:

2.1.1 El cuerpo del automóvil (o cuerpo en blanco)

Está integrado por partes y subsistemas como: Bastidor del habitáculo, vigas transversales y laterales, techo, estructura, estructura frontal, estructura del piso inferior, paneles. Lutsey (2010) lo describe como un sistema sensible a la integridad estructural del vehículo, siendo por lo tanto el único sistema que es investigado y sobre el que se realizan diseños a buscar cambios de diseño por disminución de masa. Es adicionalmente el sistema con mayor frecuencia de cambios en su diseño, ocasionados por las tendencias o necesidades del mercado (Jayaram & Mohanraj, 2016). Asociado con el Cuerpo del vehículo se encuentran los cierres, que corresponden a puertas delanteras y traseras y capó (Lutsey, 2010), cuyo esquema puede verse en la Fig. 3. Siendo este uno de los sistemas más complejos desde el diseño hasta la manufactura del vehículo, en su desarrollo se tendrá coordinación de diferentes equipos de trabajo, desde los primeros pasos de diseño del producto, hasta los proveedores de materias primas, herramentales y piezas (Baron & Gerth, 2003).

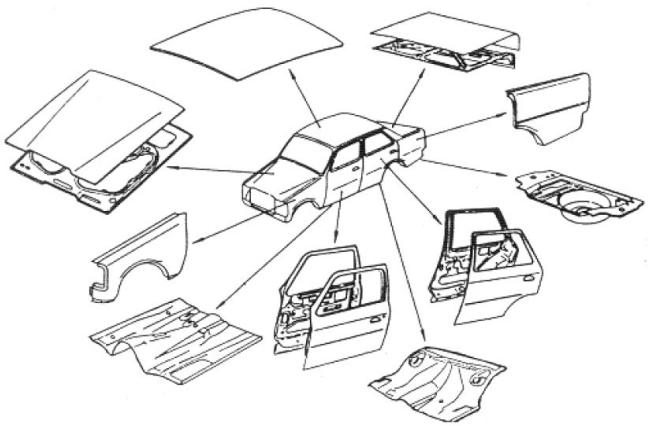

Figura 3. Paneles de mayor tamaño del cuerpo de un automóvil
Fuente: (Drishtikona, 2007)

Se ha identificado también como la parte más costosa, por causa de su proceso de manufactura, en una planta de fabricación. El cambio en el diseño de un automóvil, que modifique su estructura, generará modificaciones de gran impacto en el proceso de manufactura y ensamble. Dar cumplimiento de los requerimientos de rediseño en este sistema se convierte en un desafío y será un factor determiante en la satisfacción del usuario final, por cuanto la apariencia de un automóvil determina también el deseo de compra del posible cliente (Baron & Gerth, 2003).

2.1.2 Tren motriz

Este sistema, según Lutsey (2010), está compuesto por motor, transmisión, sistema de escape y tanque de combustible. En términos de demanda reciente, el sector se ha visto en la necesidad de optimizar el consumo de combustible y del comportamiento del motor en los vehículos, tanto por razones económicas como de sostenibilidad, generando cambios en las tecnologías (Simmons, 2015). Se han desarrollado modificaciones ocasionadas, por ejemplo, por la reducción del tamaño del motor, con propuestas de cambios que permitan aprovechar tecnologías como inyección directa de gasolina o la incorporación de turbo-cargadores; esta última, utilizada en vehículos de alta gama y desde hace algunos años, está siendo adaptada para su uso en vehículos de menor costo (Leduc, 2003). En algunos casos, para lograr condiciones de funcionamiento, los cambios en este sistema pueden demandar modificaciones o cambios completos del tipo de caja de velocidad (Dalla Nora, 2015).

2.1.3 Sistemas de Suspensión

En este caso identifican tres componentes principales, con funciones específicas: muelles, que absorben energía generada por las alteraciones que se encuentran en la vía y soportan el peso de vehículo; parachoques que disipan energía y estabilizadores que permiten controlar la trayectoria durante las curvas (Scuracchio, de Lima, & Schön, 2013). Este sistema tiene como función absorber las fuerzas que experimentan los automotores en movimiento; adicionalmente, debe mantener las ruedas en contacto con la carretera, con el fin de garantizar la seguridad y el rendimiento del vehículo (Gillespie, 1992).

El diseño de este sistema, es orientado por los requerimientos funcionales descritos anteriormente, así como por parámetros dinámicos que permitan que la suspensión en servicio pueda ser sometida a diversos niveles y situaciones de carga. Para el diseño o rediseño de este sistema se tienen en cuenta variables como el espacio que ocupa cada una de las piezas del sistema en el vehículo, los procesos de fabricación y montaje que requieren, costo y peso, entre otras (Vivekanandan, Gunaki, Acharya, Gilbert, & Bodake, 2014).

2.1.4 Otros Sistemas

En el vehículo se encuentran una serie de piezas y subensambles relacionados tanto con funcionamiento como con confort, al interior de la cabina del vehículo,

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

como asientos, tablero de instrumentos, aislamiento, tapicería, airbags, así como sistemas conocidos como misceláneos, que son integrados por el sistema eléctrico, ventanas entre otros (Lutsey, 2010).

2.2. Impactos del Desarrollo de Productos en la Manufactura

El desarrollo de productos en la industria manufacturera involucra el *concepto de características clave de producto*, desarrollado por Lee et al (1996) según el cual se deben tener en cuenta características originales de diseño del producto, así como los requerimientos del proceso de manufactura que generarán impactos en los atributos clave del producto asociados con forma, función o desempeño, con el fin de identificarlos como parámetros de procesos para su fabricación y ensamble. Por ejemplo, al sugerir cambios geométricos en un producto, se ocasionarán impactos en el concepto de diseño, en los procesos de manufactura de los componentes y en los procesos de ensamble, impactando de esta manera diferentes etapas de producción (Lee & Thornton, 1996).

Tanto las plantas de fabricación/ensamble de vehículos, como los fabricantes de piezas y partes deben realizar cambios en sus procesos de manufactura al desarrollar un nuevo vehículo, así como al introducir cambios en el sistema de un vehículo, que generen nuevas versiones del mismo. Mientras las plantas de ensamble adaptan los recursos físicos para la fabricación de los nuevos productos (herramentales, automatización de procesos de fabricación y ensamblaje, cambio en los procesos de manejo de materiales, equipos para el aseguramiento de la calidad y otros equipos auxiliares) (ElMaraghy H. A., 2012), se generan simultáneamente procesos de interacción para diseño de producto, diseño de procesos (incluyendo herramentales y procesos de aseguramiento de calidad) del personal de ingeniería del ensamblador, con los proveedores de piezas y subensambles.

3. Procesos de Fabricación en la Planta de Ensamble y Tendencias en Desarrollo de Productos

El proceso de fabricación de un automóvil inicia con el conformado de los paneles del cuerpo del vehículo, los cuales son fabricados con una variedad de prensas (hidráulicas y mecánicas) y sus respectivas matrices de estampación. Para la fabricación de los paneles, se requieren la maquinaria, los herramentales y la materia prima (Omar M. A., 2011). A través de procesos de soldadura, las piezas estampadas del cuerpo del vehículo se unen, dando forma a la cabina. Una vez conformada, la cabina pasa por lavado, pintado y horneado, para posteriormente, iniciar el proceso de instalación del trim en el auto (Omar M. A., 2011). Los procesos de instalación de trim, tienen alta dependencia del talento humano, por cuanto hay muchos procesos no automatizados que demandan la experticia y conocimiento de los procesos por parte de los operarios, para su adecuada ejecución (Omar M. A., 2011).

En fábricas con altos niveles de producción, tanto los procesos de fabricación de páneles como la soldadura del cuerpo del vehículo se realizan en líneas de producción con alto grado de automatización. En plantas con bajos volúmenes de producción, tanto la fabricación de los páneles, como la soldadura de la cabina, se realizan manualmente o con procesos semiautomatizados, por cuanto la implementación de robots o tecnologías automatizadas puede generar altos costos de producción, que impediría la comercialización de los vehículos.

La competitividad que el mercado demanda de esta industria, ha generado la necesidad de implementar sistemas de manufacura flexibles, garantizando reducción de costos, acortando *lead time*, disminuyendo la cantidad de operaciones de manufactura, así como el nivel de complejidad en la fabricación de un automovil completo, disminución de retrabajos, de desperdicio de material, e incrementando los niveles de estandarización de la producción. (Omar M. A., 2011).

3.1. Retos en la Automatización de Procesos de Bajos Volúmenes de Producción

La introducción de procesos automatizados o robóticos en la fabricación de vehículos puede mejorar la calidad del producto, así como disminuir riesgos de enfermedades profesionales ocasionadas por ejemplo por movimientos repetitivos o posiciones de trabajo con fallas en ergonomía, entre otros beneficios. En países en desarrollo, donde existen plantas de ensamble para bajos niveles de producción, existen restricciones para implementar procesos automatizados, debido a que, por ejemplo, la inversión en cada célula robótica ocasiona altos costos tanto en la compra de los equipos, como en su adaptación en la línea de producción y posterior mantenimiento (Preti, 2014).

La introducción de nuevos vehículos que tengan atributos de producto con mayores niveles de calidad, hará necesaria la implementación de sistemas automatizados para garantizar las condiciones de diseño que exige el mercado. En industrias de media o baja cadencia, la implementación de estos procesos automatizados demandará el diseño y ejecución de planes de acción que permitan disminuir los costos de adquisición y adaptación de procesos automatizados (o robotizados). Por lo tanto, será fundamental realizar un análisis de los equipos que cumplan con los requerimientos del proceso a mediano y largo plazo, así como el planteamiento y ejecución de estrategias de su adaptación a la línea de producción y su operación (Preti, 2014).

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

3.2. Procesos de Ensamble Automatizados para Cumplir con Demandas de Nuevos Diseños

Algunos de los procesos que han sufrido transformaciones asociadas con automatización en la industria automotriz, son los procesos de soldadura y grafado:

Soldadura: este proceso permite unir varias capas de metal. En el caso de la industria automotriz, se usa en una alta proporción la soldadura de punto, cuya unión se produce generando calor y presión en áreas procesadas, sin adición de material. Demanda una combinación precisa de presión, intensidad de corriente y periodo de tiempo de soldado (EWF, 2007), para lograr condiciones de calidad adecuadas de producto. Siendo fundamentales en el ensamble de vehículos, los procesos de soldadura son automatizados con el fin de mejorar la eficiencia de producción (Bogue, 2008).

Este proceso tendrá un alto impacto en la fabricación de vehículos con mayores niveles de calidad percibida, lo que convierte la soldadura en una de las operaciones de manufactura que requerirá mayores niveles de control (Stylidis, Madrid, Wickman, & Söderberg, 2017).

Grafado: permite realizar la unión de dos o más láminas de metal, usado en mayor proporción para fabricar los cierres del auto. Se considera un proceso de doblado de metales (Livatyali, Laxhuber, & Altan, 2004), que genera uniones compactas, no tan fuertes como la soldadura de punto (Svensson & Mattiasson, 2002).

El desarrollo de esta operación sin los estándares adecuados, puede afectar la calidad visual, dependiendo de las tolerancias de precisión que pueden obtenerse al ensamblar cierres frontales y laterales (Jayaram & Mohanraj, 2016), lo cual impacta la calidad percibida. Por lo tanto, para lograr productos con mejor calidad percibida, será necesario implementar procesos de grafado con altos niveles de automatización y control.

4. Impacto del Desarrollo de Producto en los Proveedores de Piezas

Los cambios de productos, generados por nuevos requerimientos del cliente, demandan modificaciones de proceso de las empresas fabricantes de vehículos, que para adaptarse rápidamente a los nuevos procesos tecnológicos, requieren trabajo con proveedores de partes y subensambles (Wiendahl, 2007). El ciclo de desarrollo de un producto en la industria automotriz, es complejo, lo que ocasiona la necesidad de externalizar un alto porcentaje del diseño y fabricación en proveedores (Tang & Qian, 2008). En este proceso, el equipo que planea el producto por parte del ensamblador, desarrolla las especificaciones del concepto general del nuevo modelo. Una vez aprobado, se realiza un plan de detalle, en términos de dimensiones y material para cada parte. Posteriormente, se elaboran los planos de ingeniería de detalle para cada pieza. Para un automóvil de combustión interna completo, se requiere del diseño y desarrollo de entre 1000 y 2500 partes (Womack, Jones, & Roos, 1990).

Tradicionalmente, entre la empresa fabricante (o ensambladora) y el proveedor de piezas originales se presenta una interacción, de la siguiente manera: En el primer paso, el ensamblador entrega al proveedor un set de requerimientos de producción y un número de productos a desarrollar, de acuerdo con el diseño de detalle elaborado internamente (Tang & Qian, 2008). Una vez el ensamblador designa las piezas, los proveedores inician el proceso de fabricación de piezas prototipo. Durante esta fase, se realizan los procesos de iteración del diseño de piezas, pruebas a prototipos por parte del proveedor, pruebas por parte del ensamblador, de manera que se va ajustando el diseño (Womack, Jones, & Roos, 1990). Posterior a las pruebas del proveedor y del ensamblador, este último identifica y formula cambios necesarios en cada pieza a ser realizados internamente y por el proveedor. Durante este proceso, el proveedor realizará cambios en los diseños de las piezas y en sus procesos de fabricación, de manera que garantice la entrega de los productos en las condiciones que demanda él ensamble del producto final. Una vez realizados los cambios y verificadas las variables de los productos, el ensamblador da la aprobación para comenzar la producción en volumen. Finalmente, el proveedor entrega el producto o servicio terminado.

Se ha identificado que involucrar de manera temprana al proveedor (que tiene mayor profundidad y dominio en los procesos para mejorar las piezas), permitiría integrar la creatividad y la innovación de los equipos de ingeniería de las empresas proveedoras en el proceso de desarrollo de nuevos productos, generando beneficios a través de la cooperación y aprovechando las fortalezas de cada parte, facilitando la obtención de ganancias mutuas (Tang & Qian, 2008). Sin embargo, integrar tempranamente al proveedor demanda mejorar condiciones de trabajo entre los equipos, de los niveles de confianza entre las partes y un entendimiento de los beneficios mutuos de un proceso de desarrollo conjunto, desde etapas preliminares a las acostumbradas. En algunos casos, exige un mayor nivel de intercambio de conocimiento (Roper, Hales, Bryson, & Love, 2009), que le permita generar nuevas ideas para producto o proceso, que conduzcan a la innovación.

El desarrollo de productos con mayores niveles de calidad, generalmente requiere del desarrollo de proveedores, lo que permitirá que la cadena de valor alcance mayores niveles de competitividad (Sánchez & Pacheco, 2018).

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

5. CONCLUSIONES

Los automóviles son productos integrados por sistemas complejos. El desarrollo de nuevos productos o de cambios en sistemas de un vehículo, se realiza cumpliendo procesos que demandan integración de equipos de trabajo entre los fabricantes de piezas y subensambles y la empresa ensambladora (o fabricante). Partiendo de los requerimientos funcionales, cumpliendo una serie de etapas, se elaboran los diferentes diseños contando con restricciones asociadas con requerimientos geométricos, necesidades de materiales, demandas de transformación en los procesos de fabricación, entre otras.

La decisión de lanzar un nuevo producto o generar cambios en los sistemas de un vehículo, por lo general en este sector se da a nivel corporativo. Sin embargo, en cada subsidiaria (fabricantes o ensambladores) se identifican segmentos y se realizan adaptaciones con base en el diseño global y de las necesidades de los segmentos de mercado locales. Tanto las decisiones del corporativo como de las subsidiarias impactarán los procesos de diseño, desarrollo y de fabricación a nivel interno. También generarán un impacto en la identificación y selección de los proveedores de partes, así como en los procesos de diseño y de fabricación de aquellos que sean seleccionados para el desarrollo de cada producto, o del rediseño del sistema del vehículo que requiera modificación.

Las modificaciones en sistemas como el cuerpo del vehículo o el sistema motriz están siendo influenciados por la demanda de automóviles con mejor tecnología, que requieren la incorporación de soluciones que han sido implementadas en vehículos de alta gama. Estos cambios en vehículos de otros segmentos, generan requerimientos, por ejemplo, en la implementación de procesos automatizados o robotizados. En el caso particular de empresas con bajos volúmenes de producción, implementar este tipo de tecnología puede generar altos costos. Por lo tanto, para adoptar nuevos procesos de manufactura automatizados, se requerirá de analisis y selección adecuada de los equipos que cumplan con los requerimientos del proceso, así como plantear estrategias de adaptación a la línea de producción.

La industria automotriz mantiene continuamente procesos de intercambio de conocimiento con sus proveedores, particularmente en procesos de desarrollo de productos. Lo que le permite lanzar bienes con mayores niveles de calidad, mientras se desarrollan las capacidades de sus proveedores.

BIBLIOGRAFÍA

Bogue, R. (2008). DaimlerChrysler installs new robot-based flexible assembly line. *Industrial Robot: An International Journal, 35*(1), 16-18.

Dalla Nora, M. &. (2015). High load performance and combustion analysis of a four-valve direct injection gasoline engine running in the two-stroke cycle. *Applied Energy, 159*, 117-131.

Drishtikona, I. (3 de 08 de 2007). *http://drishtikona.com/.* Recuperado el 09 de 12 de 2011, de http://drishtikona.com/books/automobile-manufacturing/ch5.pdf: http://drishtikona.com/

ElMaraghy, H. A. (2012). Co-evolution of products and manufacturing capabilities and application in auto-parts assembly. *Flexible services and manufacturing journal, 24*(2), 142-170.

European Commission - Joint Research Centre. (2018). *The 2018 EU Industrial R&D Investment Scoreboard.* Luxembourg: Publications Office of the European Union.

EWF. (2007). *Spot welding*. Porto Salvo: EWF.

García, A., Vial, J., & Montañez, M. (2010). *Latinoamérica Situación Automotriz*. Santiago de Chile: BBVA RESEARCH.

Gillespie, T. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics.* Warrendale (PA): SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS.

Glomski, P. T. (2005). *ACHIEVING WORLD-CLASS PERCEIVED VEHICLE QUALITY THROUGH IMPROVED ENGINEERING AND MANUFACTURING TOOLS.* Master of Science in Mechanical Engineering. Massachusetts (USA): Massachusetts Institute of Technology. Recuperado el 2019

Jayaram, K., & Mohanraj, J. (2016). Influence of Tolerancing Methods and Aspects of Perceived Quality on Side closures of Luxury Cars. *14th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing (CAT)*, 160-165.

Leduc, P. D. (2003). Downsizing of gasoline engine: an efficient way to reduce CO2 emissions. *Oil & gas science and technology, 58*(1), 115-127.

Lee, D. J., & Thornton, A. C. (1996). The identification and use of key characteristics in the product development process. *The 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference*.

Livatyali, H., Laxhuber, T., & Altan, T. (2004). Experimental investigation of forming defects in flat surface–convex edge hemming. *Journal of Materials Processing Technology*, 20–27.

Lutsey, N. P. (2010). *Review of technical literature and trends related to automobile mass-reduction technology.* Davis (USA): UC Davis: Institute of Transportation Studies. Obtenido de https://escholarship.org/uc/item/9t04t94w

OECD. (2009). *RESPONDING TO THE ECONOMIC CRISIS: FOSTERING INDUSTRIAL RESTRUCTURING AND RENEWAL.* Paris: OECD.

Preti, J. (2014). *PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE ROBÔ CARTESIANO DE BAIXO CUSTO PARA*

MANIPULAÇÃO DE PRODUTOS EM LINHAS DE MÉDIA CADÊNCIA. Bauru (Bz): UNESP.

Roper, S., Hales, C., Bryson, J., & Love, J. (2009). *Measuring sectoral innovation capability in nine areas of the UK economy*. London: NESTA. Obtenido de https://pdfs.semanticscholar.org/cdcb/8182522cd5117dd87a2dd26c61c668c8aac8.pdf

Sánchez, C. M., & Pacheco, H. F. (2018). INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EL SECTOR AUTOMOTOR. *Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial, 2*(7), 8-17. Recuperado el 2019, de https://colinnovacion.com/wp-content/uploads/2020/05/INVESTIGACION-DESARROLLO-E-INNOVACION-EN-EL-SECTOR-AUTOMOTOR.pdf

Scuracchio, B. G., de Lima, N. B., & Schön, C. G. (2013). Role of residual stresses induced by double peening on fatigue durability of automotive leaf springs. *Materials and Design*, 672–676.

Simmons, R. S. (2015). A benefit-cost assessment of new vehicle technologies and fuel economy in the US market. *Applied Energy, 157*.

Stylidis, K., Madrid, J., Wickman, C., & Söderberg, R. (2017). Towards overcoming the boundaries between manufacturing and perceived quality: an example of automotive industry. *50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 63*, 733 – 738. doi:doi: 10.1016/j.procir.2017.03.091

Svensson, M., & Mattiasson, K. (2002). Three-dimensional simulation of hemming with the explicit FE-method. *Journal of Materials Processing Technology*, 142–154.

Tang, D., & Qian, X. (2008). Product lifecycle management for automotive development focusing on supplier integration. *Computers in Industry, 59*(2-3), 288-295. doi:https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.07.002

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Product Design and Development* (Quinta ed.). México (México): MGrawHill.

Vivekanandan, N., Gunaki, A., Acharya, C., Gilbert, S., & Bodake, R. (Junio de 2014). DESIGN, ANALYSIS AND SIMULATION OF DOUBLE WISHBONE SUSPENSION SYSTEM. *International Journal of Mechanical Engineering (IIJME), 2*(6), págs. 1-7. Obtenido de http://ipasj.org/IIJME/Volume2Issue6/IIJME-2014-06-04-033.pdf

Wiendahl, H. E. (2007). Changeable manufacturing: classification, design, operation. *CIRP Annals, 56*(2), 783–809.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World*. New York (NY(: Simon & Schuster Inc.

INNOVACION®