



# MODELOS Y METODOLOGÍAS

PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS  
DE IMPACTO SOCIAL Y PRODUCTIVO

*En memoria del **Dr Alfonso Aldape Alamillo**,  
decano del TecNM-IT Cd Juárez, México.*

**Coordinadores:**

Manuel Arnoldo Rodríguez Medina  
Iván Juan Carlos Pérez Olguín  
Eduardo Rafael Poblano Ojinaga



## Modelos y metodologías para la solución de problemas de impacto social y productivo

**ISBN (CENID): 978-607-8830-13-8**

**ISBN (AEVA): 978-84-09-46635-1**

Primera edición, 2022

Todos los derechos reservados.

© 2022, Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Iván Juan Carlos Pérez Olguin, Eduardo Rafael Poblano Ojinaga, coordinadores.

© 2022, Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Alejandra Flores Sánchez, Eduardo Rafael Poblano Ojinaga, Francisco Zorrilla Briones, Yuliana Meléndez Pastrana, Alfonso Aldape Alamillo,<sup>†</sup> Juan Pedro Benítez Guadarrama, Lizette Alvarado Tarango, Jesús Elisabeth Sánchez Padilla, Adrian Francisco Loera Castro, Brenda Pedroza Figueroa, Jorge Adolfo Pinto Santos, Miguel Ángel Hernández Rivera, Genoveva Cruz Hernández, Joeovany Rafael Rodríguez Mejía, Manuel Iván Rodríguez Borbón, Perla Ivette Gómez Zepeda, autores.

***Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores. Esta obra cumple con el requisito de evaluación por dos pares de expertos.***

**Edición:** Julio Rivas Rojas.

**Diagramación:** Felipe Ponce.

Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID AC es miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana Socio #3758.

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido de la presente obra mediante algún método sea electrónico o mecánico (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, la grabación o cualquier sistema de recuperación o almacenamiento de información), sin el consentimiento por escrito del editor.

### **Indexación de atos**

Bases de datos en las que *Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente CENID A.C.* está indexada: Dialnet (Universidad de la Rioja).

© 2022 Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID AC Pompeya # 2705. Colonia Providencia C.P. 44670 Guadalajara, Jalisco. México Teléfono: 01 (33) 1061 8187 Registro Definitivo Reniecyt No.1700205 a cargo de Conacyt.

© 2022 Editorial de la Asociación Científica para la Evaluación y Medición del los Valores Humanos c/ de les cases sert nº 11, C.P. 08193, Bellaterra – Cerdanyola del Vallés (Barcelona).

CENID y su símbolo identificador son una marca comercial registrada.

Impreso en México / Printed in México



Si desea publicar un libro o un artículo de investigación contáctenos.

[www.cenid.org](http://www.cenid.org)

[redesdeproduccioncenid@cenid.org](mailto:redesdeproduccioncenid@cenid.org)

## Índice

|                                                                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Semblanza del Dr. Alfonso Aldape Alamillo</b>                                                                                   | <b>5</b>   |
| <b>Introducción</b>                                                                                                                | <b>7</b>   |
| <b>Construcción de modelo para determinar factores significantes en la adquisición del Virus del Papiloma Humano</b>               | <b>10</b>  |
| Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Alejandra Flores Sánchez, Eduardo Rafael Poblano Ojinaga                                          |            |
| <b>Contraste metodológico entre un algoritmo de búsqueda directa y superficie de respuesta</b>                                     | <b>33</b>  |
| Francisco Zorrilla Briones, Yuliana Meléndez Pastrana, Alfonso Aldape Alamillo                                                     |            |
| <b>Desarrollo Organizacional: Un Modelo</b>                                                                                        | <b>63</b>  |
| Alfonso Aldape Alamillo,† Francisco Zorrilla Briones, Juan Pedro Benítez Guadarrama                                                |            |
| <b>Desnutrición y apoyo a comunidades marginadas y el impacto de su programa de RSE: caso de una empresa del norte de México</b>   | <b>80</b>  |
| Lizette Alvarado Tarango, Jesús Elisabeth Sánchez Padilla, Adrian Francisco Loera Castro                                           |            |
| <b>Evaluación de la inteligencia competitiva y la capacidad de innovación en empresas localizadas en la Región Lagunera-México</b> | <b>106</b> |
| Eduardo Rafael Poblano Ojinaga, Brenda Pedroza Figueroa, Jorge Adolfo Pinto Santos                                                 |            |
| <b>Identificación de los factores críticos para mejorar la eficacia de la cadena de suministro: Una propuesta</b>                  | <b>132</b> |
| Miguel Ángel Hernández Rivera, Genoveva Cruz Hernández, Manuel Arnoldo Rodríguez Medina                                            |            |
| <b>Modelado estadístico en pruebas aceleradas de confiabilidad en mantenimiento</b>                                                | <b>151</b> |
| Jorge Adolfo Pinto Santos, Joeovany Rafael Rodríguez Mejía, Manuel Iván Rodríguez Borbón                                           |            |

**Resolución de un plan de distribución a través del razonamiento  
basado en casos y redes bayesianas**

Adrián Francisco Loera Castro, Perla Ivette Gómez Zepeda,  
Lizette Alvarado Tarango

**174**

# SEMBLANZA DEL

## Dr. Alfonso Aldape Alamillo

---

**Alfonso Aldape Alamillo** nació en el mineral de Santa Eulalia Chihuahua, hoy Aquiles Serdán, el 9 de agosto de 1940.

### Escolaridad.

- Fue en Parral donde cursó sus estudios de primaria y secundaria.
- **1963.-** Estudió la vocacional y la profesional de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico Regional de Chihuahua.
- **1967.-** Recibe el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Administrativa por parte de la Universidad de Missouri en Rolla USA.
- **1983.-** Es candidato a doctor por la Universidad de Nuevo México en Las Cruces, Nuevo México USA.
- **2002.-** Recibe el grado de Maestro en Administración con Mención Honorífica por parte de la Universidad Autónoma de Chihuahua Campus Juárez.
- **2003.-** Recibe el Grado de Doctor en Ciencias de Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Cd. Juárez.
- **2020.-** Nombrado Decano de la División de Estudios e Investigación del ITCJ.
- **2021.-** Nombrado como Candidato al Sistema Nacional de Investigadores (CONACyT).

### Prácticas Profesionales.

- Junta Estatal de Electrificación del Estado de Chihuahua y en, Aceros de Chihuahua SA. De CV.



### Trabajos en la Industria.

- Celulosa de Chihuahua, Essex Internacional, Rowe-Mex y en Admiral de Juárez.

### Trabajos en el Ámbito Educativo.

- Maestro en Escuela Secundaria, Maestro de las primeras generaciones del I.T.C.J.
- Desde el año 1966 impartió decenas de cursos en el I.T.C.J en diversos niveles: capacitación de obreros, bachillerato, técnicos, licenciatura y posgrado.
- Fue profesor invitado en el posgrado de la UACH en Cd. Juárez.

### Trabajos en Administración Educativa.

- En el I.T.C.J; Jefe del Departamento Administrativo, Jefe del Departamento Técnico, de la División de Estudios, Coordinador del Centro Regional

de Estudios de Graduados e Investigación y Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación.

### **Otras gestiones**

- Fue fundador del centro regional de estudios de graduados e investigación tecnológica (CREGIT), hoy División de Estudios de Posgrado e Investigación.
- Colaboró y diseñó varios de los programas de licenciatura y programas de posgrado.
- Organizador de varios congresos y simposiums, invitando a autores de renombre tales como Hamdy Taha, Benjamin W. Niebel, Jared Cohon, Juan Prawda Witenberg, Gerald J. Lieberman, Richard Schonberger entre otros.
- Fundador y líder de la red temática de investigación, Desarrollo Organizacional y Empresarial, que hoy en día cuenta con cuerpos académicos de México, Colombia y Brasil.
- Últimamente Profesor Investigador en el I.T.C.J siendo su área de interés lo relacionado con la Ingeniería Humana y Sistemas de Producción.

*“El Dr. Aldape fue un trabajador incansable y una inspiración para muchos profesionistas en las áreas de la investigación, la docencia y el desarrollo integral de individuos y organizaciones. Un ejemplo de decencia, calidad moral, entrega y pasión por el quehacer. Maestro, Líder y Amigo de muchos.”*

- Dr. Francisco Zorrilla Briones

*“Con gratitud y admiración para quien tocó mis sentimientos. Un honor haber coincidido en esta vida.”*

- M.C. Luz Elena Tarango Hernández

*“Una gran persona, muy inteligente y muy preparada, un gran mentor, una persona inspiradora y entregada a sus estudiantes y compañeros de trabajo con un muy peculiar sentido del humor.”*

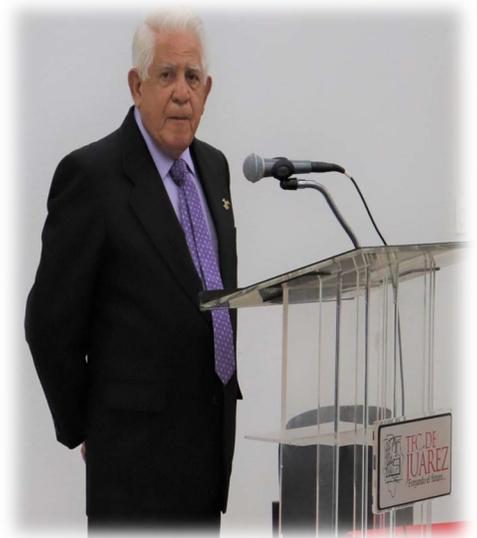
- Dr. Manuel Rodríguez Morachis.

*“Un hombre inteligente, generoso, bondadoso, humilde con un gran sentido del humor., en muchos sentidos, sanador e incondicional amigo.”*

- Dra. Luz Elena Terrazas Mata.

*“Tenía la grandeza en su corazón, noble y de gran sensibilidad, con el don de hacerte reír hasta las lágrimas, siempre presente en las buenas y en las malas, se preocupaba sinceramente por los demás, un gran ser humano gracias por coincidir con usted en esta vida.”*

- MIA Lizette Alvarado Tarango



**“EL ESFUERZO DEPENDE DE MI, LOS RESULTADOS NO”**

**Dr. Alfonso Aldape Alamillo.**

## Introducción

La actual globalidad internacional ha generado la necesidad de que las empresas desarrollen modelos para el mejoramiento del universo organizacional de los diferentes sectores productivos de bienes y servicios que cada vez más enfrentan la más fuerte y prolongada crisis financiera. La determinación de los factores que influyen para mejorar la eficiencia y eficacia de estos sectores se vuelve cada vez más exigente y los investigadores se involucran activamente en la mejora del desarrollo de la organización, el involucramiento con la comunidad y el cumplimiento de las obligaciones fiscales y gubernamentales en general.

Actualmente, los estándares internacionales, especialmente los relacionados con la calidad, como la ISO 9001:2015 y la IATF 16949, enfatizan la mejora de la eficiencia y la eficacia, utilizando el ciclo PHVA como filosofía fundamental. Estas normas se consideran un fuerte enfoque humanista, estableciendo una alta prioridad para el desarrollo organizacional y la satisfacción de los trabajadores.

Este trabajo tiene como objetivo brindar modelos y metodologías que puedan ser utilizados para resolver problemas específicos de empresas de bienes y servicios. Por tanto, se aborda el aspecto de gran importancia para las empresas, aspecto en el que están involucradas las grandes personas y que la mayoría de una u otra forma, tenemos lo que tenemos, estamos relacionados con una o varias empresas, y, el desarrollo de las organizaciones es primordial, y el desarrollo de las mismas provoca necesariamente cambios en la sociedad y en la cultura. Por lo tanto, el primer capítulo de nuestro libro incluye un modelo de desarrollo organizacional.

Regresando al aspecto normativo, el elemento 4 de la ISO 9001:2015 considera el enfoque al cliente y las partes interesadas pertinentes, y dentro de las partes interesadas pertinentes se encuentra la comunidad, razón por la cual, nuestro segundo Capítulo incluye el apoyo a las comunidades marginales por parte de una empresa del Norte de México, empresa certificada como Empresa Socialmente Responsable (RSE).

La logística y la cadena de suministros son parte de la columna vertebral de las empresas y gran parte de las decisiones tomadas son hechas bajo incertidumbre, ya sea la certificación de proveedores, elaborar un programa maestro de producción, considerando el manejo de la planeación del requerimiento de materiales, la política de inventarios, entre otros. De aquí que, se ha considerado un tercer Capítulo sobre la

determinación de los factores críticos para mejorar la eficacia de la cadena de la cadena de suministros, un interesante análisis realizado mediante ecuaciones estructurales utilizando el lenguaje R.

En el Capítulo 4 hemos incluido el paradigma de utilizar conocimiento específico de experiencias previas (estudio de casos), es decir, situaciones de un problema específico se resuelve cuando se encuentra un caso similar resuelto y se reutiliza en la situación del problema nuevo. Este novedoso procedimiento coadyuva al incremento del conocimiento de una manera sostenida, es decir, cada vez que resolvemos un problema guardamos la nueva experiencia, la cual podrá ser reutilizada posteriormente. segunda diferencia, no por ello menos importante, es un acercamiento al aprendizaje incremental, sostenido, ya que se guarda una experiencia nueva cada vez que se resuelve un problema, pasando a estar disponible para futuros problemas desde ese mismo momento.

El mantenimiento predictivo ha sido siempre una intención de las personas involucradas en el mantenimiento, razón por la cual hemos considerado la inclusión del Capítulo 5, en el cual se analiza la degradación de una herramienta típica de desgaste y su relación directa con la variable de respuesta, en este caso, una resistencia al jalón de partes soldadas. La disminución del valor de respuesta determina la necesidad del cambio de la herramienta, y al mismo tiempo se determina la distribución de vida de la misma.

Las ecuaciones estructurales se han convertido en una poderosa herramienta para establecer relaciones entre variables observables (medibles) y variables no observables (latentes), y, para determinar estas relaciones se utilizan diferentes técnicas de análisis multivariable como componentes principales, análisis factorial exploratorio y el análisis factorial confirmatorio. El capítulo 6 incluye un análisis de la relación entre la inteligencia competitiva y la capacidad de innovación de empresas en la región de Coahuila, México.

Uno de los graves problemas de salud del personal femenino de la industria en el país, y específicamente en la industria ensambladora en el norte de México, lo ha sido el Cáncer Cérvico Uterino, y su precursor de inicio, el virus del papiloma humano (VPH). El Capítulo 7 incluye un trabajo de investigación para determinar los factores significantes para la adquisición del VPH, con el análisis de datos de los diferentes centros de salud de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

La optimización de los productos y los servicios requiere, generalmente algoritmos de búsqueda y ordenación. La metodología de superficies de respuesta es una excelente metodología para lograrlo. Sin embargo, existen algoritmos que resulta de establecer

contrastes entre la metodología de superficies de respuesta y un algoritmo de búsqueda directa, el cual se muestra en el Capítulo 8.

# **Construcción de modelo para determinar factores significantes en la adquisición del virus del papiloma humano (VPH)**

**Construction of a model to determine significant factors in the acquisition of the Human Papillomavirus (HPV)**

**Manuel Arnoldo Rodríguez Medina**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

manuel.rm1@cdjuarez.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8922-4718>

**Alejandra Flores Sánchez**

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

alejandra.flores@uacj.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2002-1330>

**Eduardo Rafael Poblano Ojinaga**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

eduardo.po@cdjuarez.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3482-7252>

## **Resumen**

Este documento explora el conocimiento sobre cómo desarrollar un modelo para determinar la confiabilidad del diagnóstico del virus del papiloma humano (VPH) mediante inferencia bayesiana con el fin de revelar los factores significativos que vuelven vulnerables a la población femenina (objeto de estudio en la investigación). Lo anterior debido a que se han desarrollado diversos estudios para determinar cómo erradicarlo, pero no el cómo evitar el problema o eliminarlo desde la raíz, ya que no se tienen identificadas con exactitud las variables que originan dicho virus. El primer objetivo del proyecto fue la obtención de la información, de tal manera que fuese suficientemente eficaz y confiable. Esto se logró mediante una campaña de concientización en mujeres. La información requerida se obtuvo aplicando una encuesta a las pacientes que acudieron al centro de análisis sobre la presencia del VPH. Luego se clasificaron como saludables las que no tenían el virus y no saludables las que lo habían adquirido. Después se aplicaron herramientas estadísticas pertinentes: primero la descriptiva y posteriormente el teorema de Bayes. La importancia del estudio radica en que se identificaron

aquellas variables que pueden ayudar a prevenir y disminuir la incidencia de VPH en las mujeres, principal causa del cáncer cervicouterino (CaCu) a nivel mundial. Finalmente, se generó un modelo para determinar la confiabilidad del diagnóstico del VPH mediante inferencia bayesiana, clave para demostrar que con inferencia bayesiana es posible predecir con base en evidencia existente. Probablemente, lo más convincente debe ser que ofrece una manera atractiva e intuitiva, pero metodológicamente rigurosa, de actualizar nuestro conocimiento sobre el tema. Además, es importante aclarar que no es lo sofisticado de algunos equipos lo que justifica la presencia de profesionales de las ciencias exactas en la medicina, sino la diversidad de tecnologías, su utilización, los estudios de costo-beneficio, y la confiabilidad del diagnóstico y tratamiento en las diversas enfermedades que aquejan al ser humano, esto con el fin de lograr el bienestar del hombre. La investigación sustenta, entre otras implicaciones, la necesidad de aplicar inferencia bayesiana para desarrollar, implementar y evaluar otras áreas.

**Palabras clave:** estadística bayesiana, virus del papiloma humano, confiabilidad, salud pública.

## **Abstract**

*This document explores the knowledge on how to develop a model to determine the reliability of the diagnosis of the Human Papilloma Virus (HPV) through Bayesian inference, an inference that reveals the significant factors that make the female population vulnerable, which were the object of study in the research; This is due to the fact that several studies have been carried out to determine how to eradicate it, but not how to avoid the problem or eliminate it from the root, since the variables that cause said virus have not been exactly identified. The first objective of the project was to obtain the information, in such a way that it would be sufficiently effective and reliable. This was achieved through an awareness campaign in women, considering that it is the part of the population most affected by HPV. The required information was obtained by applying a survey to the patients who attended the analysis center on the presence of HPV. Immediately, those who did not have the virus were classified as healthy and those who had acquired it were classified as unhealthy. After the classification, relevant statistical tools were applied, starting with the descriptive one, and later the application of Bayes' Theorem, and, of course, the use of Bayesian inference. The importance of the study lies in the identification of those variables that can help prevent and reduce the incidence of HPV in women, since it is the main cause of Cervical Cancer (CACU)*

*worldwide. Finally, a model was generated to determine the reliability of HPV diagnosis through Bayesian inference, key to demonstrate that with Bayesian inference it is possible to predict based on existing evidence. Probably most convincing is that it offers an attractive and intuitive, yet methodologically rigorous way to update our knowledge on the subject. In addition, it is important to clarify that it is not the sophistication of some equipment that justifies the presence of exact science professionals in medicine, but rather the diversity of technologies, their use, cost-benefit studies, and the reliability of diagnosis and treatment. treatment in the various diseases that afflict the human being, this to achieve the well-being of man. The research supports, among other implications, the need to apply Bayesian inference to develop, implement and evaluate other areas.*

**Keywords:** *Bayesian Statistics, Human Papilloma Virus, Reliability, Public Health.*

## **1. Introducción**

En esta sección se explicarán las condiciones en las que se encuentra la mujer en Ciudad Juárez en lo que respecta al virus del papiloma humano (VPH), así como los antecedentes, el planteamiento del problema, el marco teórico, los materiales, los métodos y la bibliográfica revisada hasta el momento con el fin de tener una visión más amplia del caso.

El VPH como causa de cáncer de cuello de útero ocupa el cuarto lugar entre los tipos más comunes de cáncer (a nivel mundial) que afectan a mujeres con un número estimado de 266 000 muertes y unos 528 000 nuevos casos en 2012. La gran mayoría (alrededor de 85 %) de esas muertes se produjeron en las regiones menos desarrolladas, donde se registra casi 12 % de todos los cánceres femeninos.

Aunque muchas de las infecciones por VPH no causan síntomas, la infección genital persistente por VPH puede provocar cáncer de cuello uterino en las mujeres. De hecho, el VPH también puede ocasionar otros tipos de cáncer ano-genital, cáncer de cabeza, cuello y verrugas genitales tanto en hombres como en mujeres. Las infecciones por VPH se transmiten a través del contacto sexual; sin embargo, existen factores asociados que ayudan a que las mujeres sean más susceptibles a contraer el VPH.

## 2. Planteamiento del problema

### 2.1 Antecedentes

El VPH es la causa del cáncer de cuello del útero, el cual ocupa el cuarto lugar entre los tipos más comunes de cáncer que afectan a mujeres. Prácticamente todos los casos de esta enfermedad (99 %) están vinculados con la infección genital por el VPH, una de las más comunes del aparato reproductor.

La prevalencia más alta de VPH oncogénico de alto riesgo son los tipos 16, 18, 31, 33, 35, 45, 51, 52, 58, 59, que se encuentran en África y América Latina. El VPH 16 es el más común en el mundo, excepto en Indonesia y Argelia, donde el VPH 18 es el más habitual, mientras que el VPH 45 tiene una alta frecuencia en África Occidental. Los tipos 33, 39 y 59 se concentran en América Central y en América Sur (Rivera *et al.*, 2012).

En México, el cáncer cervicouterino (CaCu) es el más frecuente y cobra 12 víctimas al día. El Centro Nacional de Equidad de Género y Salud Reproductiva (2007) estima que anualmente se diagnostican 22 000 nuevos casos y determina que 50 % de las personas sexualmente activas serán infectadas tarde o temprano por el VPH, lo que conlleva en su gran mayoría a padecer CaCu.

En el caso específico de Ciudad Juárez, confluyen factores que dinamizan la movilidad poblacional, lo que, por una parte, activa la inmigración de connacionales y extranjeros de diferentes regiones nacionales y de otras latitudes del extranjero y, por otra, se produce el fenómeno social de la emigración que genera el movimiento y tráfico de seres humanos hacia Estados Unidos.

Es importante indicar que Ciudad Juárez es la segunda localidad con mayor número de casos de VPH, al detectarse 312 mujeres infectadas de 654 922 —según el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI] (2007)—, mientras que la ciudad de Chihuahua encabeza el listado con un total 649 y Guachochi ocupa el tercer lugar con 92 infectadas.

Flores-Sánchez (2006), en una aplicación de herramientas de ingeniería (Mahalanobis-Taguchi) para identificar los factores de riesgo del VPH, encontró que de 35 variables analizadas en 400 pacientes del Hospital de la Familia en Ciudad Juárez, Chihuahua, en el área de colposcopia, solo resultaron significativas las siguientes: primer periodo menstrual, si el compañero está circuncidado o no; número de embarazos, si la mujer inicia su vida sexual entre los 12 y 13 años, es más propensa a adquirir el virus; si el compañero no está circuncidado, aumenta la probabilidad de adquirirlo, y entre menor sea el número de embarazos mayor es la probabilidad de adquirir el virus.

## **2.2 Descripción del problema**

El problema de investigación considerado es un tema de interés social debido a que el género femenino es el más afectado por este padecimiento; además, los procesos de detección en ocasiones son tardíos y no se le da la importancia requerida.

## **2.3 Pregunta de investigación**

¿Qué factores serían significantes en un sistema modelado mediante análisis bayesiano que explique la evolución del VPH?

## **2.4 Hipótesis y variables de investigación**

H1. Los factores significativos en las pacientes con VPH son edad, peso, estatura, primer periodo menstrual, inicio de vida sexual, compañeros sexuales, compañeros circuncidados, duración de periodo menstrual, embarazos, estatus socioeconómico y vida clínica. Con el análisis bayesiano se puede desarrollar un sistema que modele la extensión del virus.

## **2.5 Objetivos**

1. Desarrollar un modelo para determinar el diagnóstico del VPH mediante inferencia bayesiana.
2. Determinar si la edad, peso, estatura, primer periodo menstrual, inicio de vida sexual, compañeros sexuales, compañeros circuncidados, duración de periodo menstrual, embarazos, estatus socioeconómico y vida clínica son factores de riesgo que determinan un patrón de comportamiento para contraer el VPH y si la inferencia bayesiana es un buen método para la creación de un modelo de comportamiento.

## **3. Marco teórico**

En este apartado se muestra la literatura encontrada hasta el momento referente a diversas metodologías de análisis e investigación del tema de interés.

### **3.1 VPH y cáncer cervicouterino (CaCu)**

Muñoz *et al.* (1993) determinaron que el carcinoma invasor del cuello uterino y sus precursores son causados la mayor parte de las veces por el VPH. Para ello, realizaron cuatro estudios concurrentes de casos y controles: dos de ellos incluyeron casos de

carcinoma invasor y controles de base poblacional, y otros dos incluyeron casos y controles de carcinoma *in situ*. Con este estudio se dieron cuenta de que la exposición al VPH fue el factor de riesgo principal en los cuatro estudios. En la tabla 3.1 se pueden observar los porcentajes de casos y controles positivos al VPH y los riesgos relativos (RR) de la asociación entre VPH y el CaCu en España y Colombia (1985-1988).

**Tabla 3.1.** Porcentajes de casos y controles positivos al VPH

|                                    | España            |           |              | Colombia          |           |            |
|------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|-----------|------------|
|                                    | VPH positivos (%) |           | RR           | VPH positivos (%) |           | RR         |
| Tipo de cáncer                     | Casos             | Controles | (IC 95%)     | Casos             | Controles | (IC 95%)   |
| Cáncer invasor <sup>b</sup>        | 69                | 4.6       | 46.2         | 72.4              | 13.3      | 15.6       |
|                                    |                   |           | (18.5-115.1) |                   |           | (6.9-34.7) |
| Cáncer <i>in situ</i> <sup>c</sup> | 70.7              | 4.7       | 56.9         | 63.2              | 10.5      | 15.5       |
|                                    |                   |           | (24.8-130.6) |                   |           | (8.2-29.4) |

<sup>b</sup> Riesgo relativo ajustado según la edad, lugar de estudio, número de compañeros sexuales, edad del primer nacimiento, grado de escolaridad y PAP de tamizaje.

<sup>c</sup> Riesgo relativo ajustado según la edad, lugar de estudio, número de compañeros sexuales, edad en el primer coito y número de compañeros sexuales del marido. VPH = virus del papiloma humano.

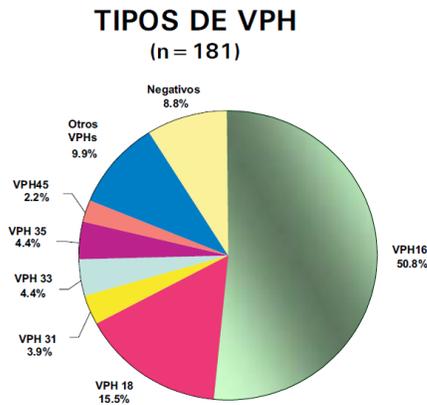
IC 95 % = Intervalo de confianza de 95 %.

Serman (2002) encontró una fuerte asociación entre la infección ano-genital por VPH y el desarrollo de neoplasia intraepitelial cervical y cáncer cervical invasivo. Asimismo, En 2006, frotis de cuello uterino, se descubrió que el ADN del virus del VPH 16 era altamente oncogénico en 47 % de las neoplasias intraepiteliales de alto grado (NIE) y en 47 % de los cánceres de cuello uterino invasivos. En un estudio prospectivo en más de 18 000 mujeres se halló, utilizando técnicas de inmunología molecular, que la presencia de anticuerpos contra el VPH16 confiere un riesgo 12 veces mayor que el resto de la población de desarrollar CaCu o carcinoma *in situ*. Asimismo, se halló que el riesgo es mayor para las neoplasias que se desarrollan 5 años o más después de tomar una muestra de sangre para el estudio de anticuerpos, lo que apoya firmemente el concepto de que la infección persistente por HPV16 (y probablemente cualquier HPV oncogénico) está incidentalmente implicada en la etiología del cáncer de cuello uterino.

Berumen-Campos (2003) describe la alta frecuencia del VPH 16 (figura 3.1 *Tipos de VPH*) y sus variantes de virus asiático-americano en México son más oncogénicas que las europeas. El 23 % de los CaCu son ocasionados por el VPH. Lo anterior lo

descubrieron realizando una hibridación de ácidos nucleicos (identificación de bandas de ADN) en muestras de pacientes.

**Figura 3.1.** Tipos de VPH



Flores *et al.* (2015) mencionan que la infección por VPH es el principal factor asociado al desarrollo de CaCu. Conocer la prevalencia de los distintos VPH en las diferentes etapas del desarrollo de CaCu es relevante para determinar los VPH de riesgo oncogénico, establecer el desarrollo de estrategias de cribado y la evaluación de programas de prevención, así como para el diseño de vacunas.

### 3.2 Factores del VPH

Zamudio *et al.* (2001) realizaron un estudio donde compararon la eficacia de la citología y colposcopia en el diagnóstico de las lesiones cervicales del VPH; los autores querían determinar la sensibilidad y especificidad del PAP en una clínica de displasias, así mismo de la colposcopia y relacionar ambos hallazgos con el diagnóstico definitivo (histopatológico), así como conocer los factores de riesgo de mayor prevalencia en la población de estudio. Los resultados (tabla 3.12) que se obtuvieron fue que la colposcopia tiene una sensibilidad de 83 % contra el 41 % del PAP y una especificidad de 66 % menor que 86% del frotis. Los factores de riesgo (tabla 3.13) hallados coinciden con los informados en el resto del mundo: número de parejas sexuales, multiparidad e iniciación temprana en la vida sexual.

**Tabla 3.12** Sensibilidad y especificidad en los métodos de diagnóstico

|                      | Colposcopia | Papanicolau |
|----------------------|-------------|-------------|
| <b>Sensibilidad</b>  | 83 %        | 41 %        |
| <b>Especificidad</b> | 66 %        | 86 %        |

**Tabla 3.13** Factores de riesgo

|                                  | <b>Grupo I</b> | <b>Grupo II</b> |
|----------------------------------|----------------|-----------------|
| <b>N.º de parejas sexuales</b>   | 41.90 %        | 25 %            |
| <b>Tabaquismo</b>                | 40.30 %        | 33.80 %         |
| <b>Multiparidad</b>              | 37.60 %        | 32.30 %         |
| <b>IVSA antes de los 19 años</b> | 27.60 %        | 22 %            |
| <b>Anticonceptivos orales</b>    | 22.60 %        | 10.50 %         |
| <b>Inmunosupresión</b>           | 4.20 %         | 1.40 %          |

Stanczuk *et al.* (2003) realizaron un estudio sobre la posibilidad de detectar el VPH mediante una prueba de orina. Hoy en día se sabe que la mayoría de los cánceres de cuello uterino invasivos están asociados con la presencia crónica del VPH en el cuello uterino, en particular ciertas variedades con propiedades oncogénicas, como los tipos 16 y 18. En los países en desarrollo, sin embargo, sigue siendo un desafío garantizar que las mujeres, especialmente en las zonas rurales, se someten a exámenes pélvicos periódicos para obtener un frotis cervical, a través del cual se obtiene el material necesario para la detección de virus y CaCu.

La falta de acceso a los servicios de salud, la escasez de recursos humanos y de laboratorio, el miedo de las mujeres a los exámenes ginecológicos y el desconocimiento de la utilidad de la prueba son algunos de los factores que explican la poca frecuencia con la que se realizan frotis de cuello uterino en determinadas partes del mundo en desarrollo. Sería ideal encontrar otro medio de detección viral que sea más fácil de aplicar, menos engorroso y que no requiera de personal capacitado ni de instrumentos especiales para obtener la muestra. Gracias a un estudio realizado en Zimbabue por investigadores de la Universidad de Harare, tal prueba pronto se hará realidad.

### **3.3 Estadística bayesiana en medicina: 25 años de revisión**

Ashby *et al.* (1993) examinaron el estado del pensamiento bayesiano cuando se lanzó *Statistics in Medicine* en 1982, lo que refleja particularmente su aplicabilidad y usos en la investigación médica. Luego analizaron cada época subsiguiente de cinco años, con un enfoque en los artículos que aparecen en *Statistics in Medicine*, poniéndolos en el contexto de los principales desarrollos en el pensamiento bayesiano y la computación con referencia a libros importantes, reuniones históricas y diversos documentos. Así, trazaron el crecimiento de las estadísticas bayesianas a medida que se aplica a la medicina y formuló predicciones para el futuro.

A partir de escasos comienzos, donde apenas se mencionaban las estadísticas bayesianas, ahora impregnan todas las áreas principales de las estadísticas médicas, incluidos ensayos clínicos, epidemiología, meta análisis y síntesis de pruebas, modelado espacial, modelado longitudinal, modelos de supervivencia, genética molecular y decisión del qué hacer respecto de las nuevas tecnologías.

Por toda la investigación que se realizó en este artículo, Ashby *et al.* (1993) predicen que las tendencias de la investigación sugieren que Bayes será utilizado cada vez más por aquellos que no se clasifican a sí mismos como estadísticos, así como aquellos que sí lo hacen, ya que será utilizado en áreas más nuevas y de rápido desarrollo, donde se requiere flexibilidad e innovación.

### 3.8 Modelado estadístico

Para hablar de modelo lineal generalizado debemos explicar antes el modelado estadístico, que se refiere a la estimación de parámetros, así como la comparación y ajuste de modelos de probabilidad de datos empíricos. Este modelo pretende explicar la variación de una respuesta a partir de la relación conjunta de dos fuentes de variabilidad: una de carácter determinista y la otra aleatoria, lo que responde a la ecuación (3.1).

$$\text{Respuesta} = \text{componente sistemático} + \text{componente aleatorio} \quad (3.1)$$

La construcción, formulación y ajuste de modelos a datos empíricos se encarga del modelado estadístico precisamente, debiendo responder a tres criterios:

- a. Principio de bondad de ajuste: La inclusión de parámetros en el *modelo* en beneficio de una mejor representación de *datos* con la correspondiente disminución del *error*.
- b. Principio de parsimonia: La selección de parámetros que formen el modelo de tal modo que este se convierta en la representación simple y sobria de la realidad.
- c. Integración teórica del modelo en la red conceptual que lo generó.

Una construcción de modelo que explique la variable de respuesta con el menor error posible se realiza basándose en las siguientes etapas:

1. Especificación del modelo teórico: Determina qué variables son de interés, así como cuáles son las relaciones entre ellas.
2. Estimación de parámetros: Calcula el valor de los coeficientes del modelo examinado a partir de un conjunto de datos observados.

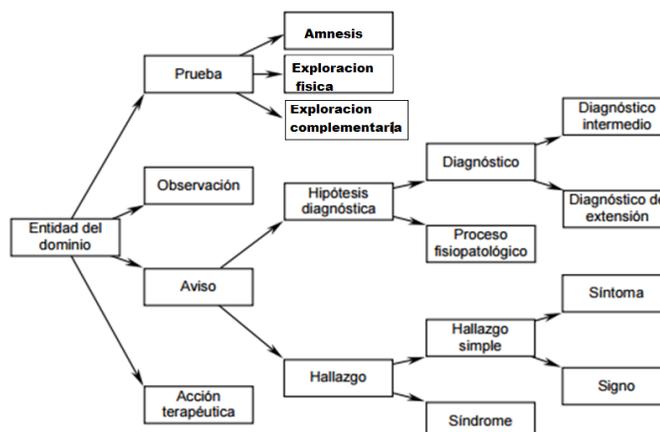
3. Selección del modelo: Valora si el nivel de discrepancia entre lo observado y lo ajustado es suficientemente bajo como para optar por el modelo o rechazarlo.
4. Evaluación del modelo: Se examinan las observaciones individuales, los datos influyentes y los anómalos; asimismo, se comprueban los supuestos de normalidad, linealidad, homocedasticidad e independencia.
5. Interpretación del modelo: Explicación detallada de los parámetros del modelo para comprobar si cumplen los criterios estadístico, lógico y sustantivo.
6. Se acepta o no el modelo, y si es preciso se reinicia el proceso.

## 4. Metodología

La metodología que se propone desarrollar en esta investigación se muestra en la figura 4.1, en donde se inicia con una entidad del dominio, la cual es la institución hospitalaria en la que se realizó la investigación. Una vez en el área de displacia, se realiza la recolección de historia clínica de la paciente con un objetivo diagnóstico al que se denomina Amnesis, luego se efectúa la colposcopia, que sería la exploración física, y posteriormente se hace la exploración complementaria llevando a patología la muestra que se toma en la exploración física.

Se registran las observaciones y se procede al aviso donde puede ocurrir una hipótesis diagnóstica o un hallazgo.

Figura 4.1 Metodología propuesta



#### **4.1 VPH (*Haemophilus ducrevi*)**

La inoculación del virus ocurre por microtraumatismo de los epitelios genitales, masculinos o femeninos, durante el coito con una persona infectada.

El virus penetra a las células de la capa germinativa del epitelio, es decir, a la que da origen al resto de las células que componen el espesor del epitelio cervical y comienzan un proceso de replicación viral. El periodo de incubación del virus varía de 8 semanas a 8 meses, durante los cuales se colonizan grandes extensiones del epitelio genital hasta alcanzar un periodo de infección estable que puede permanecer latente hasta 25 años.

#### **4.2 Vigilancia epidemiológica**

Acción de observar, recolectar y analizar sistemáticamente información sobre eventos relacionados con la salud, que permite el conocimiento oportuno y objetivo de los principales problemas de salud y sus factores de riesgo asociados. Es importante realizar pruebas de diagnóstico para la detección oportuna del VPH debido a los beneficios que proporcionan.

#### **4.3 PAP**

Es el tamizaje o método que permite realizar un diagnóstico citológico de probable lesión cervical, aunque cualquier hallazgo debe ser confirmado mediante un estudio colposcopio y biopsia dirigida.

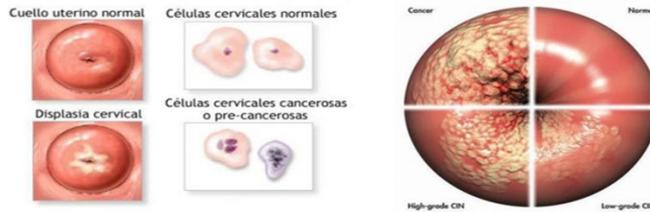
#### **4.4 Colposcopia**

La colposcopia se realiza por medio de un microscopio especial llamado *colposcopio*. A través de él se consigue ver el cuello del útero al final de la vagina de forma muy ampliada.

Durante la prueba la mujer se acuesta boca arriba en una camilla especial con las piernas separadas. Se introduce un espejo para separar las paredes vaginales. El médico observa el cuello del útero y tiñe su superficie con distintos líquidos, como el ácido acético, para resaltar zonas en las que puede haber células anormales. Estas regiones sospechosas se pueden tomar para estudiarlas posteriormente en una biopsia o, en ocasiones, se pueden eliminar en su totalidad.

Es importante explicar a la paciente el resultado preliminar del estudio. En la figura 4.2 se observan algunos diagnósticos que se pueden encontrar y en la tabla 4.1 se muestra la correlación de las clasificaciones según el método de diagnóstico que se utiliza.

**Figura 4.2** Resultados en una colposcopia



**Tabla 4.1** Correlación de las clasificaciones para las lesiones preinvasoras y el cáncer *in situ* del cérvix

vix

| Sistema Bethesda | Normal           |                       | Lesiones intraepiteliales Escamosas de bajo grado |       | Lesiones intraepiteliales Escamosas de alto grado |                                          |
|------------------|------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                  | Richard          | Reagan                | Coilocitosis                                      | NIC I | NIC II                                            | NIC III                                  |
|                  |                  |                       | Displasia leve                                    |       | Displasia moderada                                | Displasia severa y cáncer <i>in situ</i> |
| PAP              | Clase I Negativo | Clase II Inflamatorio | Clase III Sospechoso                              |       |                                                   | Clase IV Altamente sospechoso            |

#### 4.5 Seguimiento

Una vez realizado el procedimiento terapéutico, la mujer debe acudir dos semanas después para constatar que la lesión fue removida y que los procesos de cicatrización progresan sin complicación. Posteriormente, se realizan estudios citológicos y colposcópicos cada 3 meses durante el primer año; de no existir ninguna lesión, continuará seguimiento cada 6 meses durante el segundo y tercer año; posteriormente se realizará seguimiento cada año.

#### 4.6 Resultados preliminares

En esta sección se presenta una parte de los resultados obtenidos con las aplicaciones de los métodos a la información.

##### 4.6.1 Análisis por teorema de Bayes

En la actualidad, el teorema de Bayes tiene un gran impacto en la inferencia estadística, así como en sus diversas aplicaciones en muchas ramas de la ciencia, como genética, epidemiología, ingeniería, ciencia forense, medicina, ecología, psicología, entre otras. El teorema de Bayes es ahora una de las piedras fundamentales del trabajo estadístico.

Sean  $B_1, B_2, \dots, B_k$  eventos mutuamente excluyentes y exhaustivos. Para cualquier evento  $A$  se tiene.

Teorema 1. Teorema de Bayes

$$P(B_i|A) = \frac{P(B_i \cap A)}{P(A)} = \frac{P(A|B_i)P(B_i)}{\sum_{i=1}^k P(A|B_i)P(B_i)}$$

Teorema 4.1. Teorema de Bayes para variables aleatorias. Sean  $X$  y  $\theta$  variables aleatorias con fdp  $f(x|\theta)$  y  $\mathcal{E}(\theta)$

$$\mathcal{E}(\theta|x) = \frac{f(x|\theta)\mathcal{E}(\theta)}{\int_{\theta} f(x|\theta)\mathcal{E}(\theta)d\theta}$$

Dentro del ensayo bayesiano se tiene que:

$x$ : Datos (escalar o vector o matriz)

$\theta$ : Parámetro desconocido (escalar o vector o matriz)

$f(x_1, \dots, x_n|\theta)$  verosimilitud de los datos dado el parámetro (desconocido)  $\theta$

$\mathcal{E}(\theta)$  : Distribución a priori de  $\theta$

Por el teorema anterior:

$$\mathcal{E}(\theta|x_1, \dots, x_n) = \frac{f(x_1, \dots, x_n|\theta)\mathcal{E}(\theta)}{\int_{\theta} f(x_1, \dots, x_n|\theta)\mathcal{E}(\theta)d\theta}$$

El aprendizaje bayesiano será:

$$\mathcal{E}(\theta|x_1) \propto f(x_1|\theta) \mathcal{E}(\theta)$$

$$\mathcal{E}(\theta|x_1, x_2) \propto f(x_2|\theta)f(x_1|\theta) \mathcal{E}(\theta) \propto f(x_2|\theta) \mathcal{E}(\theta|x_1)$$

Por lo tanto, el teorema de Bayes muestra cómo el conocimiento acerca del estado de la naturaleza representada por  $\theta$  es continuamente modificada a medida que nuevos datos son adquiridos (Correa y Barrera, 2018).

Con la aplicación del teorema de Bayes, el conjunto inicial serán los pacientes que acuden a un hospital de Ciudad Juárez y estos se clasificaran en dos tipos: padecer el virus VPH y no padecerlo (NO VPH). Está claro que no tienen elementos comunes (no puede haber nadie que padezca y no padezca la enfermedad a la vez) y que si conjuntamos todos los que padecen dicho virus con los que no lo padecen, obtenemos el conjunto de la población.

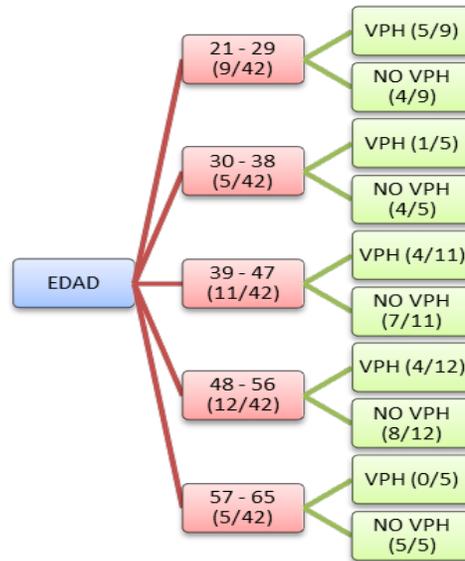
Enseguida, basándose en una entrevista (de 17 preguntas) a las pacientes antes de realizar la prueba de colposcopia, se estableció, *a priori*, que 67 % de las pacientes estaban sanas y 33 % eran portadoras del virus.

A continuación, se muestra un ejemplo de los resultados por variable, el árbol de probabilidades y los cálculos con el teorema de Bayes que se aplicó (tabla 4.2 y figura 4.3).

**Tabla 4.2** Frecuencia de acuerdo con la edad

| EDAD    | NO VPH | VPH | TOTAL |
|---------|--------|-----|-------|
| 21 – 29 | 4      | 5   | 9     |
| 30 – 38 | 4      | 1   | 5     |
| 39 – 47 | 7      | 4   | 11    |
| 48 – 56 | 8      | 4   | 12    |
| 57 – 65 | 5      | 0   | 5     |
|         | 28     | 14  | 42    |

**Figura 4.3** Árbol de probabilidad de la variable edad



#### 4.6.2 Hipótesis, verosimilitud y probabilidad *a priori*

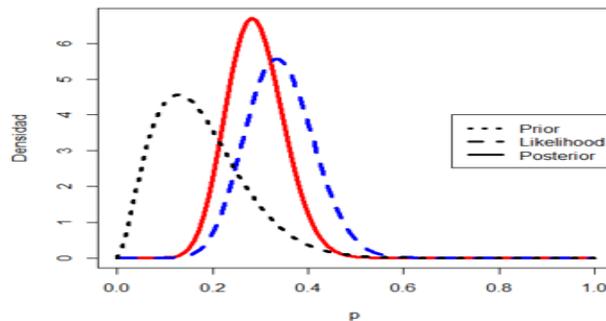
Verosimilitud y probabilidad a posteriori. La fórmula de Bayes es una herramienta matemática que permite utilizar los datos para actualizar las probabilidades del modelo de forma rigurosa y sistemática. La verosimilitud asociada a un modelo es la probabilidad de que sucedan los datos observados bajo las hipótesis del modelo.

La fórmula de Bayes combina la probabilidad *a priori* con la verosimilitud para establecer la probabilidad *a posteriori*. Esta probabilidad solo está disponible después de que los datos hayan sido observados. Lo anterior lo podemos observar en la figura 4.4 y 4.5 donde se muestran los comandos y el gráfico de ellos en el programa R® que se utilizó para el análisis.

**Figura 4.4** Programa en R® para determinar verosimilitud *a priori* y *a posteriori*

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre> EDAD en R library(LearnBayes) library(RcmdrMisc) #Estimación proporciones #obtener la prior a partir de dos cuantiles #(50pcenti,90pcentil en #el ejemplo. Se puede #cambiar) la función beta.select da como #resultado #los valores de a y b de la d.beta ( d.a priori) quantile1=list(p=.5,x=0.40) quantile2=list(p=.9,x=0.89) param_beta&lt;-beta.select(quantile1,quan- tile2) a=param_beta[1] b=param_beta[2] parámetros.d.beta&lt;-list(param_beta) parámetros.d.beta #dibujo de la distribución a priori .x &lt;- seq(0.023, 0.66, length.out=1000) </pre> | <pre> plotDistr(.x, dbeta(.x, shape1=a, shape2=b), cdf=FALSE, xlab="p", ylab="Densidad") main=paste("D. a priori beta" ) remove(.x) #muestra  exitos&lt;-8  fallos&lt;-15 #plot_verosimilitud .x &lt;- seq(0.023, 0.66, length.out=1000) plotDistr(.x,dbinom(exitos,size=exitos+ fallos,prob=.x),xlab="valor de p",ylab="verosimilitud",main=paste ("verosimilitud")) remove(.x) #Posterior aa=a+exitos bb=b+fallos ppost&lt;-c(aa,bb) ppost posterior&lt;-list("beta",ppost) posterior #estimacion supuesta pérdida cuadrática estima&lt;-aa/(aa+bb) estimacion&lt;- </pre> | <pre> print(c("estimacion supuesta pérdida cuadrática",estima)) #dibujo la d.posterior .x &lt;- seq(0.023, 0.66, length.out=1000) plotDistr(.x, dbeta(.x, shape1=aa, shape2=bb), cdf=FALSE, xlab="p", ylab="Density", main=paste(c("D. a posteri- ori", posterior) )) remove(.x) #triplot: Plot de prior, veros. y posterior prior=c(a,b) # proporción tiene una prior beta(a, b) data=c(exitos,fallos) # se observan exitos y fa- llos triplot(prior,data) </pre> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Figura 4.5** Grafica de densidad *a priori*, verosimilitud *a posteriori*



### 4.7 Caso de estudio

De acuerdo con la estimación de la proporción que se ha realizado por medio del teorema de Bayes, se estima que 33 % de las mujeres tamizadas (las que se realizan la prueba del VPH) serán positivas al VPH. Con esta información realizamos la estimación de los cuantiles para determinar los parámetros de la distribución beta.

Se puede calcular la proporción de que las pacientes no saludables sea mayor a 0.5. La figura 4.6 muestra cómo realizarlo en R®:

**Figura 4.6** Cálculo de la proporción mayor a 0.5

```

La probabilidad  $P = (p > 0.5 | \text{datos})$ 
1-pbeta (0.5,a+s, b+ f)
0.0005133649

```

### 4.7.1 Aplicación de regresión logística

Como aplicación de regresión logística en el entorno bayesiano, analizamos los factores que afectan a pacientes con VPH. La variable de resultado es si el paciente es saludable o no saludable, codificado como 0 o 1, y las variables de edad, peso, estatura, primer periodo menstrual, inicio de vida sexual, número de compañeros sexuales, edad del compañero sexual, días de sangrado, número de embarazos, cesáreas, partos, abortos, número de horas que duerme, días de la semana que consume maíz en sus diferentes presentaciones, número de días que consume carnes rojas, número de días que consume harinas, número de días que realiza actividad física, mediciones en el análisis de hemoglobina: leucositos, eritrositos, hemoglobina, ematrocitos, MCV, MCH, MCHC, RDW, plaquetas, MPV, neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos, basófilos, neutrofilos AVS, linfocitos AVS, monofositos AVS, eosinófilos AVS, tipo de sangre, glucosa en ayuno. Mediciones en el análisis de orina donde se obtuvieron urea, creatinina sérica, ácido úrico, densidad, PH y células epiteliales.

**Figura 4.7** Especificando el modelo en R<sup>®</sup>

```
"model {
  for( i in 1 : N ) {
    Condicion[i] ~ dbern(mu[i])
    mu[i] <- 1 / (1 + exp(-(b0 + b1*Edad[i] + b2*Peso[i] + b3*Estatura[i] + b4*PPM[i] + b5*IVS[i]
    + b6*CS[i] + b7*Edad CA + b8*Dias sangrado[i] + b9*Embarazos[i] + b10*Cesareas[i] +
    b11*Partos[i] + b12*Abortos[i] + b13*duerme[i] + b14*Consume maiz + b15*Carnes ro-
    jas[i] + b16*Harinas[i] + b17*act.Fisica[i])))
  }
  b0 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b1 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b2 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b3 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b4 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b5 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b6 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b7 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b8 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b9 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b10 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b11 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b12 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b13 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b14 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b15 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b16 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
  b17 ~ dnorm( 0 , 1.0E-12 )
}, file="logistic.jag")
```

Comenzamos especificando un modelo. El proceso es similar al de un modelo lineal. Establecimos un ciclo sobre cada observación, pero aquí especificamos la probabilidad como un resultado distribuido por Bernoulli (en lugar de distribuido normalmente) con el parámetro  $\mu$  definido explícitamente como un modelo logístico. Después de especificar la probabilidad, especificamos distribuciones previas para los coeficientes  $\beta$ . Aquí solo aplicamos distribuciones normales vagamente informativas para permitir que los datos hablen por sí mismos; esto se observa en la figura 4.7. Después cargamos el conjunto de datos y definimos la estructura de datos para la ejecución de JAGS®. Se debe tener en cuenta que estamos incluyendo el número de filas para la variable N en nuestra declaración de modelo.

Primero es necesario cargar los datos en el programa R® y verificar si se cargaron para después declarar listas y poder iniciar a trabajar con ellos. En la figura 4.8 se muestran las instrucciones de cómo realizarlo en el programa R®:

**Figura 4.8** Comandos para cargar datos en R®

```
#Cargamos los datos
Datos=read.delim("clipboard",header=T,stringsAsFactors=F)
#Los verificamos
attach(Datos)
```

| X0 | Edad | Peso | Estatura | PPM | IVS | CS | Edadca | sangrado | Embarazos | Cesareas |
|----|------|------|----------|-----|-----|----|--------|----------|-----------|----------|
| 0  | 22   | 46   | 1.74     | 13  | 16  | 5  | 24     | 7        | 1         | 0        |
| 0  | 57   | 82   | 1.56     | 12  | 28  | 1  | 55     | 0        | 0         | 0        |
| 0  | 33   | 74   | 1.64     | 13  | 23  | 2  | 33     | 5        | 1         | 1        |
| 0  | 47   | 90   | 1.64     | 11  | 16  | 10 | 46     | 4        | 3         | 0        |
| 0  | 21   | 50   | 1.56     | 12  | 20  | 1  | 26     | 4        | 0         | 0        |

| Partos | Abortos | duerme | maiz | Carnes | Harinas | Fisica |
|--------|---------|--------|------|--------|---------|--------|
| 0      | 1       | 7      | 6    | 6      | 6       | 3      |
| 0      | 0       | 8      | 5    | 3      | 3       | 5      |
| 0      | 0       | 8      | 4    | 1      | 0       | 5      |
| 3      | 0       | 7      | 4    | 1      | 6       | 7      |
| 0      | 0       | 8      | 2    | 5      | 5       | 2      |

```
# Se declaran la lista (son tres maneras)
dat1<-list("Condicion", "Edad", "Peso", "n")
```

```
dat1<-list("Condicion", "Edad", "Peso", "n")
dat1<-list(Condicion=Datos$Condicion, Edad=Datos$Edad,
Peso=Datos$Peso, Estatura=Datos$Estatura, N=nrow(Da-
tos))
Condicion <- Datos$Condicion
Edad <- Datos$Edad
Peso <- Datos$Peso
Estatura<-Datos$Estatura
```

Al establecer nuestros valores iniciales, adoptamos un enfoque diferente. La maquinaria de MCMC, los valores iniciales pueden tener un efecto sobre la eficiencia con la que el algoritmo cubre el espacio muestral. No existen reglas estrictas y rápidas para elegir valores iniciales más allá de la recomendación de que sean realistas (para que el muestreador MCMC funcione de manera eficiente) y sobredispersos (para que podamos evaluar mejor la convergencia a una distribución posterior estable). Un enfoque es establecer la elección de los valores iniciales en una simple ejecución de EMV (estimación de máxima verosimilitud) del modelo. Esto tiene el beneficio adicional de permitir comparar sus resultados bayesianos con los de un enfoque frecuentista. Aquí, extraemos los coeficientes de un modelo logístico MLG (modelo lineal generalizado) (para obtener valores realistas) y sumamos/restamos un número razonable (para dispersar los valores iniciales). La estructura del objeto de datos que contiene los valores iniciales es una lista de listas. Todo lo anterior se observa en la figura 4.9 aplicado en R®:

**Figura 4.9** Estableciendo valores iniciales y realización de MLG

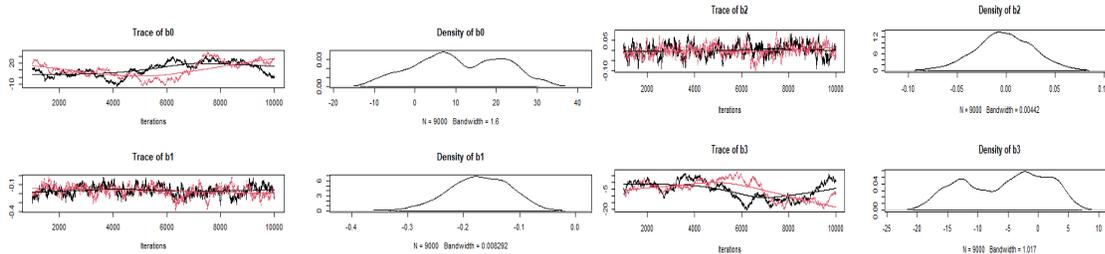
```
n=length(Condicion)
data_mas<-list("Condicion", "Edad", "Peso", "Estatura", "PPM", "IVS", "CS",
"EdadCA", "sangrado", "Embarazos", "Cesáreas", "Partos",
"Abortos", "duerme", "maiz", "rojas", "Harinas", "física", "n")
param<-c("b0", "b1", "b2", "b3", "b4", "b5", "b6", "b7", "b8", "b9", "b10",
"b11", "b12", "b13", "b14", "b15", "b16", "b17")
estInits<-with(Datos, glm(Condicion~Edad+Peso+Estatura+PPM+IVS+CS+EdadCA+sangrado+Embarazos+Ce-
sareas+Partos+Abortos+duerme+maiz+rojas+Harinas+física, family=binomial(logit)))
estInits
Call: glm(formula = X0 ~ Edad + Peso + Estatura + PPM + IVS + CS +
Edadca + sangrado + Embarazos + Cesareas + Partos + Abortos +
duerme + maiz + Carnes + Harinas + Física, family = binomial(logit))
Coefficients:
(Intercept) Edad Peso Estatura PPM IVS CS
7.5166948 -0.1238300 -0.0005422 -3.9870618 -0.0066538 0.2494619 0.0798821
Edadca sangrado Embarazos Cesareas Partos Abortos duerme
0.0177384 0.0760389 -5.0163397 5.0028905 5.5628617 5.5000412 -0.3686576
maiz Carnes Harinas Física
-0.0617891 -0.1384231 0.1100823 -0.0409853
Degrees of Freedom: 71 Total (i.e. Null); 54 Residual
Null Deviance: 99.81
Residual Deviance: 76.36 AIC: 112.4
```

Las estimaciones puntuales son muy cercanas a las de la ejecución MLG. Se esperaba esto. Cuando tiene una gran cantidad de datos y antecedentes muy vagos o solo mínimamente informativos, la probabilidad predomina y obtiene las estimaciones EMV. Por supuesto, todavía se tienen los beneficios de poder realizar evaluaciones de probabilidad directa de sus resultados, que no están disponibles en un modelo estricto frecuentista MLE, y puede hacer cosas como actualizar sus resultados, agregar observaciones, calcular probabilidades para funciones complejas, etc.

Se realizan las gráficas de las MCMC para determinar si existe convergencia y se puede observar la instrucción y las gráficas de salida en R<sup>®</sup> en la figura 4.10.

**Figura 4.10** Gráficas MCMC de los primeros tres parámetros

`plot(as.mcmc(logmod))`

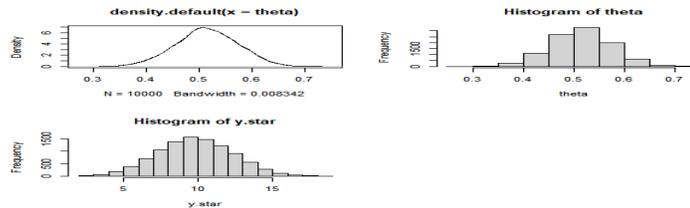


La validación predictiva consiste en verificar qué tan bien los datos generados a partir de su modelo coinciden con las observaciones reales. Esto se puede hacer a través de predicciones externas, reteniendo algunos datos (digamos 10 %) al ajustar su modelo y comparar esas observaciones con las generadas al conectar valores de predictores en su modelo. O puede usar todos sus datos para ajustar el modelo y comparar los resultados observados con los predichos por el modelo.

Es posible crear un conjunto de datos predictivos posteriores para cada individuo u observación en su conjunto de datos mediante el uso de simulaciones que incluyen la varianza adicional que caracteriza los análisis bayesianos. Los residuos se calculan restando los valores simulados de los valores observados. Las parcelas residuales se evalúan como suelen ser. Sin embargo, en un enfoque bayesiano, podemos repetir este proceso muchas veces simulando conjuntos de datos predictivos y calculando residuos basados en ellos. Entonces, por ejemplo, si le preocupa la heterocedasticidad, puede calcular la correlación entre el valor absoluto de los residuos y los valores ajustados muchas veces, y trazar un histograma de las muchas correlaciones que calcula. En la figura 4.11 se muestran las instrucciones y el histograma en R<sup>®</sup>:

**Figura 4.11** Histograma para determinar heterocedasticidad

```
theta<-rbeta(10000,(sum(Condicion)+1),((sum(n)-sum(Condicion))-1))  
plot(density(theta))  
hist(theta)  
y.star<-rbinom(10000,20, theta)  
hist(y.star)
```



## 5. Análisis de resultados

Una vez realizado el análisis, los factores que fueron significativos y que explican la evolución de VPH en el modelo de regresión logística bayesiana que se desarrolló fueron los siguientes: entre 21-29 años de edad, entre 1.59-1.64 metros de estatura, tipo de sangre O<sup>+</sup>, primer periodo menstrual haya sido entre los 12-13 años de edad, su vida sexual inició entre los 19-22 años, si ha tenido entre 1-4 compañeros sexuales y estos tienen entre 23-31 años de edad o entre 41-49 años de edad. Además, que sus periodos menstruales duren entre 3-5 días, ha estado embarazada 1 o 2 veces, si no ha tenido cesáreas, partos ni abortos. Si duerme entre 7 y 8 horas diarias, si consume maíz de 6 a 7 días por semana, si consume carnes rojas de 2 a 3 días por semana o consume harinas de 6 a 7 días por semana.

Con las variables del historial clínico referentes a los análisis clínicos tanto de biometría hemática y general de orina, los factores significativos fueron: leucocitos, MCH (concentración de hemoglobina corpuscular media, mide el contenido de hemoglobina en los eritrocitos), RDW (la amplitud de la distribución eritrocitaria [ADE o RDW, en sus siglas en inglés] o ancho de distribución de glóbulos rojos, MPV (mide el tamaño promedio de las plaquetas) y neutrófilos AVS (son un tipo de glóbulo blanco y ayudan al cuerpo a combatir infecciones) como se muestra la figura 5.1 y 5.2.

**Figura 5.1** Análisis de regresión logística bayesiana

| Tabla de desviaciones |    |              |              |              |         |
|-----------------------|----|--------------|--------------|--------------|---------|
| Fuente                | GL | Desv. ajust. | Media ajust. | Chi-cuadrada | Valor p |
| Regresión             | 19 | 60.0694      | 3.1615       | 60.07        | 0.000   |
| LEUCOSITOS            | 1  | 3.9279       | 3.9279       | 3.93         | 0.047   |
| ERITROSITOS           | 1  | 0.0330       | 0.0330       | 0.03         | 0.856   |
| HEMOGLOBINA           | 1  | 1.2448       | 1.2448       | 1.24         | 0.265   |
| EMATROCITOS           | 1  | 1.0964       | 1.0964       | 1.10         | 0.295   |
| M.C.V                 | 1  | 2.2201       | 2.2201       | 2.22         | 0.136   |
| M.C.H                 | 1  | 8.8528       | 8.8528       | 8.85         | 0.003   |
| M.C.H.C               | 1  | 0.6337       | 0.6337       | 0.63         | 0.426   |
| R.D.W                 | 1  | 13.2068      | 13.2068      | 13.21        | 0.000   |
| PLAQUETAS             | 1  | 0.0104       | 0.0104       | 0.01         | 0.919   |
| M.P.V                 | 1  | 6.4639       | 6.4639       | 6.46         | 0.011   |
| NEUTROFILOS           | 1  | 1.5680       | 1.5680       | 1.57         | 0.210   |
| LINFOSITOS            | 1  | 2.3109       | 2.3109       | 2.31         | 0.128   |
| MONOCITOS             | 1  | 0.3398       | 0.3398       | 0.34         | 0.560   |
| EOSINOFILOS           | 1  | 1.4307       | 1.4307       | 1.43         | 0.232   |
| BASOFILOS             | 1  | 1.5453       | 1.5453       | 1.55         | 0.214   |
| NEUTROFILOS A.V.S     | 1  | 9.8708       | 9.8708       | 9.87         | 0.002   |
| LINFOSITOS A.V.S      | 1  | 0.1992       | 0.1992       | 0.20         | 0.655   |
| MONOFOSITOS A.V.S     | 1  | 0.2027       | 0.2027       | 0.20         | 0.653   |
| EOSINOFILOS A.V.S     | 1  | 0.5085       | 0.5085       | 0.51         | 0.476   |
| Error                 | 52 | 39.7438      | 0.7643       |              |         |
| Total                 | 71 | 99.8132      |              |              |         |

**Figura 5.2** Gráfica de probabilidades ajustadas



Con base en la hipótesis establecida, los factores significativos en las pacientes con VPH que se plantearon fueron los siguientes: edad, peso, estatura, primer periodo menstrual, inicio de vida sexual, compañeros sexuales, compañeros circuncidados, duración de periodo menstrual, embarazos, estatus socioeconómico y vida clínica; además, si con el análisis bayesiano era posible desarrollar un sistema que modelara la extensión del virus. Así, fue posible establecer que los factores significativos son la edad, el inicio de vida sexual, los días que consume maíz, los leucocitos, MCH, RDW, MPV y los neutrofilos AVS. Además, se logró desarrollar el modelo para determinar el diagnóstico del VPH mediante inferencia bayesiana, que se muestra en la ecuación 5.1 (los factores significativos se muestran en las figuras 5.3 y 5.4).

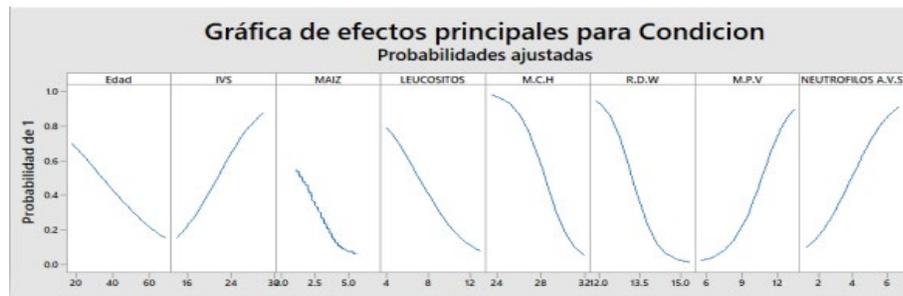
El modelo resultante fue:

$$Y' = 42.1 - 0.0482Edad + 0.229IVS - 0.318MAIZ - 0.420LEUCOSITOS - 0.801M.C.H - 2.217R.D.W + 0.782M.P.V + 0.844NEUTROFILOS A.V.S \quad (5.1)$$

**Figura 5.3** Resultados de regresión logística bayesiana para los factores principales

| Fuentes           | GL | Desv. Ajust. | Media Ajust. | Chi-cuadrada | Valor p |
|-------------------|----|--------------|--------------|--------------|---------|
| Regresión         | 7  | 50.638       | 7.2340       | 50.64        | 0.000   |
| Edad              | 1  | 1.900        | 1.8996       | 1.90         | 0.168   |
| IVS               | 1  | 5.126        | 5.1262       | 5.13         | 0.024   |
| MAIZ              | 1  | 4.6147       | 4.61         | 4.61         | 0.032   |
| Leucocitos        | 1  | 3.362        | 3.3616       | 3.36         | 0.067   |
| M.C.H             | 1  | 13.312       | 12.3116      | 12.31        | 0.000   |
| R.D.W             | 1  | 16.150       | 16.1497      | 16.15        | 0.000   |
| M.P.V             | 1  | 7.897        | 7.8968       | 7.90         | 0.005   |
| NEUTROFILOS A.V.S | 1  | 7.656        | 7.6568       | 7.66         | 0.006   |
| ERROR             | 64 | 49.175       | 0.7684       |              |         |
| Total             | 71 | 99.813       |              |              |         |

**Figura 5.4** Gráfica de efectos principales de los factores del modelo final



## Conclusiones

El objetivo fundamental de esta investigación era generar un modelo para determinar la confiabilidad del diagnóstico del VPH mediante inferencia bayesiana, clave para demostrar que con inferencia bayesiana es posible predecir con base en evidencia existente. Quizás lo más convincente es que ofrece una manera atractiva e intuitiva pero metodológicamente rigurosa de actualizar nuestro conocimiento. Así pues, la aportación principal de este trabajo consiste dar a conocer la inferencia bayesiana y el modelo que logramos generar, el cual se muestra en el capítulo cinco, después de un proceso que inició tocando puertas para tener acceso a la información para posteriormente realizar campañas de concientización, estudio de colposcopia y revisando los estudios de biometría y general de orina. De este modo, se lograron identificar los factores predominantes del VPH, donde los 44 factores analizados se dividían en factores físicos y de comportamiento: 17 y 27 de análisis clínicos, solo 8 resultaron significativos en el modelo final.

Cabe destacar que uno de esos factores significativos fue si la paciente consumía tortillas de maíz entre 6 y 7 días de la semana, y en un análisis realizado por Meléndez *et al.* (2020), que lleva por título *Análisis de aceites esenciales como bioconservadores*,

a través de la teoría de confiabilidad se encontró que el conservador químico utilizado en las tortillas de maíz evidencia que provoca cáncer. Por ello, resulta interesante ahondar en dicho factor.

## Referencias

- Ashby, D., Hutton, J. L. and McGee, M. A. (1993). Simple Bayesian analyses for case-control studies in cancer epidemiology. *Journal of the Royal Statistical Society*, 42(4), 385-397.
- Berumen-Campos, J. (2003). Nuevos virus del papiloma humano descubiertos en México: Su asociación a la alta incidencia del cáncer de cérvix. *Gaceta Médica de México*, 139(s4), 3-10.
- Centro Nacional de Equidad de Género y Salud Reproductiva (2007). Seguimiento a los programas y líneas de acción para la atención de la salud de las mujeres del Centro Nacional de Equidad de Género y Salud Reproductiva (CNEGSR) de la Secretaria de Salud.  
<https://www.gob.mx/salud/cnegsr>
- Correa, J. C. y Barrera, C. J. (2018). *Introducción a la estadística bayesiana: notas de clase*. Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Flores Sánchez, A. (2006). *Aplicación de herramientas de ingeniería (Mahalanobis-Taguchi) para identificar los factores de riesgo del VPH*. Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.
- Flores-Miramontes, M. G., Torres-Reyes, L. A., Aguilar-Lemarroy, A., Vallejo-Ruiz, V., Piña-Sánchez, P., Cortés-Gutiérrez, E. y Jave-Suarez, L. F. (2015). Prevalencia de genotipos de VPH en México y en el mundo detectadas mediante Linear Array. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 53(2), S122-S130.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2007). *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*.
- Meléndez, Y (2020). *Análisis de aceites esenciales como bioconservadores, a través de la teoría de confiabilidad* (tesis doctoral). Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México.
- Muñoz, N., Bosch, F., Sanjosé, S., Viladiu, P., Tormo, J., Moreo, P., Ascunce, N., González, L., Tafur, L., Gili, M., Izarzugaza, I., Guerrero, E., Aristizábal, N., Santamaría, M., Alonso de Ruiz, P. y Shah, H. (1993). El virus del papiloma humano en la etiología del cáncer cervicouterino. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OPS)*, 115(4).
- Rivera, Z., Aguilera, J. y Larraín, A. (2002). Epidemiología del virus papiloma humano (HPV). *Revista Chilena de Obstetricia y Ginecología*, 67, 501-506.
- Serman, F. (2002). Cáncer cervicouterino. Epidemiología, historia natural y rol del virus del papiloma humano. Perspectivas en prevención y tratamiento. *Revista Chilena Infectología*, 26(2), 174-190.
- Stanczuk, G. A., Kay, P., Allan, B., Chirara, M., Tswana, S. A., Bergstrom, S. and Williamson, A. L. (2003). Detection of human papillomavirus in urine and swabs from patients with invasive cervical cancer. *Journal of Medical Virology*, 71(1), 110-114.
- Zamudio, A. A., Zepeda, Z. J., Rodríguez, B. B. y Tenorio, M. R. (2001). Evaluación del papanicolaou y la colposcopia en el diagnóstico de la infección por el virus del papiloma humano. *Rev, Fac MedUNAM*, 44(1), 5-7.

# Contraste metodológico entre un algoritmo de búsqueda directa y superficie de respuesta

**Dr. Francisco Zorrilla Briones**

Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Juárez, México  
fzorrilla@itcj.edu.mx  
<https://orcid.org/0000-0002-5260-7977>

**Dra. Yuliana Meléndez Pastrana**

Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Juárez, México  
Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, México  
Autor correspondiente: yuliana.mp@cduarez.tecnm.mx  
<https://orcid.org/0000-0002-5260-7977>

**Dr. Alfonso Aldape Alamillo**

Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Juárez, México  
aaldape@itcj.edu.mx  
<https://orcid.org/0000-0001-8921-9479>

## Resumen

Existen muchas alternativas para buscar las mejores condiciones de operación de un proceso/sistema/equipo, desde el diseño de experimentos clásico, técnicas de Taguchi, hasta los métodos de búsqueda directa. Cada una de estas metodologías presenta sus ventajas y desventajas respecto a la forma en que se ejecuta la experimentación y en cuanto a las maneras del análisis de los resultados. Los esquemas clásicos requieren, entre otros aspectos, el diseño previo de las corridas a ejecutarse, detener producción o aquel proceso en estudio, invertir en materiales, máquina, personal, tiempo y, dado que la gran mayoría del producto generado durante la experimentación no será conformante, deben considerarse también cantidades importantes de desperdicio. La fortaleza de los métodos clásicos, entre otras, es la capacidad de medir, calcular y separar la variación interna o error (también conocida como “ruido”), por lo que el cálculo de los efectos de las variables es preciso. En contraste, los métodos de búsqueda directa no exigen detener el proceso, pues pueden experimentarse durante una corrida normal de producción, dado su carácter evolutivo, esto es, de los resultados observados se recalculan los nuevos niveles de operación del proceso, lo que hace que la generación de producto no

conformante sea mínima. La principal desventaja de los algoritmos de búsqueda directa es que son hipersensibles al “ruido”, a la variación interna, por lo que pueden ciclarse infinitamente y/o “perderse” (alejarse del óptimo buscado). En esta investigación se presenta una alternativa que considera las ventajas de los algoritmos de búsqueda directa combinada con las fortalezas del diseño clásico, así como de conceptos de las técnicas de Taguchi, arreglo cruzado, respuesta dual, algoritmo de Nelder y Mead. Se simula un proceso aleatorio y se analiza con el algoritmo híbrido propuesto, llamado *Armentum*, y se contrastan los resultados con el mismo proceso de optimización utilizando un diseño y análisis de superficie de respuesta. Los resultados demuestran concordancia en cuanto a los niveles encontrados para un óptimo local y una eficiencia mayor del algoritmo *Armentum*, considerando las condiciones normales del proceso clásico de experimentación.

**Palabras clave:** diseño experimental, métodos de búsqueda directa, taguchi, respuesta dual, superficie de respuesta.

## Abstract

*There are several alternatives to search for the best operation conditions of a process/system/equipment, from classic experimental design, Taguchi technics, to direct search methods. Each method has its advantages and disadvantages, mainly in respect to the way that the experimentation is executed and the data analysis. Classical designs require, among other things, a previous design of the runs that will be executed, stop production or the process under study, invest in materials, machine, personnel, time and, due that the majority of the product generated during the experimentation process will be not conformant, great quantities of scrap must be considered. The strength of classical methods, among others, is the capability to estimate and separate the internal variation or error (known as noise as well), so the estimation of the effects of the variables is precise. On the contrary, direct search methods do not require to stop the process, experimentation can be executed during normal production run, due to their evolutive characteristics, this is, from the observed results new process operation levels are calculated, this leads to a minimum non-conformant parts generation. The main disadvantage of the direct search methods is that they are hipper sensible to the noise, the internal variation, so they can end cycling infinitely or get “lost” (get away from the optimal). This investigation shows an alternative that considers the advantages of the direct search methods combined with the strengths of the classical design, including*

*Taguchi concepts; cross arrange, dual response and Nelder and Mead Algorithm. An aleatory process is simulated and it is analyzed with the proposed hybrid algorithm, named Armentum and then results are compared with the same optimization process applying design and analysis of response surface methodology. Results show that there is an agreement of the levels of the variables when finding a local optimum and there is evidence of a higher efficiency of the Armentum algorithm, considering the normal conditions of a classic experimental design.*

**Keywords:** *Experimental Design, Direct Search Methods, Taguchi, Dual Response, Response Surface.*

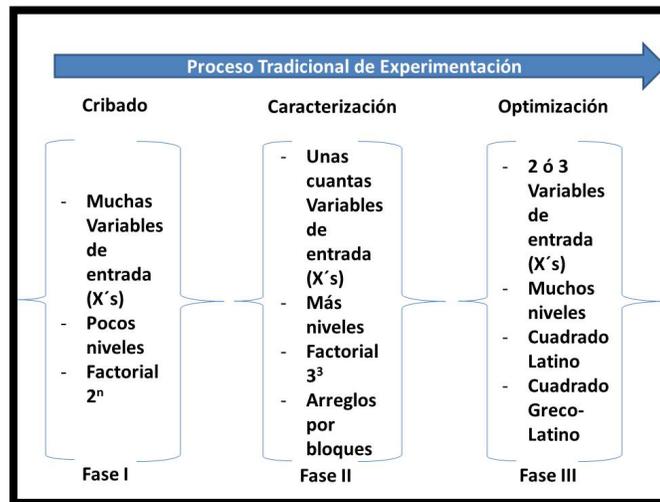
## **1. Introducción**

Aun cuando la experimentación es una metodología con grandes beneficios para cualquier organización, su uso en realidad está limitado a situaciones muy particulares, dado que representa una inversión en tiempo, materiales, maquinaria, personal. Por eso, la mayoría de las organizaciones no están dispuestas a realizar esta inversión ni mucho menos perder tiempo productivo.

Los métodos de búsqueda directa tienen como objetivo optimizar una función, sin conocerla, a través del análisis de las características de calidad o respuesta (medibles) de un diseño, producto o proceso. Existen muchos métodos que buscan esta optimización, aunque todos tienen en común el hecho de que se busca realizar esta optimización mientras se produce el producto “aceptable”. Este es un enfoque muy diferente al proceso tradicional de experimentación, en el cual una gran parte de las corridas experimentales generarán producto no conformante. Dentro de estas metodologías, la que ha tenido un gran impacto y aceptación es la propuesta originalmente por Box (1957), modificada por Spendley y Himsworth (1962) y luego por Nelder y Mead (1965). Se mencionan a estos últimos autores por ser los que han presentado contribuciones radicales a la propuesta original de Box, conocida como *operaciones evolutivas* (EVOPS), mientras que la de Nelder y Mead (1965) es referenciada como *nelder-mead-simplex* (NMS).

Estos métodos se concentran en la fase final de la experimentación, que viene a ser la optimización precisamente. Dadas las características de estas metodologías, no es posible aplicarlas en las fases tempranas del proceso, de experimentación, ilustrado en la figura 1 (cribado o tamizado; caracterización).

**Figura 1.** Proceso de experimentación secuencial



El proceso tradicional de experimentación implica que después de haber “cribado” (filtrar las variables de entrada, de manera que solo se consideren en la siguiente fase aquellas que cumplen con un efecto mínimo relevante, a cierto nivel de significación) y caracterizado (se ha determinado qué variables representan el mayor impacto, en términos del efecto en la respuesta), se incluirán para la fase de optimización solo dos o tres variables como máximo. El proceso de optimización, en el diseño clásico, exige el uso de una o dos variables para las que se consideran tres o más niveles, de manera que se genere un abanico de combinaciones de factores y niveles lo suficientemente amplio. Con ello se procura proveer de un espacio suficiente para encontrar los mejores parámetros para el proceso/producto. Cabe resaltar que en el proceso de experimentación tradicional se busca la optimización, pero se considera la generación de producto no conforme a las especificaciones establecidas como parte de la “inversión”. En esta etapa generalmente se recomiendan métodos de superficie de respuesta.

Los métodos de búsqueda directa intentan esta optimización, aunque presentan básicamente diferencias importantes respecto al proceso clásico de experimentación:

- Se propone realizar esta optimización mientras se sigue produciendo producto conforme.
- La situación anterior implica que la inclusión de muchos niveles/variables en el arreglo esté muy limitada.
- Son procesos necesariamente iterativos y continuos.
- Los cambios inducidos son lo suficientemente grandes para “alterar” el proceso y detectar cambios relevantes, pero a la vez la magnitud de los cambios

está condicionada por los límites admisibles de variación, de manera que no se generen productos no conformantes.

En la presente investigación se propone un método alternativo al de superficie de respuesta para llevar a cabo la optimización final del proceso, a través de un algoritmo de búsqueda directa en el que se considera una hibridación del arreglo cruzado de Taguchi (un diseño interno y uno externo) y el simplex variable de Nelder y Mead. Dado que existen técnicas tradicionales para esta fase de la experimentación, tal como el análisis de superficie de respuesta, se presenta aquí un contraste metodológico entre las dos propuestas para evidenciar la eficiencia equivalente del algoritmo híbrido propuesto.

## **2. Planteamiento del problema**

En este capítulo se proporciona una breve reseña de las razones existentes por las que se desea realizar esta investigación. Se muestra el planteamiento del problema que se intenta resolver, que en este caso es comprobar la equidad en la eficiencia entre el algoritmo propuesto y el análisis tradicional de superficie de respuesta para la optimización de procesos industriales.

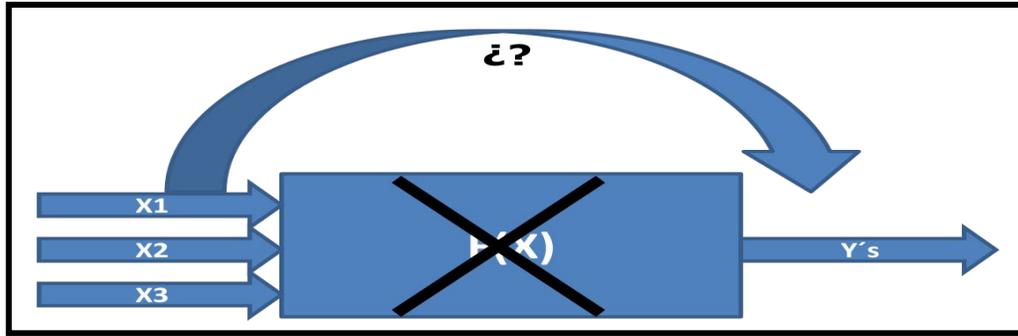
### **2.1 Antecedentes**

Los métodos de búsqueda directa también son conocidos como técnicas de optimización libres de restricciones. Estos gozaron de gran auge durante la década de los 60, sin embargo, para los 70 perdieron su fuerza entre la comunidad científica, principalmente criticados por la comunidad matemática por su “falta de congruencia”, en términos matemáticos.

A pesar de lo anterior, estos métodos se han mantenido vigentes por algunos otros investigadores. De hecho, en los últimos quince años han sufrido innumerables modificaciones, siempre buscando una aplicación nueva o superar alguna de sus deficiencias y restricciones en cuanto a la diversidad o particularidad de sus aplicaciones.

Como se muestra en la figura 2, estos métodos de búsqueda se concentran en optimizar una función, sin conocer esta, a través del análisis y evaluación de los cambios en la o las respuestas o salidas del proceso (medibles), induciendo pequeños cambios en las variables de entrada (factores de control). Los cambios agregados son pequeños, dado que se desea que no genere un producto no conformante, pero lo suficientemente grande para detectar efectos relevantes.

Figura 2. Proceso estocástico/heurístico de búsqueda



Para este fin se requieren, básicamente, dos elementos fundamentales: primero, un arreglo experimental y, después, un modelo simplex. El arreglo experimental cumple con la tarea de desarrollar las corridas suficientes/diferentes con las que se inducirán los cambios en el proceso, mientras que el modelo simplex, a partir de la propuesta de Spendley y Himsworth (1962), es el mecanismo a través del cual se modifican los niveles de los factores en el arreglo experimental, con lo que se busca, precisamente, optimizar el proceso. Su propuesta consiste en utilizar un simplex, en general, es decir, un poliedro de  $n+1$  aristas (para dos variables de entrada corresponde un triángulo). El mecanismo de búsqueda consiste en ir pivoteando dicho poliedro sobre uno de sus vértices (llamado el peor vértice) hasta encontrar la combinación óptima de niveles de los factores (convergencia).

Es esta función de recalcular los nuevos niveles la que, precisamente, desarrolla/sustituye el simplex en estos algoritmos de búsqueda directa, ya que, a través de ciertas operaciones básicas, propone nuevos niveles en los factores considerados para procurar la mejor o la peor respuesta, dependiendo del tipo de optimización que se busca (maximización/minimización).

## 2.2 Descripción del problema

Los algoritmos de búsqueda directa se concentran en optimizar procesos en las fases tardías del proceso de experimentación considerando solo unas cuantas variables relevantes (2 o 3). Asimismo, no consideran los factores ruido que pueden afectar el desempeño de un proceso dentro de su análisis. De aquí que esta propuesta busca desarrollar una metodología estándar, estructurada y eficiente que permita al profesional de la ingeniería aplicar el concepto fundamental de las operaciones evolutivas plasmado en el modelo simplex N-M, optimizar productos/procesos en línea simultáneamente sin la generación de producto no conformante, considerando los factores ruido como parte

del análisis, desde la fase inicial del proceso de experimentación. Con ello se intenta que las oportunidades de ejecución de este tipo de proyectos aumenten y, por ende, sea factible optimizar procesos/productos/diseños a un bajo costo, utilizando como medida de eficiencia la capacidad del proceso,  $C_p$ ,  $C_{p_k}$ ,  $P_p$ ,  $P_{p_k}$ ,  $C_{pkm}$ ; razón señal a ruido (Taguchi) o respuesta dual. En resumen, con el presente trabajo se procura evidenciar que son equivalentemente eficientes el algoritmo desarrollado/propuesto y el sistema tradicional de superficie de respuesta.

### 3. Marco teórico

Box (1957) propuso un proceso iterativo de experimentación con fines de optimización de procesos industriales. Básicamente su propuesta consistió en introducir un diseño factorial en dos niveles, el cual es modificado constantemente (sus niveles) para mejorar la variable de salida o respuesta del aquel proceso sin la generación de producto no conformante.

Aquí es importante denotar que este proceso (conocido como *operaciones evolutivas* o EVOP) se utiliza en la fase III de la experimentación, esto es, durante la optimización, que está limitada por dos variables de entrada o factores y que carece de varias propiedades importantes, tales como un criterio para detener el proceso, propiedades de convergencia y mecanismos para detectar la recursividad.

En un estudio posterior, Ryan (1989) cuestiona que este algoritmo no tome en cuenta el cálculo de un tamaño de muestra adecuado (es decir, ¿qué tan grande debe ser la muestra por combinación de niveles para que se tengan buenas propiedades estadísticas?). Considérese que cuando se tiene solo una observación en cada vértice del arreglo factorial, no es posible utilizar el algoritmo de Yates.

Es claro que la propuesta de Box (1957) presenta muchas ventajas y, desde luego, la innovación, dado que se busca que este proceso sea ejecutado de manera constante y continua en el piso de producción. Debe ser un arreglo factorial simple, fácil de comprender, en donde la recolección y análisis de los datos es relativamente simple, incluyendo, por ejemplo, que el análisis de efectos principales y sus interacciones pueden dar una idea clara de la complejidad de la superficie de respuesta.

Spendley y Himsforth (1962) proponen el primer gran cambio al algoritmo de Box (1957) al agregarle un simplex, mecanismo a través del cual se modifican los niveles del arreglo experimental en cada iteración. El algoritmo de Spendley y Himsforth (1962), conocido como *simplex-EVOP*, mueve iterativamente el poliedro

correspondiente buscando la optimización de la función desconocida. Como se mencionó anteriormente, Nelder y Mead (1965) agregaron tres operaciones básicas y una suboperación al simplex de Spendley y Himsworth (1962), las cuales se describen a continuación.

### 3.1 Operaciones básicas

En esta sección se explican las operaciones básicas del algoritmo NMS partiendo de un objetivo de minimización de una función desconocida.

Para la iteración inicial,  $k=0$ , el algoritmo requiere de un simplex inicial  $S_0 = \{X_0^0, X_1^0, \dots, X_n^0\}$ , ya que es preferible iniciar con un simplex regular. Esta característica cambiará inmediatamente, dado que las iteraciones sucesivas reemplazarán el peor vértice,  $X_h^k$ , del  $S_{k-ésimo}$  simplex con otro vértice. El vértice es reemplazado por uno de los nuevos puntos  $X_r^k$ ,  $X_c^k$  y  $X_e^k$ . La selección de cualquiera de estos tres puntos, en cualquier iteración dada  $k \geq 0$ , está definida por las tres operaciones del algoritmo: reflexión, expansión y contracción.

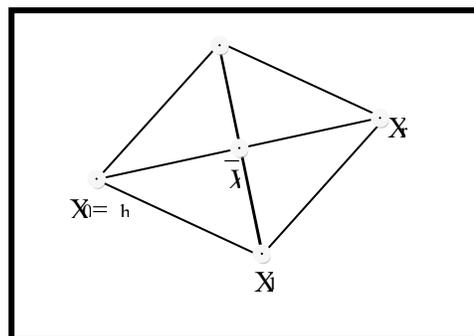
#### 3.1.1 Reflexión

En esta operación, el peor vértice  $X_h^k$  es reemplazado por:

$$X_r^k = (1 + \alpha)\bar{X}^k - \alpha X_h^k \tag{1}$$

Considerando que  $f_i > f_r > f_l$  para al menos una  $i$ , donde  $i \neq h$  o  $i \neq l$ ;  $\alpha$  es el coeficiente de reflexión, la figura 3 muestra la operación de reflexión en dos dimensiones para un caso de  $n = 2$ . La distancia entre los puntos  $X_h^k$  y  $X^k$  es igual a la distancia entre  $\bar{X}^k$  y  $X_r^k$ . Esto se obtiene cuando  $\alpha=1$ .

Figura 3. Operación de reflexión



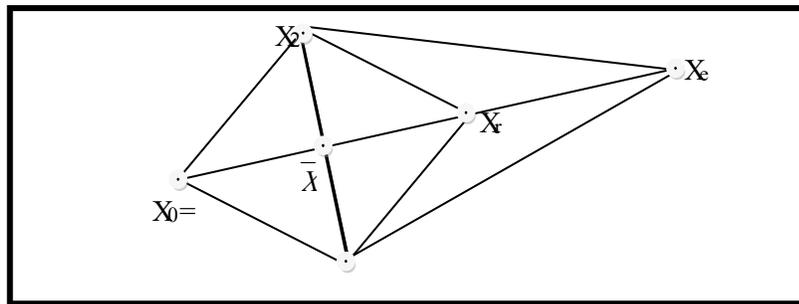
### 3.1.2 Expansión

El peor vértice  $X_h^k$  es reemplazado por:

$$X_e^k = \gamma X_r^k + (1 - \gamma) \bar{X}^k \quad (2)$$

Considerando que (i)  $f_r < f_e$ , y (ii)  $f_e < \bar{f}_i$ . Si (i) se mantiene, pero (ii) no, entonces el peor vértice  $X_h^k$  es reemplazado por  $X_r^k$ .  $\gamma$  es el coeficiente de expansión. La figura 4 ilustra la operación de expansión para dos dimensiones,  $n = 2$ . La distancia entre los puntos  $X_h$  y  $\bar{X}$  es equivalente a las distancias entre los puntos  $\bar{X}$  y  $X_r$ , así como  $X_e$  y  $X_r$ . Esto se obtiene para una  $\gamma = 2$ .

Figura 4. Operación de expansión



### 3.1.3 Contracción

En la operación de contracción El peor vértice  $X_h^k$  es reemplazado por:

$$X_c^k = \beta X_h^k + (1 - \beta) \bar{X}^k \quad (3)$$

considerando que  $f_r \geq f_h$ , ó:

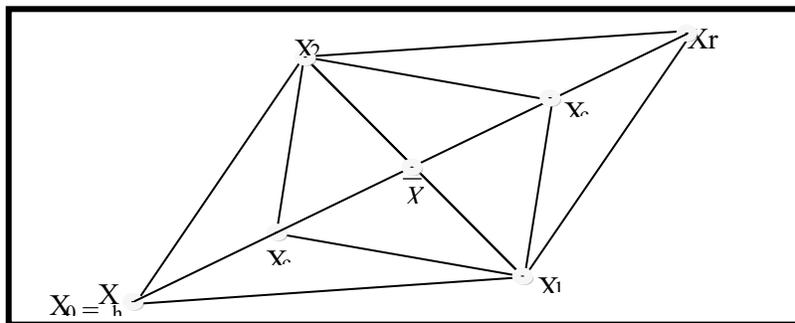
$$X_c^k = \beta X_r^k + (1 - \beta) \bar{X}^k \quad (4)$$

Cuando  $f_r < f_h$ ;  $\beta$  es el coeficiente de contracción. En la figura 5 se muestra la operación de contracción en dos dimensiones,  $n = 2$ . La distancia entre los puntos  $X_h$  y  $\bar{X}$  corresponde a dos veces las distancias entre  $\bar{X}$  y  $X_{c1}$ , o  $\bar{X}$  y  $X_{c2}$ . Esto se obtiene para una  $\beta = 1/2$ .

Existe una operación especial de contracción que se utiliza para evitar la sobreexpansión, conocida como *encogimiento*, y es diferente de una contracción regular en el número de puntos que se mantienen para generar el nuevo simplex. En una contracción regular, se mantienen  $n$  vértices, mientras que en el encogimiento solo se mantiene un punto, el mejor vértice  $X_l^k$ . El encogimiento se realiza si  $f_c \geq f_h$ , por lo que el nuevo simplex está definido por:

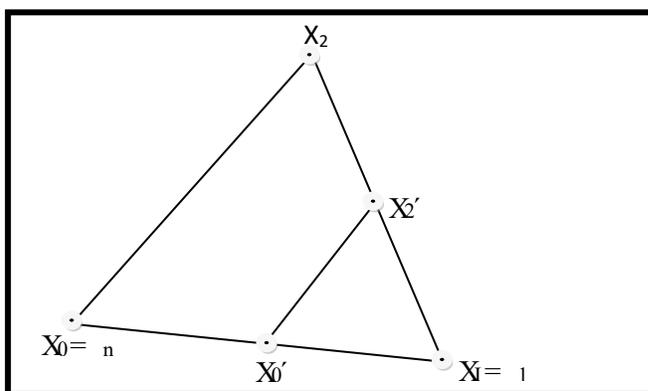
$$X_i^{k+1} = \delta X_i^k + (1 - \delta) X_l^k, \forall i \neq l \quad (5)$$

Figura 5. Operación de contracción



Donde  $\delta$  es el coeficiente de encogimiento, y en el que  $0 < \delta < 1$ . La figura 6 muestra un ejemplo de encogimiento en dos dimensiones,  $n = 2$ , en el que el coeficiente de encogimiento  $\delta = 1/2$ .

Figura 6. Operación de encogimiento



Una propiedad importante que se busca en estos algoritmos, es la propiedad de **convergencia** del mismo, esto es, qué tan rápido converge a una solución óptima. Es este criterio uno de los que, precisamente, se busca mejorar en esta investigación, ya que no se ha definido claramente (¿Cuándo se ha llegado a un óptimo absoluto? ¿Relativo?).

En general, el criterio de convergencia se adopta tal y como lo proponen Nelder y Mead (1965) y Parkinson y Hutchinson (1971):

$$\frac{1}{m} \sum_{t=0}^m (f_t - \bar{f})^2 < esp \tag{6}$$

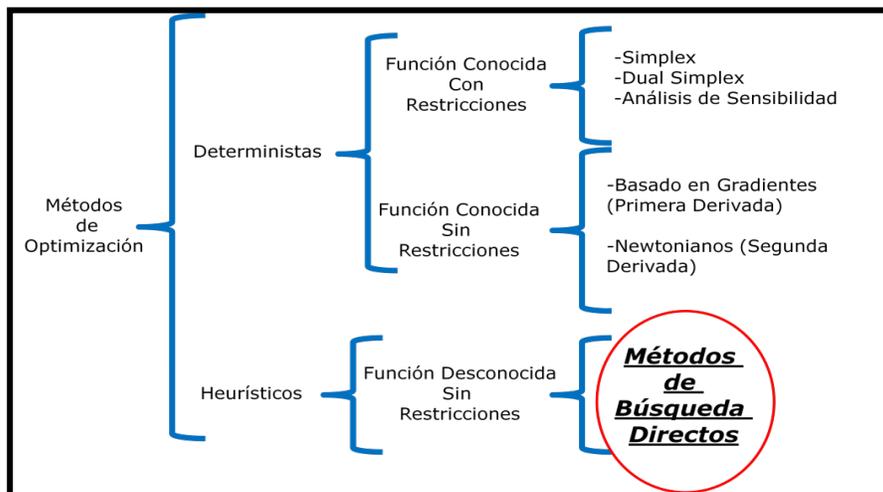
Donde  $esp$  es una referencia específica de algún parámetro, según la precisión o exactitud que se requiera, y donde  $\bar{f}$  es el promedio de  $f_t$ , y en donde  $f_t \forall t$  es una

sucesión de las evaluaciones de la función, indexadas sobre el tiempo  $t$ . El índice  $t$  indica el orden en el que las evaluaciones se han realizado. Otro criterio que indica cuándo se ha terminado o se debe detener el simplex está relacionado con el tamaño del simplex. Cuando este es muy pequeño o se hace recursivo (regresa a las mismas condiciones una y otra vez), debe detenerse el proceso. En la siguiente sección se extiende más la explicación de este concepto.

### 3.2 Taxonomía y cronología de cambios

La propia revisión de la literatura disponible nos ha indicado que la taxonomía de todos estos algoritmos de búsqueda directa es demasiado extensa como para ser presentada gráficamente en un mapa conceptual, por lo que se ha recurrido a una presentación vertebral, según lo proponen Hernández Sampieri *et al.* (2010). En las figuras 7 y 8 se presentan, a manera de resumen, esta clasificación básica. A continuación, se hace una revisión histórica de los cambios que han sufrido estos algoritmos, las principales contribuciones que se les han hecho. Aquí es importante considerar que desde su salida al público científico en la década de los 60 y hasta su declinación en cuanto a la innovación de raíz a principios de los 80, solo han sufrido contribuciones aditivas al algoritmo original.

Figura 7. Métodos de optimización

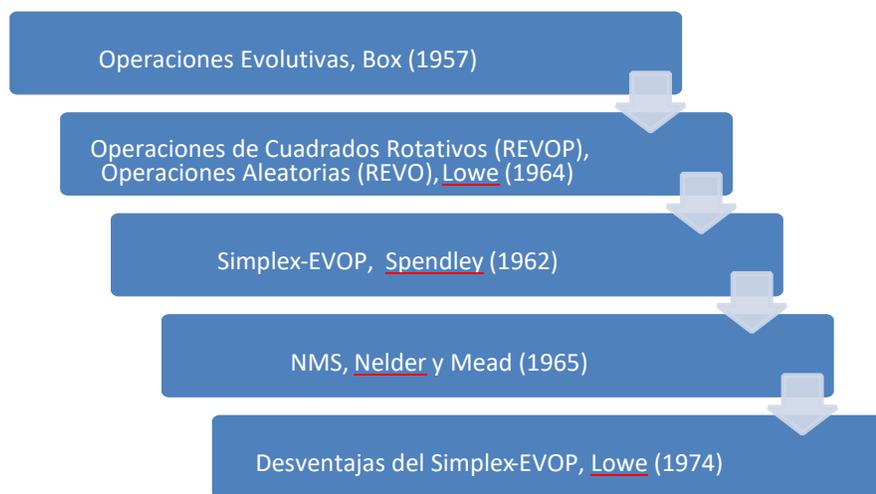


Toda esta generación de métodos de búsqueda directa inicia con Box (1957); este propone un arreglo experimental factorial de dos factores, dos niveles, a través del cual se busca el óptimo en la respuesta de un proceso de manera continua y sin generar producto conformante; esto se logra induciendo cambios lo suficientemente grandes

para detectar cambios importantes en la respuesta, pero dentro de ciertos límites, de manera que no se genere producto no conformante. Esta metodología conocida como EVOP (operaciones evolutivas, por sus siglas en inglés) cuenta con desventajas importantes, de acuerdo con Spendley y Himsworth (1962) y Khorsandi (2010): en primer lugar, no contiene un criterio claro que indique cuándo detener el algoritmo ni cuándo reiniciarlo. Otra desventaja importante es que no indica con claridad qué tanto y hacia dónde deben moverse los niveles de los factores.

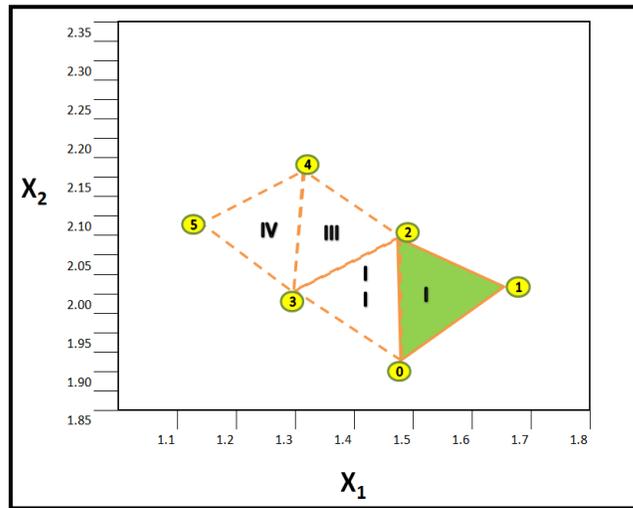
La propuesta de Spendley y Himsworth (1962) consistió en introducir el concepto del simplex al arreglo experimental. Este simplex, el cual se mueve constantemente al derredor del óptimo local, indica el sentido y magnitud de cambio en los niveles de los factores. La propuesta de Spendley y Himsworth (1962) solo incluye la operación de reflexión descrita anteriormente.

**Figura 8.** Cronología del cambio, DSM



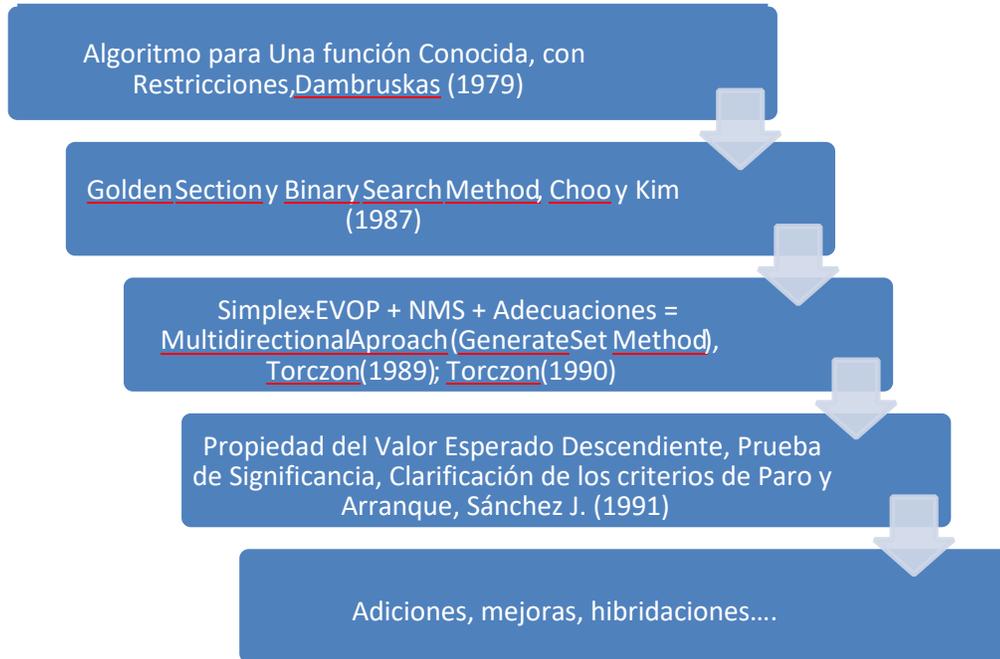
El algoritmo simplex-EVOP, como se conoce a la propuesta de Spendley y Himsworth (1962), se basa en una serie de diseños experimentales que tienen la forma de un simplex regular o irregular. Cada uno contiene todos los vértices excepto uno en común con el simplex precedente (¿antecedente?). El punto o vértice con las peores condiciones del proceso (según la variable respuesta) se refleja a una distancia adecuada a través del centroide de los vértices comunes. El nuevo simplex se complementa con un nuevo vértice. Hacia dónde moverse es claro. De esta manera el simplex-EVOP se mueve hacia un simplex adyacente. A manera de ejemplo, se muestra la figura 9.

**Figura 9.** Movimiento iterativo simplex-EVOP, Spendley y Himsworth (1962)



El proceso iterativo continúa hasta que se logra la optimización del proceso o hasta que el algoritmo cicla de un simplex a otro. Cuando esto último sucede, es un indicador de que se ha encontrado un óptimo local o se requiere de la reducción del tamaño del simplex. Este proceso continúa hasta que el simplex se hace lo suficientemente pequeño o la varianza de la variable respuesta se reduce. Spendley y Himsworth (1962) concluyen que la velocidad del avance hacia el óptimo es inversamente proporcional a la variación de la variable respuesta.

**Figura 10.** Cronología del cambio (continuación)



### 3.3 Arreglo híbrido completo

En la figura 11 se muestra la hoja de registro/arreglo por utilizar en el algoritmo híbrido propuesto. Independientemente de que el tratamiento de la variación, el movimiento de las operaciones básicas del simplex variable y de la inclusión de un arreglo  $2^2$  externo, para castigar la robustez del proceso en estudio, considérese aquí que corresponde a un factorial completo  $FF2^23^1$ , figura 12, por lo que cumple con el principio de ortogonalidad:

**Figura 11.** Algoritmo híbrido propuesto/hoja de trabajo

| No. Simplex | Vértice No. | Variable Control |       | Z1 | -1 | -1 | 1  | 1 | $\Sigma$ | $\bar{y}$ | $S^2$ | Res-puesta $R_d$ | Ranqueo $B, N_w, W$ |
|-------------|-------------|------------------|-------|----|----|----|----|---|----------|-----------|-------|------------------|---------------------|
|             |             | $x_1$            | $x_2$ | Z2 | -1 | 1  | -1 | 1 |          |           |       |                  |                     |
| 1           |             |                  |       |    |    |    |    |   |          |           |       |                  |                     |
| 1           |             |                  |       |    |    |    |    |   |          |           |       |                  |                     |
| 1           |             |                  |       |    |    |    |    |   |          |           |       |                  |                     |
| 2           |             |                  |       |    |    |    |    |   |          |           |       |                  |                     |
| 2           |             |                  |       |    |    |    |    |   |          |           |       |                  |                     |
| 2           |             |                  |       |    |    |    |    |   |          |           |       |                  |                     |
| 3           |             |                  |       |    |    |    |    |   |          |           |       |                  |                     |
| 3           |             |                  |       |    |    |    |    |   |          |           |       |                  |                     |
| 3           |             |                  |       |    |    |    |    |   |          |           |       |                  |                     |

**Figura 12.** Factorial completo  $FF2^23^1$

|         | C1 |    | C2 |    | Ruido |
|---------|----|----|----|----|-------|
| Control | B1 | B2 | B1 | B2 |       |
| A1      |    |    |    |    |       |
| A2      |    |    |    |    |       |
| A3      |    |    |    |    |       |

Como puede apreciarse, cada condición experimental del algoritmo híbrido, corresponde a las mismas 12 corridas del factorial completo. Desde luego que el tratamiento de la información y las condiciones iterativas continuas del proceso completo son diferentes.

### 3.3.1 Criterios de arranque y paro del algoritmo

Se han desarrollado muchos criterios para el arranque y paro de este tipo de algoritmos, entre ellos, los que proponen Parkinson y Hutchinson, que son los mismos de Nelder y Mead (1965):

$$\frac{1}{m} \sum_{t=0}^m (f_t - \bar{f})^2 < esp \quad (7)$$

Donde *esp* es un parámetro que define el grado de precisión que se desea y  $\bar{f}$  es una función promedio (respuesta promedio para el caso estocástico), de  $f_t \forall t$ , donde  $f_t$  es la secuencia de las evaluaciones de la función (las condiciones experimentales) indexadas respecto al tiempo  $t$ . El índice  $t$  indica el orden en que las evaluaciones se han realizado. De acuerdo con Sánchez-Leal (1991), otro criterio de paro del algoritmo tiene que ver con el tamaño del simplex. La búsqueda termina cuando el simplex se hace demasiado pequeño. Este criterio debe definir qué tan pequeño debe ser el simplex para ser detenido.

### 3.4 Superficie de respuesta

En este apartado, se hace un resumen detallado de la metodología de superficie de respuesta, ya que, a pesar de que en la literatura revisada no se menciona explícitamente, es la que más analogía tiene con nuestro algoritmo, dado que buscan los mismos objetivos bajo las mismas condiciones y bajo las mismas restricciones: simplemente son dos caminos diferentes.

En el área del diseño de experimentos, donde se busca encontrar la mejor combinación de parámetros de un proceso/diseño, de manera que las características de calidad

(salida del proceso) se encuentren en el nivel que el diseño busca, existen una gran variedad de metodologías, entre ellas, el método de superficie de respuesta. Primeramente, se describen las características y propiedades de este método, cómo trabaja, así como cuáles son sus fundamentos teóricos a través de un ejemplo práctico.

La optimización de una superficie de respuesta es un problema común a muchas áreas de la ingeniería y las ciencias, donde, por lo general, se busca encontrar el valor óptimo de una variable  $y$  para la cual existen una serie de variables predictoras  $x$ .

Cuando se conoce la relación entre la variable  $y$  y las variables  $x$ , a través del conocimiento físico, químico, vectorial, se dice que se tiene un **modelo mecánico** de la forma  $y = g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) + \varepsilon$  donde  $\varepsilon$  representa el “error” en el sistema. Sin embargo, el caso más común es aquel donde esta relación mecánica entre variables es desconocida y en la que el experimentador debe aproximar a la función  $g$  con un **modelo empírico** de la forma  $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) + \varepsilon$ . Generalmente, esta función  $f$  es un polinomio de primer o segundo orden. A este modelo empírico se le conoce como *superficie de respuesta*.

Llegar a un modelo adecuado de superficie de respuesta partiendo de datos experimentales requiere de disciplinas tales como fundamentos de diseños experimentales, modelos de regresión y métodos elementales de optimización. Al uso y aplicación de estas tres disciplinas en su conjunto se conoce como *metodología de superficies de respuesta*.

Generalmente el experimentador se concentra en una función desconocida que involucra una serie de variables de entrada controlables  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ , la relación entre estas variables es:

$$y = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) + \varepsilon \quad (8)$$

Donde  $\varepsilon$  se refiere al error estadístico (interno, blanco, inherente al sistema). Si se supone que este error estadístico tiene media cero y varianza  $\sigma^2$ , entonces podemos definir el valor esperado de esta función como:

$$\begin{aligned} E(y) &\equiv E[f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)] + E(\varepsilon) \\ &= f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) \end{aligned} \quad (9)$$

Esta ecuación se dice que representa los valores naturales de la función, mientras que la ecuación 21 representa los valores codificados.

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (10)$$

Esta es preferible, dado que representa una media cero, una variación igualmente distribuida y sin dimensiones.

Como ya se describió anteriormente, la mayoría de los procesos pueden modelarse con modelos de primer orden, simples o múltiples o con modelos de segundo orden, que pueden comprender un binomio o un polinomio. Entre los ajustes más comunes se encuentran los representados en las ecuaciones 22, 23 y 24.

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (11)$$

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (12)$$

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (13)$$

De manera general se puede describir un modelo de ajuste como:

$$\eta = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i < j=2}^k \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (14)$$

### 3.4.1 El proceso iterativo de RSM

Como muchas otras metodologías, RSM requiere de varios procesos experimentales, esto es, antes de llegar al punto de análisis del mejor modelo de ajuste de las variables controlables respecto a la respuesta buscada, de acuerdo con Myers *et al.* (2009). Este proceso consta de tres fases, a saber:

#### 3.4.1.1 Fase de tamizado (*screening*)

Cuando se inicia con este tipo de procesos de mejora, generalmente se desconoce con precisión estadística qué factores o variables de entrada son relevantes para la variable de salida o respuesta investigada. De aquí que es necesario pasar por la **fase cero**, esto es, se requiere conducir, al menos, un experimento que sirva para evaluar qué variables son significativas y cuáles no para la respuesta. La determinación previa de estas variables es por demás importante, dado que omitir esta parte llevará a un análisis ineficiente y costoso. Considérese aquí que en la mayoría de los casos se requiere más de un diseño experimental para llegar a este cribado del proceso.

#### 3.4.1.2 Fase de caracterización

Una vez que las variables independientes importantes se han determinado, empieza la **fase 1**, con la cual inicia el estudio de la superficie de respuesta. El objetivo en esta fase es determinar si los niveles de los factores llevan a la respuesta cercana al óptimo o si las condiciones actuales trabajan en una región lejana al óptimo. Si los niveles de los factores importantes son tales que la respuesta no se encuentra cercana al nivel deseado, es necesario que el experimentador ejecute una serie de ajustes a estos niveles,

de manera que la respuesta se acerque, al menos parcialmente, a una región aceptable de operación. Este proceso se conoce como “ascendente escalonado” o “descendente escalonado” (del inglés *steepest ascent*), según sea el caso. En esta fase se utilizan muchos modelos de primer orden (ecuaciones 23 y 24).

### 3.4.1.3 Fase de optimización

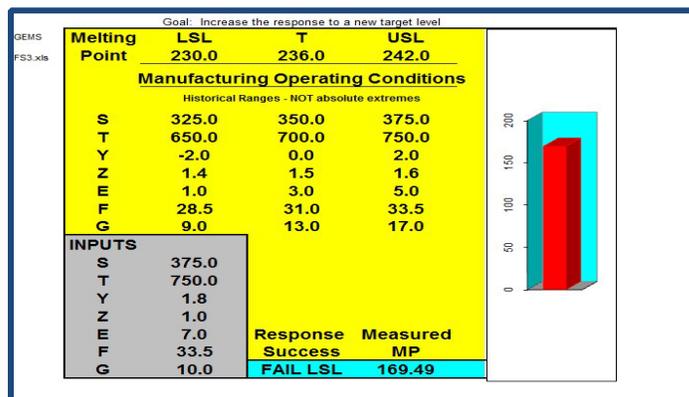
La **fase 2** de este proceso inicia cuando la respuesta se encuentra en una región que contiene o es cercana al óptimo buscado. En estos casos, generalmente se presenta curvatura en la región cercana al óptimo, por lo que un modelo de ajuste de segundo orden es necesario; ocasionalmente un modelo con un polinomio de primer orden es suficiente. Una vez determinada la mejor función de segundo orden —esto es, la que mejor explica la relación entre las variables independientes y la dependiente— el experimentador puede encontrar las mejores condiciones de operación de aquel proceso.

## 4. Desarrollo

### 4.1 Simulación en Excel

Previo a mostrar evidencias de optimización de funciones prueba y de procesos reales, se enseña una primera aproximación del algoritmo utilizando un simulador basado en Excel, el cual arroja un valor de respuesta para las condiciones planteadas a través de 7 variables. La función es desconocida. A manera de ejemplo se muestra la figura 13, donde se perciben el valor objetivo, los límites especificados y los límites históricos de los factores de interés.

Figura 13. Macrosimulador en Excel, fábrica 3



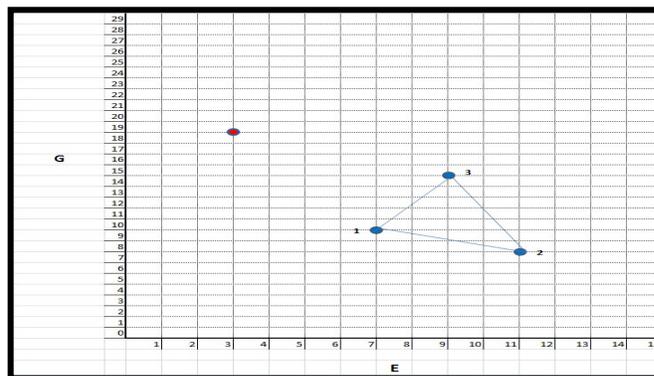
Para probar la capacidad de convergencia del algoritmo y su eficiencia, se seleccionaron dos variables de control y dos variables ruido:

Factores de Control:  $x_1$ : Variable E  $x_2$ : Variable G  
 Factores Ruido:  $Z_1$ : Variable Y;  $Z_2$ : Variable Z

Para las variables ruido, se seleccionaron dos niveles para cada una con el fin de buscar agregar variación a la respuesta. Los niveles seleccionados fueron 1.8 y 1.7 para la variable Y; 1.0 y 1.6 para la variable Z. Los niveles de los factores de control se seleccionaron intencionadamente lejos de los niveles óptimos. Estos se determinaron a través de diseños factoriales clásicos. El simplex inicial se muestra en la figura 14.

Una vez establecidos los vértices iniciales del primer simplex, se categorizan según la tabla 4.2, el mejor **B**, el cercano al peor **N<sub>w</sub>** y en el peor **W**.

Figura 14. Simplex inicial, factory 3



La hoja de trabajo se utiliza para registrar los resultados de la simulación, así como para llevar un control de las iteraciones y los vértices generados. Nuevamente, las operaciones subsecuentes se desarrollan según la tabla 4.2, buscando optimizar la repuesta: en este caso, llegar al objetivo de 236 unidades.

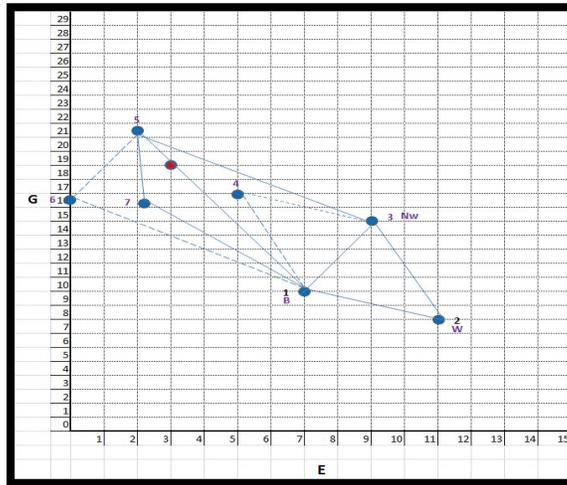
Las figuras 15 y 16 muestran los primeros vértices generados y los últimos calculados, respectivamente. Nótese que en el simplex 27-28 se ha detenido la búsqueda, dado que:

- El simplex se mueve recursivamente dentro de la misma área.
- La prueba de significancia de medias (Sánchez-Leal, 1991), es consistente en cuanto a la conclusión de medias iguales.
- El objetivo de la optimización se ha cumplido, ya que arroja niveles de capacidad real ( $Cp_k$ ) aceptables.

Hasta aquí, el algoritmo híbrido ha cumplido con sus propósitos de diseño, dado que:

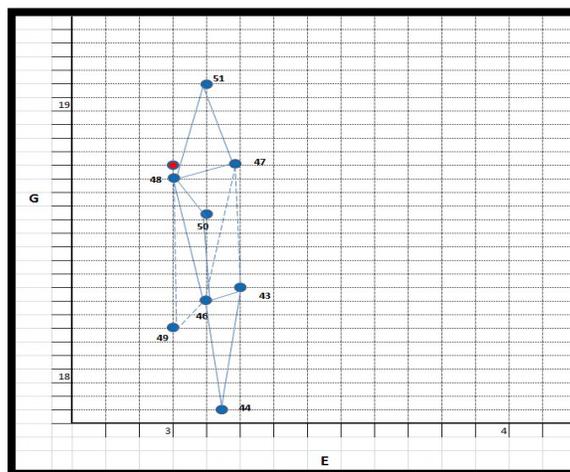
1. Es aplicable como una operación evolutiva (en un proceso continuo).
2. Converge al óptimo aun en condiciones de ruido.
3. Optimiza dualmente al considerar la media y la dispersión de las observaciones en cada vértice del simplex (ecuación 3.45).

**Figura 15.** Primeros vértices/operaciones, factory 3



En la figura 5.5 se muestran los últimos vértices/operaciones. Considérese aquí que la escala se ha aumentado, dado que los dos factores (E y G) se mueven dentro una unidad, aproximadamente.

**Figura 16.** Últimos Vértices del Ejercicio, factory 3



Como un reforzamiento de que se ha encontrado el óptimo, se han calculado los índices de capacidad del proceso. El índice de capacidad inicial se calculó en  $P_{pk} = -14.23$ , mientras que el índice de capacidad final fue de  $P_{pk} = 27.53$ .

Debe tenerse en cuenta que se utilizó un simulador en Excel que presenta dos características importantes: la primera tiene que ver con el hecho de que se desconocen las funciones que simulan la respuesta; este es precisamente el valor de su utilización, dado que ayuda a que el proceso de optimización sea heurístico. La segunda consideración es que la simulación de la variación interna es muy pequeña, por lo que una vez alcanzado el valor objetivo, la variación es mínima. Esta es la razón de que se observen valores de capacidad potenciales y reales muy altos.

#### **4.2 Respuesta dual para la minimización de la respuesta**

En la sección previa, se realizó una simulación utilizando la respuesta dual para un valor objetivo (ecuación 15), donde se buscó una respuesta de 236 unidades, según el ejemplo utilizado. En esta sección se hace un análisis considerando la respuesta dual para un objetivo de minimización, esto es, una diferencia de cero unidades entre el valor objetivo y la estimación dual de la respuesta sobre la base de la propuesta de Myers *et al.* (1992).

Asimismo, se hace una comparación con la metodología de superficie de respuesta. Es importante considerar nuevamente que, independientemente del tipo de aplicación en la medición de la respuesta, las metodologías son totalmente diferentes en cuanto a la aproximación que se hace en el proceso, es decir, *Armentum* propone el principio de operación continua, mientras que la metodología de superficie de respuesta necesita de una intervención “tradicional” en el proceso.

En esta nueva simulación, se utiliza la ecuación 3.44 en la que se considera el valor objetivo del proceso (236 para el ejemplo utilizado), así como tres desviaciones estándar. Esta variación es estimada a través de las réplicas del arreglo externo en el algoritmo híbrido propuesto:

$$R_d = |\bar{y} - 236| + 3S_x \quad (15)$$

En las tablas 1 y 2 se detallan los factores y niveles utilizados en esta nueva simulación. Considérese que se partió exactamente del mismo simplex inicial utilizado en la sección previa:

**Tabla 1.** Factores y variables ruido

| Variable | Min | Max |
|----------|-----|-----|
| Y        | 1.7 | 1.8 |
| Z        | 1.0 | 1.6 |

**Tabla 2.** Factores y variables de control  
(simplex)

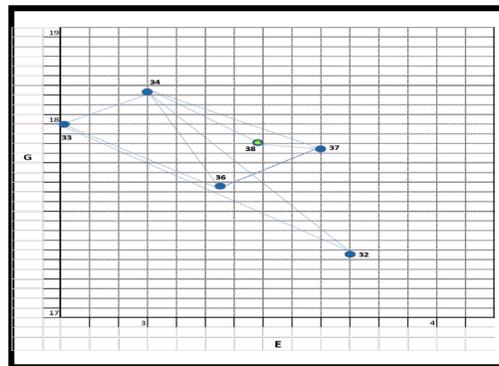
| Vértice<br>N.º | E  | G  |
|----------------|----|----|
| 1              | 7  | 10 |
| 2              | 11 | 8  |
| 3              | 9  | 15 |

En la figura 18 se muestran los últimos vértices y los simplex generados, mientras que en la figura 17 se observan los cálculos y resultados de esta nueva simulación. Nótese que en la hoja de trabajo del algoritmo *Armentum*, en el simplex 14, vértice 29, se encontró una combinación aceptable; sin embargo, se generaron más vértices intentando bajar aún más la respuesta dual. Esta considera el valor absoluto de la diferencia entre el promedio de las observaciones y el valor objetivo más tres desviaciones estándar (ecuación 15), por lo que el valor hipotético buscado es cero. Se puede observar que el simplex se movió lejos del valor objetivo, regresando nuevamente a aproximadamente las mismas coordenadas, en el simplex 18, vértice 38. Teniendo en cuenta el principio de recursividad, el algoritmo se detuvo.

Figura 17. Hoja de cálculo *Armentum*. Resultados segunda simulación

| Simplex No. | Vertice No. | Control Variable |        | Noise Y | 1.7    | 1.7    | 1.8    | 1.8    | $\Sigma$ | $\bar{y}$ | Sx       | Respuesta Dual Rd | Ranking/Operación B, N, W R, F, G, C |
|-------------|-------------|------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|-----------|----------|-------------------|--------------------------------------|
|             |             | E                | G      | Z       | -1     | -1     | 1      | 1      |          |           |          |                   |                                      |
| 1           | 1           | 7                | 10     |         | 170.32 | 168.99 | 170.04 | 168.11 | 677.46   | 169.365   | 1.013788 | 69.676365         | B                                    |
| 1           | 2           | 11               | 8      |         | 70.51  | 70.4   | 71.96  | 70.23  | 89.1     | 72.275    | 4.690135 | 272.34541         | W                                    |
| 1           | 3           | 9                | 15     |         | 70.25  | 70.67  | 73.68  | 70.87  | 285.47   | 71.3675   | 1.563167 | 169.322           | NW                                   |
| 1           | 4           | 5                | 17     |         | 220.68 | 220.8  | 220.41 | 220.89 | 882.78   | 220.695   | 0.208567 | 15.9307           | R                                    |
| 1           | 5           | 2                | 21.5   |         | 231.51 | 231.52 | 230.67 | 230.67 | 924.37   | 231.093   | 0.487878 | 6.3711342         | E                                    |
| 2           | 6           | 0                | 16.5   |         | 157.52 | 157.11 | 156.25 | 157.87 | 628.75   | 157.188   | 0.69792  | 80.906259         | R                                    |
| 2           | 7           | 2.25             | 16.125 |         | 221.57 | 221.65 | 220.65 | 220.82 | 884.69   | 221.173   | 0.510971 | 16.360414         | Cr                                   |
| 3           | 8           | 4.75             | 22.625 |         | 66.22  | 74.8   | 82.67  | 67.51  | -99.12   | -72.8     | 7.587213 | 331.56164         | R                                    |
| 3           | 9           | 4.06             | 13.456 |         | 220.34 | 219.85 | 219.07 | 219.7  | 878.96   | 219.74    | 0.523641 | 17.830223         | Cw                                   |
| 4           | 10          | 6.31             | 12.78  |         | 193.21 | 193.8  | 192.81 | 193.94 | 773.76   | 193.44    | 0.525801 | 44.137403         | R                                    |
| 4           | 11          | 4.73             | 13.71  |         | 221.05 | 221.06 | 220.7  | 220.3  | 883.09   | 220.773   | 0.354718 | 16.291655         | Cr                                   |
| 5           | 12          | 6.98             | 13.23  |         | 175.25 | 174.52 | 174.86 | 174.88 | 699.51   | 174.878   | 0.298259 | 62.017277         | R                                    |
| 5           | 13          | 4.79             | 13.2   |         | 218.16 | 218.28 | 218.47 | 218.28 | 873.19   | 218.298   | 0.12816  | 18.08698          | Cw                                   |
| 6           | 14          | 3.21             | 14.13  |         | 221.68 | 221.36 | 220.92 | 220.94 | 884.9    | 221.225   | 0.36492  | 15.86976          | R                                    |
| 6           | 15          | 1.66             | 14.81  |         | 199.16 | 198.39 | 198.33 | 196.98 | 792.86   | 198.213   | 0.909225 | 40.502275         | E                                    |
| 7           | 16          | 3.45             | 14.64  |         | 224.06 | 223.67 | 223.18 | 223.22 | 894.13   | 223.533   | 0.415963 | 13.725388         | R                                    |
| 7           | 17          | 2.33             | 15.36  |         | 218.45 | 217.67 | 217.17 | 217.47 | 870.76   | 217.69    | 0.546748 | 19.950244         | R                                    |
| 8           | 18          | 1.63             | 15.06  |         | 199.97 | 199.7  | 199.83 | 199.14 | 798.64   | 199.66    | 0.363776 | 37.431329         | R                                    |
| 8           | 19          | 3.96             | 14.05  |         | 224.94 | 225.3  | 224.36 | 224.33 | 898.93   | 224.733   | 0.471125 | 12.680874         | Cw                                   |
| 9           | 20          | 3.9              | 14.56  |         | 227.08 | 227.44 | 226.81 | 226.84 | 908.17   | 227.043   | 0.291247 | 9.831342          | R                                    |
| 9           | 21          | 4.245            | 14.775 |         | 227.39 | 227.6  | 227.23 | 227.51 | 909.73   | 227.433   | 0.160078 | 9.0477343         | E                                    |
| 10          | 22          | 5.025            | 14.185 |         | 219.41 | 219.13 | 218.87 | 218.94 | 876.25   | 219.088   | 0.261437 | 17.63681          | R                                    |
| 10          | 23          | 3.63             | 14.53  |         | 226.57 | 226.63 | 225.95 | 226.29 | 905.44   | 226.36    | 0.310913 | 10.572738         | Cw                                   |
| 11          | 24          | 3.945            | 14.255 |         | 230.25 | 230.18 | 229.58 | 229.72 | 919.73   | 229.933   | 0.333403 | 7.0647086         | R                                    |
| 11          | 25          | 3.89             | 15.36  |         | 232.05 | 232.05 | 231.66 | 231.36 | 927.12   | 231.78    | 0.334963 | 5.2248881         | E                                    |
| 12          | 26          | 4.52             | 16.1   |         | 228.37 | 228.02 | 228.37 | 228.08 | 912.84   | 228.21    | 0.186369 | 8.3491064         | R                                    |
| 13          | 27          | 4.45             | 17.28  |         | 232.24 | 232.14 | 232.04 | 231.6  | 928.02   | 232.003   | 0.282076 | 4.8412269         | R                                    |
| 13          | 28          | 4.11             | 18.39  |         | 231.67 | 231.75 | 231.5  | 231.29 | 926.21   | 231.553   | 0.203695 | 5.0585851         | E                                    |
| 14          | 29          | 3.49             | 18.15  |         | 236.4  | 236.21 | 235.72 | 235.72 | 944.05   | 236.013   | 0.346542 | 1.0521273         | R                                    |
| 14          | 30          | 2.98             | 19.17  |         | 236.93 | 236.75 | 236.31 | 236.18 | 946.17   | 236.543   | 0.355282 | 1.6089447         | E                                    |
| 15          | 31          | 3.2              | 21.7   |         | 229.86 | 230.15 | 229.17 | 229.47 | 918.65   | 229.663   | 0.43061  | 7.6293301         | R                                    |
| 15          | 32          | 3.72             | 17.32  |         | 234.95 | 234.98 | 234.46 | 234.56 | 938.95   | 234.733   | 0.260944 | 2.0503314         | Cw                                   |
| 16          | 33          | 2.59             | 18.01  |         | 233.97 | 233.85 | 233.07 | 233.14 | 934.03   | 233.508   | 0.468215 | 3.8971441         | R                                    |
| 16          | 34          | 2.97             | 18.17  |         | 236.38 | 236.48 | 235.67 | 235.71 | 944.24   | 236.06    | 0.429496 | 1.3488875         | Cr                                   |
| 17          | 35          | 1.84             | 18.86  |         | 228.12 | 227.73 | 226.85 | 226.59 | 909.29   | 227.323   | 0.721543 | 10.84213          | R                                    |
| 17          | 36          | 3.25             | 17.71  |         | 236.25 | 236.19 | 235.51 | 235.88 | 943.83   | 235.958   | 0.339546 | 1.0611388         | Cw                                   |
| 18          | 37          | 3.63             | 17.87  |         | 235.54 | 235.75 | 235.08 | 235.14 | 941.51   | 235.378   | 0.321494 | 1.5869817         | R                                    |
| 18          | 38          | 3.37             | 17.905 |         | 236.42 | 236.34 | 235.89 | 235.87 | 944.52   | 236.13    | 0.290631 | 1.0018945         | Cr                                   |

Figura 18. Iteraciones finales, segunda simulación



Un medio muy utilizado en la industria para verificar si se encuentra en un nivel óptimo es el índice de capacidad  $Pp_k$ , se presenta un análisis comparativo de este índice más adelante.

#### 4.2.1 Comparación con el análisis de superficie de respuesta

Una de las herramientas aplicadas con una gran fortaleza matemática y metodológica en cuanto a la optimización de ciertos procesos es la metodología de superficie de respuesta. Nuevamente, la intervención en el proceso es muy diferente a como lo hace la propuesta que se presenta en este documento. La metodología de superficie de respuesta es una intervención invasiva en el proceso, esto es, el proceso se detiene, se ejecutan corridas prediseñadas, se recaba la información y se hace el análisis estadístico/matemático correspondiente. La esencia de la operación evolutiva es la base de *Armentum*. El proceso se optimiza mientras está corriendo. Se presenta a continuación un comparativo entre las dos metodologías para medir la eficiencia de ellas, una respecto a la otra.

El análisis de superficie de respuesta se realiza partiendo del mismo punto inicial, tal como se hizo con *Armentum*, para este caso, se seleccionaron los puntos previamente categorizados como el mejor (**B**) y cercano al mejor (**N<sub>w</sub>**), utilizando sus coordenadas como los valores mínimo y máximo para las variables de control (la tabla 3 muestra el arreglo). Las variables ruido no se incluyen en la estimación del modelo, sin embargo, se han mantenido las mismas condiciones, esto es, las réplicas calculadas se generaron igualmente según las combinaciones del arreglo externo  $2^2$  utilizado en la simulación con *Armentum*.

**Tabla 3.** Arreglo de niveles para superficie de respuesta

| Ranqueo del Vértice                      | Variable E ( $X_1$ ) | Variable G ( $X_2$ ) |
|------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Mejor ( <b>B</b> )                       | 7                    | 10                   |
| Cercano al peor ( <b>N<sub>w</sub></b> ) | 9                    | 15                   |

Para el análisis de superficie de respuesta, es recomendable que se codifiquen los datos de los valores naturales de las variables; en este caso, se ha utilizado la ecuación 16:

$$\varepsilon = \frac{x_i - [Max(x_i) + Min(x_i)]/2}{[Max(x_i) - Min(x_i)]/2} \quad (16)$$

Para el factor E tenemos:

$$\varepsilon_1 = \frac{x_1 - \frac{[9 + 7]}{2}}{(9 - 7)/2} = x_1 - 8$$

Para el factor G tenemos:

$$\varepsilon_1 = \frac{x_2 - \frac{[15 + 10]}{2}}{(15 - 10)/2} = \frac{x_2 - 12.5}{2.5}$$

En la tabla 4 se muestran las conversiones correspondientes:

**Tabla 4.** Codificación y conversiones

| Factor E             |               | Factor G             |               |
|----------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Unidades codificadas | Valor natural | Unidades codificadas | Valor natural |
| -1                   | 7             | -1                   | 10            |
| 1                    | 9             | 1                    | 15            |
| 0                    | 8             | 0                    | 12.5          |
| 1.414                | 9.414         | 1.414                | 16.035        |
| -1.414               | 6.586         | -1.414               | 8.965         |

Se prepara el arreglo en Minitab<sup>®</sup>, figura 19, y se ejecutan las corridas. Se utiliza un diseño central compuesto con cuatro puntos axiales. Al igual que con el algoritmo propuesto, se utiliza la respuesta dual, según la ecuación 15.

**Figura 19.** Arreglo en Minitab<sup>®</sup>

|    | C1     | C2     | C3    | C4     | C5     | C6     | C7     | C8     | C9      | C10      | C11      | C12    | C13    | C14 |
|----|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|--------|--------|-----|
|    | X1     | X2     | E     | G      | r01    | r02    | r03    | r04    | Rd      | StdOrder | RunOrder | Blocks | PtType |     |
| 1  | -1.000 | -1.000 | 7.000 | 10.000 | 168.65 | 170.56 | 166.69 | 170.24 | 72.282  | 1        | 1        | 1      | 1      |     |
| 2  | -1.000 | 1.000  | 7.000 | 15.000 | 170.35 | 168.33 | 169.70 | 168.52 | 69.668  | 2        | 2        | 1      | 1      |     |
| 3  | 1.000  | -1.000 | 9.000 | 10.000 | 94.54  | 92.58  | 90.80  | 94.08  | 148.066 | 3        | 3        | 1      | 1      |     |
| 4  | 1.000  | 1.000  | 9.000 | 15.000 | 70.67  | 72.70  | 70.51  | 67.12  | 172.688 | 4        | 4        | 1      | 1      |     |
| 5  | 0.000  | 0.000  | 8.000 | 12.500 | 136.14 | 134.72 | 136.85 | 136.95 | 102.921 | 5        | 5        | 1      | 1      |     |
| 6  | 0.000  | 0.000  | 8.000 | 12.500 | 134.35 | 136.59 | 138.36 | 136.43 | 104.490 | 6        | 6        | 1      | 1      |     |
| 7  | 0.000  | 0.000  | 8.000 | 12.500 | 134.05 | 135.12 | 137.92 | 137.28 | 105.348 | 7        | 7        | 1      | 1      |     |
| 8  | 0.000  | 0.000  | 8.000 | 12.500 | 135.15 | 136.64 | 135.92 | 137.18 | 102.423 | 8        | 8        | 1      | 1      |     |
| 9  | 0.000  | 0.000  | 8.000 | 12.500 | 135.62 | 136.06 | 135.74 | 136.77 | 101.501 | 9        | 9        | 1      | 1      |     |
| 10 | 1.414  | 0.000  | 9.414 | 12.500 | 60.06  | 65.81  | 63.53  | 63.07  | 179.976 | 10       | 10       | 1      | 1      |     |
| 11 | -1.414 | 0.000  | 6.586 | 12.500 | 186.47 | 187.89 | 188.47 | 185.22 | 53.370  | 11       | 11       | 1      | 1      |     |
| 12 | 0.000  | 1.414  | 8.000 | 16.035 | 117.61 | 118.45 | 116.82 | 118.02 | 120.357 | 12       | 12       | 1      | 1      |     |
| 13 | 0.000  | -1.414 | 8.000 | 8.965  | 133.08 | 135.89 | 134.61 | 135.89 | 105.140 | 13       | 13       | 1      | 1      |     |

En las figuras 20 y 21 se muestran los resultados que arroja el *software* sobre el análisis de superficie de respuesta:

**Figura 20.** Constantes del modelo de regresión

| Response Surface Regression: Rd versus X1, X2        |         |        |         |       |
|------------------------------------------------------|---------|--------|---------|-------|
| The analysis was done using coded units.             |         |        |         |       |
| Estimated Regression Coefficients for Rd             |         |        |         |       |
| Term                                                 | Coef    | SECoef | T       | P     |
| Constant                                             | 103.337 | 0.5767 | 179.173 | 0.000 |
| X1                                                   | 44.735  | 0.4560 | 98.105  | 0.000 |
| X2                                                   | 5.441   | 0.4560 | 11.933  | 0.000 |
| X1*X1                                                | 6.911   | 0.4891 | 14.130  | 0.000 |
| X2*X2                                                | 4.948   | 0.4891 | 10.117  | 0.000 |
| X1*X2                                                | 6.809   | 0.6448 | 10.560  | 0.000 |
| S = 1.28963 PRESS = 28.6695                          |         |        |         |       |
| R-Sq = 99.93% R-Sq(pred) = 99.83% R-Sq(adj) = 99.88% |         |        |         |       |

**Figura 21.** Análisis de varianza para la respuesta Rd

| Analysis of Variance for Rd |    |         |         |         |         |       |
|-----------------------------|----|---------|---------|---------|---------|-------|
| Source                      | DF | Seq SS  | Adj SS  | Adj MS  | F       | P     |
| Regression                  | 5  | 16877.4 | 16877.4 | 3375.5  | 2029.57 | 0.000 |
| Linear                      | 2  | 16244.0 | 16244.0 | 8122.0  | 4883.49 | 0.000 |
| X1                          | 1  | 16007.1 | 16007.1 | 16007.1 | 9624.58 | 0.000 |
| X2                          | 1  | 236.8   | 236.8   | 236.8   | 142.40  | 0.000 |
| Square                      | 2  | 448.0   | 448.0   | 224.0   | 134.67  | 0.000 |
| X1*X1                       | 1  | 277.7   | 332.1   | 332.1   | 199.67  | 0.000 |
| X2*X2                       | 1  | 170.2   | 170.2   | 170.2   | 102.36  | 0.000 |
| Interaction                 | 1  | 185.5   | 185.5   | 185.5   | 111.51  | 0.000 |
| X1*X2                       | 1  | 185.5   | 185.5   | 185.5   | 111.51  | 0.000 |
| Residual Error              | 7  | 11.6    | 11.6    | 1.7     |         |       |
| Lack-of-Fit                 | 3  | 1.9     | 1.9     | 0.6     | 0.26    | 0.853 |
| Pure Error                  | 4  | 9.8     | 9.8     | 2.4     |         |       |
| Total                       | 12 | 16889.0 |         |         |         |       |

Como puede verse, la probabilidad de cometer el error alfa, valor-p, es inferior a 0.05, por lo que en todos los casos es permisible rechazar la hipótesis nula, esto es, todos los coeficientes considerados en el modelo son fuente de variación. Los datos se ajustan significativamente a un modelo de segundo orden, incluyendo la interacción entre las dos variables de control.

Para estos casos, Montgomery (1997) propone el siguiente análisis canónico; como primer paso, debe encontrarse el punto estacionario, definido como:

$$x_s = -\frac{1}{2}B^{-1}b \quad (17)$$

En este caso tenemos que:

$$B = \begin{bmatrix} 6.911 & 3.4045 \\ 3.4045 & 4.948 \end{bmatrix} \text{ y } b = \begin{bmatrix} 44.735 \\ 5.441 \end{bmatrix}$$

Entonces:

$$x_s = \begin{bmatrix} -4.48628 \\ 2.536994 \end{bmatrix}$$

El valor pronosticado para este punto estacionario es:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2} x'_s b \quad (18)$$

Entonces:

$$\hat{y} = 9.891972$$

Dado que este punto estacionario está codificado, es necesario estimar sus valores en la escala natural de las variables, de manera que estos valores se puedan utilizar en el simulador y obtener las respuestas correspondientes. Utilizando nuevamente la ecuación 18, tenemos que:

$$x_1 = \varepsilon_1 + 8 = -4.48628 + 8 = 3.51372 = E$$

y

$$x_2 = 2.5\varepsilon_2 + 12.5 = (2.5 * 2.536994) + 12.5 = 18.842485 = G$$

Utilizando este punto estacionario en el simulador, generando cuatro réplicas para calcular la respuesta dual, se obtiene una estimación de esta de:

$$\hat{y} = 1.65$$

Utilizando la transformación canónica propuesta por Montgomery (1997), tenemos:

$$[B - \lambda I] = 0 \quad (19)$$

Llegando a:

$$\begin{bmatrix} 6.911 - \lambda & 3.4045 \\ 3.4045 & 4.948 - \lambda \end{bmatrix} = 0$$

De aquí que la función canónica es:

$$\lambda^2 - 11.859\lambda + 22.605 = 0$$

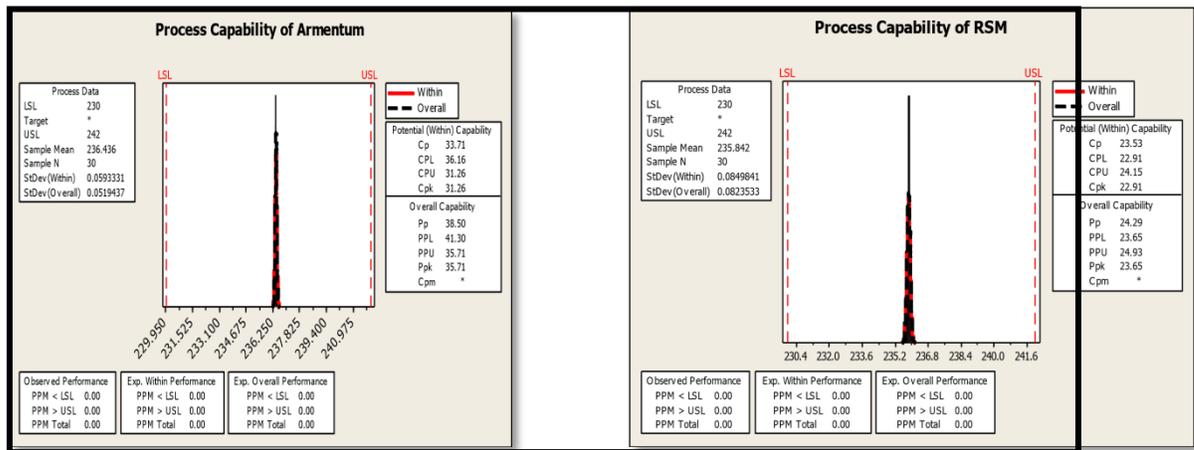
Las raíces de esta función son (Eigen Valores):

$$\lambda_1 = 9.47265 \text{ y } \lambda_2 = 2.38635$$

Dado que ambas raíces,  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  son positivas, se puede concluir que el punto estacionario es un mínimo.

Finalmente, se han comparado los índices de capacidad entre las dos metodologías. Como puede verse, el  $P_{pk}$  para el algoritmo *Armentum* es mayor que el obtenido para superficie de respuesta. En ambos casos se utilizaron 30 réplicas de cada combinación considerada como la mejor. En la figura 24 se muestran estos resultados.

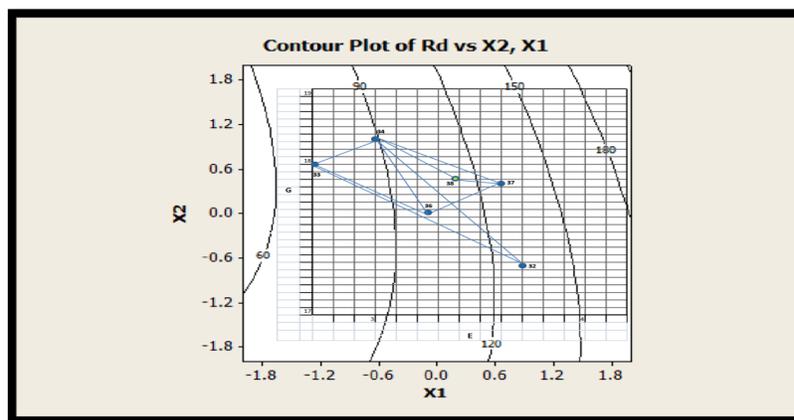
**Figura 22.** Comparación de índice de capacidad, *Armentum*



Debe observarse con atención que la propuesta de Myers *et al.* (1992), en la que se utiliza el valor absoluto de la diferencia entre la media de las observaciones y el valor objetivo, más tres desviaciones estándar, mostró una mejor eficiencia que la propuesta de la ecuación (15) utilizada en la primera simulación. En esta primera simulación, fue necesario generar 51 vértices, mientras que en la segunda simulación, con esta nueva respuesta dual, solo fueron necesarias 29 iteraciones.

A manera de comparativa visual, en la figura 25 se muestran los contornos de respuesta generados a partir del análisis RSM y los últimos vértices del algoritmo *Armentum*:

**Figura 23.** Comparativo gráfico, *Armentum* vs. RSM



Nuevamente considérese que los valores de  $P_{pk}$  altos, mostrados en la figura 24, pueden apreciarse mejor si se considera que la variación aleatoria incluida en el simulador es muy pequeña, esto es, una vez que se llega al óptimo local y dada la amplitud

de las tolerancias, se obtienen estos valores altos. Solo se presentan a manera de comparativo entre las dos metodologías.

## 5. Conclusiones

Este análisis demuestra que ambas metodologías son equivalentes en cuanto al cumplimiento del objetivo: encontrar un óptimo (local) para la respuesta del proceso en estudio, sin embargo, no debe perderse de vista cómo trabajan ambos métodos. Mientras que para el análisis de superficie de respuesta se requiere de un diseño experimental clásico (detener producción, generar producto no conformante, utilizar recursos extraordinarios, etcétera), para el algoritmo de búsqueda directa *Armentum* solo se necesita del diseño inicial de tres corridas experimentales (las subsecuentes las calcula el algoritmo). Esto permite el proceso iterativo continuo, en producción normal, sin la necesidad de recursos extraordinarios.

## 6. Recomendaciones

Aun cuando este algoritmo ya ha sido comprobado en campo con varios casos de estudio exitosos, quedan pendientes muchas líneas de investigación, entre ellas:

- Desarrollar este algoritmo para aplicarse en variables discretas.
- Incluir un análisis de regresión continuo y autoalimentado al algoritmo, de manera que sea posible predecir alguna respuesta que lleve a generar producto no conformante y así reajustar el proceso antes de evaluar ese paso en las iteraciones.

En todas las pruebas realizadas, fuesen con funciones de prueba o en los casos reales, se observó que en las primeras operaciones de reflexión el algoritmo mueve las coordenadas lejos de la zona inicial, lo que en procesos reales implica material no conformante; aun cuando el proceso ajusta inmediatamente a coordenadas más cercanas al proceso conocido, es recomendable incluir en el paquete computacional desarrollado una opción para reducir el valor de alfa (en la operación de reflexión) en las primeras iteraciones.

Como ya se indicó, también es recomendable incluir la viabilidad de modificar los valores de alfa, beta, gamma y delta dentro del *software* para evaluar sus efectos en el proceso (función) por optimizar.

Debe desarrollarse al arreglo *Armentum* en el concepto poli-simplex, esto es, así como se diseñó correr tres simplex independientes, para 6 variables de control, se puede diseñar la opción de que, en lugar de ejecutar esta opción con el algoritmo del simplex variable, se haga con el arreglo de dos variables de control y dos variables ruido. Se tendría entonces un diseño *poliarmentum*.

Una gran cantidad de equipos y máquinas cuentan hoy en día con su propio *software* interno; pensando en la industria 4.0, puede interconectarse a este *software* del equipo el paquete *Armentum*, de manera que la búsqueda del óptimo en ese proceso se lleve de manera continua.

Se recomienda desarrollar la aplicación del polisimplex para más de 6 dimensiones. La mayoría de los procesos industriales manejan pocas variables de control, aunque este desarrollo servirá para robustecer el concepto del polisimplex, principalmente en lo que se refiere a la pérdida de eficiencia de este tipo de algoritmos cuando aumenta el número de dimensiones.

## Referencias

- Box, G. E. (1957). Evolutionary Operation: A Method for Increasing Industrial Productivity. *Applied Statistics*, 6(2), 110-5.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Callado, C., Baptista, L. (2010). *Metodología de la Investigación* (5.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Khorsandi, A., Alimardani A., Vahidir B. and Hosseinian S.H. (2010). Hybrid shuffled frog leaping algorithm and Nelder-Mead simplex search for optimal reactive power dispatch. *Published in IET Generation, Transmission y Distribution*, 5(2), 249-256.
- Montgomery, D. C. (1997). *Design and Analysis of Experiments* (4<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- Myers, H., Montgomery, D. and Anderson-Cook, Ch. (2009). *Response Surface Methodology* (3.<sup>a</sup> ed.). Wiley.
- Myers, R. H., Andre, I. K. and Geoffrey, V. (1992). Response Surface Alternatives to the Taguchi Robust Parameter Design Approach. *The American Statistician*, 46(2).
- Nelder, J. A. and Mead, R. (1965). A Simplex Method for Function Minimization. *Computer Journal*, 7, 308-13.
- Parkinson, J. M. and Hutchinson, D. (1971). An Investigation into the Efficiency of Variants on the Simplex Method. *Numerical Methods for Non-Linear Optimization* (Lootsma, F. A. Ed.). Academic Press, London. 115-35.
- Ryan, T. P. (1989). *Statistical Methods for Quality Improvement*. John Wiley.
- Sánchez-Leal, J. (1991). *Method of experimental optimization* (doctoral dissertation). New Mexico State University.
- Spendley, W. and Himsworth F.R. (1962). Secuential Applications of Simplex Designs in Optimization and EVOP. *Technometrics*, 4(4), 441- 61.

# Desarrollo organizacional: un modelo

## Organizational Development: A Model

**Alfonso Aldape Alamillo**†

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

aaldape@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8921-9479>

**Francisco Zorrilla Briones**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

fzorrilla@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0553-9841>

**Juan Pedro Benítez Guadarrama**

Universidad Autónoma del Estado de México, México

jpbenitezg@uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2826-6359>

## Resumen

La definición etimológica del término *diagnóstico* procede de dos palabras: *dia* que significa ‘a través’ y *gnosis* que significa ‘conocer’. Se puede definir al diagnóstico organizacional como un proceso de acopio de información y análisis que permite conocer la situación de la organización en un momento dado para identificar sus fortalezas y debilidades. Así, el diagnóstico es un instrumento metodológico que a partir de determinados procedimientos nos ayuda a descubrir e interpretar los problemas más significativos que afectan la eficiencia y efectividad del desempeño de un individuo, un grupo, un sector o un sistema. En este capítulo se presenta el procedimiento seguido para desarrollar un modelo de desarrollo organizacional (DO) para aplicarlo en un diagnóstico organizacional en una empresa transnacional.

**Palabras clave:** desarrollo organizacional, diagnóstico organizacional, modelo

## Abstract

*The etymological definition of the term diagnosis comes from two words: day which means through and gnosis which means to know. Organizational diagnosis can be*

*defined as a process of gathering information and analyzing it that allows us to know the situation of the organization at a given time to identify the strengths and weaknesses of the company. Thus, diagnosis is a methodological instrument that from certain procedures helps us to discover and interpret the most significant problems that affect the efficiency and effectiveness of the performance of an individual, a group, a sector or a system. This chapter presents the procedure followed to develop an Organizational Development (DO) model to apply it in an organizational diagnosis in a transnational company.*

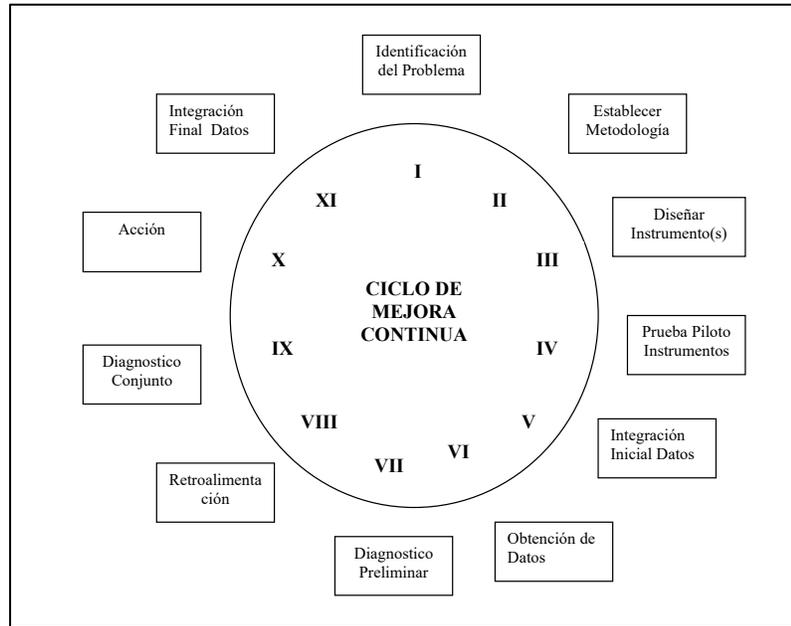
**Keywords:** *organizational development, organizational diagnosis, model.*

## **Introducción**

La forma de llevar a cabo un diagnóstico organizacional no ha sido estandarizada, por lo que cada empresa con su consultor (externo o interno) pueden acordar su propio modelo. Con el fin de implementar un programa de desarrollo organizacional, se propuso a la dirección de una empresa transnacional efectuar un diagnóstico organizacional de las seis empresas establecidas en la localidad. Esta propuesta fue aceptada y se acordó desarrollar el diagnóstico según el modelo mostrado en la figura 1, el cual tiene como fundamento la tendencia globalizada de mejora continua en las empresas.

El diagnóstico organizacional será exitoso siempre y cuando se cumplan ciertos requisitos básicos: compromiso de respaldo e intención de cambio por parte de la alta gerencia, así como dar facilidades al consultor para obtener la información pertinente, quien debe comprometerse a manejarla de manera confidencial e impersonal. Los resultados generales del diagnóstico deben ser proporcionados a las fuentes que facilitaron la información. Los directivos de AEJ1, conscientes de que el éxito o fracaso del diagnóstico depende en gran medida de la información que se tiene en la empresa, estuvieron pendientes de que se cumplieran los acuerdos que hizo con el consultor externo.

**Figura 1. Modelo de desarrollo organizacional**



Fuente: Alfonso Aldape Alamillo

## Planteamiento del problema

El diagnóstico organizacional es una estrategia que permite evaluar diversos factores relacionados con la empresa y el personal, los cuales influyen de manera determinante en el éxito o fracaso de esta. Es difícil conseguir una consultoría industrial y más aún para intervenir en cierto tipo de proyectos de la importancia y duración de un diagnóstico organizacional que sirve como base para actividades de mejoramiento continuo.

¿Quién debe realizar el diagnóstico? Se tienen tres opciones: confiar solamente en las personas que no sean parte de la organización, en miembros de la organización y en los esfuerzos conjuntos de los de afuera y adentro. El peso de la opinión favorece claramente el tercer enfoque, puesto que combina los beneficios de los dos primeros.

Por interés profesional del consultor se buscó una empresa que pudiera interesarse en efectuar un diagnóstico organizacional utilizando un agente externo. Sin embargo, se presentó un problema: ninguna de las empresas contactadas tenía experiencia en este tipo de proyectos.

Afortunadamente, el CEO de una corporación que tiene varias empresas en el país aceptó conceder tiempo para explicar a él y a algunos de sus directores en qué podría consistir el diagnóstico organizacional y los beneficios de este para la empresa. Se programaron varias reuniones con los dirigentes de la organización; como resultado de esas

reuniones y análisis de diversos métricos usados por la organización (los cuales por confidencialidad no pueden mostrarse) se concluyó que entre “problemas” de costos, cantidad y calidad de producción, tiempos muertos, etc., la empresa consideraba su principal “problema” el poco tiempo de retención de personal operativo debido a la alta rotación, ausentismo e impuntualidad.

Se logró llegar al acuerdo de que aquello que se consideraba como problemas en realidad eran los efectos de una o más causas (problemas). Con este nuevo enfoque se concluyó que la corta estadía en el trabajo del personal operativo pudiera ser la causa de diversos problemas en el área de manufactura y a su vez era el efecto de múltiples causas.

Por lo anterior, se autorizó efectuar un diagnóstico del clima organizacional para una de las empresas (que llamaremos AEJ1) y con posibilidad de que se hiciera para las otras cuatro empresas establecidas en Ciudad Juárez, así como en las otras del país y en Colombia. Además, debido a que la empresa usa una adaptación del método de producción Toyota, se autorizó llevar a cabo un diagnóstico del grado de utilización de técnicas de manufactura esbelta en la empresa.

A continuación, se presenta el marco teórico que sirvió de fundamento para efectuar las reuniones mencionadas anteriormente.

## **Marco teórico**

En la actualidad la llamada globalización ha llevado a las empresas a tomar una serie de medidas que les permita enfrentar eficaz y eficientemente los cambios necesarios para mantenerse competitivas en el mercado. Si una organización olvida que es un sistema abierto —es decir, un sistema de interacción con su entorno— es probable que se encuentre con una gran cantidad de problemas que dificulten su permanencia en el mercado. A medida que cambia el entorno, la organización se debe adaptar.

AEJ1 —una empresa maquiladora establecida en Cd. Juárez— es parte de una corporación transnacional de capital japonés que, al decidir hacer un diagnóstico organizacional, está incursionando en el paradigma del desarrollo organizacional (DO) con el fin de instrumentar un cambio individual y organizacional para que la empresa pueda adaptarse a las fuerzas de cambio. Los directivos de AEJ1 entendieron que como organización es un sistema sociotécnico incluido en otro más amplio, que es la sociedad con la que interactúa influyéndose mutuamente. Un sistema social constituido por individuos y grupos de trabajo que responden a una determinada estructura y dentro de un

contexto al que controla parcialmente y que desarrolla actividades aplicando recursos con el fin de lograr ciertos objetivos comunes y que mediante DO buscaría perfeccionar el sistema, asegurándose de que sus componentes sean armoniosos y congruentes.

Pero ¿qué es desarrollo organizacional? A la fecha se han planteado una gran cantidad de definiciones de desarrollo organizacional. Una de las más difundida es la de Beckhard (1969): “Un esfuerzo: (a) planeado, (b) que cubre a la organización, (c) administrado desde la alta dirección, (d) que incrementa la efectividad y la salud de la organización, mediante (e) la intervención deliberada en los procesos de la organización utilizando el conocimiento de las ciencias de la conducta”.

Murray y Schmuck (1972) dicen que el DO puede definirse como un esfuerzo planeado y continuo para aplicar las ciencias de la conducta y mejoramiento de los sistemas, utilizando métodos reflexivos y autoanalíticos.

Según Beer (1980), las metas del DO son 1) incrementar la congruencia entre la estructura, el proceso, la estrategia, las personas y la cultura de la organización, 2) desarrollar soluciones nuevas y creativas para la organización y 3) desarrollar la capacidad de la organización de renovarse por sí misma.

Para Porras y Robertson (1992) el DO es una serie de teorías, valores, estrategias y técnicas basadas en las ciencias de la conducta y orientadas al cambio planificado del escenario de trabajo de una organización con el propósito de incrementar el desarrollo individual y de mejorar el desempeño de la organización mediante la alteración de las conductas, la investigación y la teoría.

French y Cecil (1996) lo definen en una forma simple: el DO es un cambio planeado en el contexto de una organización. Aldape *et al.* (2009) afirman lo siguiente:

Uno de los problemas principales de las llamadas ciencias administrativas y de la conducta es la falta de acuerdo en sus definiciones. Por ejemplo, para desarrollo organizacional se tienen gran cantidad de definiciones que, sin embargo, tienen en común la palabra cambio: ... “formas de cambiar la organización”, “ambiente cambiante”, “divulgar el cambio”, etc. y ya que el cambio se lleva a cabo dentro de una organización, la cual debe ser considerada como un sistema social, DO puede ser definido como un cambio social (p. 83).

Más adelante, Aldape *et al.* (2009) agregan:

Consideramos Desarrollo Organizacional (DO) como una disciplina que mediante una estrategia compleja intenta mejorar la efectividad y bienestar de una

organización por medio de una intervención planeada por un consultor o agente de cambio usando teoría y técnicas de las ciencias del comportamiento (párrafo 2).

Tomando en cuenta las anteriores definiciones, consideramos para el trabajo que se pretende desarrollar en AEJ1 la siguiente definición: desarrollo organizacional, más que un enfoque o concepto, es una estrategia compleja de cambio social que intenta la mejora continua de la eficiencia y efectividad de una organización mediante una intervención planeada usando teoría y técnicas de varias ciencias principalmente las del comportamiento y la de sistemas.

Bajo la perspectiva de la teoría de sistemas, es recomendable que antes de aplicar la innovación o cambio en una parte del sistema debe de preverse el impacto que tendrá entre los otros elementos del sistema. Además, la evidencia que se tiene a la fecha sugiere que cualquier cambio organizacional (un cambio planificado) no puede ser llevado a cabo sin considerar el contexto físico, social y psicológico en el cual está establecida la organización.

Para los autores, los objetivos ideales hacia los cuales todo cambio organizacional (cambio social) debe ser dirigido son el impactar de manera positiva en:

- la organización mediante la mejora de su efectividad, su eficiencia y su productividad,
- los individuos de la organización mediante la satisfacción de sus necesidades,
- el medio ambiente interno de la organización y
- en el medio ambiente que se encuentra establecida la organización.

Una vez logrado el acuerdo de efectuar un diagnóstico del clima organizacional y del estado actual del programa de manufactura esbelta, se procedió a preparar la siguiente metodología para llevar a cabo el proyecto:

## **Metodología**

El diagnóstico del clima organizacional es una parte fundamental de un programa de desarrollo organizacional, ya que sirve para identificar aquellos factores que inciden positiva o negativamente en la eficiencia y efectividad de la empresa y permite crear una base de datos que ayudan a la administración en la toma de decisiones.

Desarrollo organizacional es una forma o filosofía de trabajo que una vez adoptada por una empresa no debe de abandonarse, ya que se perdería la esencia misma de DO

(la mejora continua). Por ello, la metodología recomendada para este proyecto se basa en un modelo de DO diseñado específicamente para esta empresa, acuerdo tomado con los directivos, pero que puede ser aplicado a cualquier tipo de organización. Las bases teóricas del modelo ya se mencionaron previamente, y con los antecedentes de diversos modelos de DO el que se propuso y aceptó para AEJI se describe a continuación.

#### **4.1 Un modelo de desarrollo organizacional para AEJI**

La literatura muestra una gran cantidad de modelos de DO. Lewin (1951) propone uno de cambio en tres etapas: 1) descongelar la antigua conducta o situación, 2) moverla a un nuevo nivel de conducta y 3) volver a congelar la conducta o situación en el nuevo nivel.

A su vez, Leppitt *et al.* (1958) amplían el modelo anterior a siete fases que incluyen la utilización de un agente de cambio:

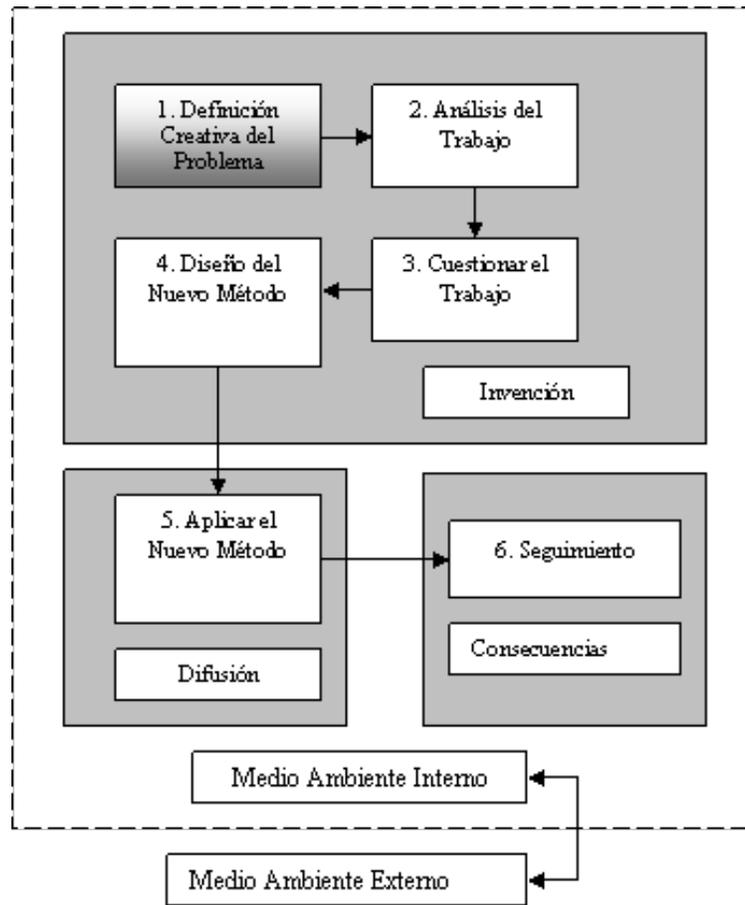
1. Desarrollar o detectar una necesidad para el cambio.
2. Establecer una relación de cambio: cliente-agente.
3. Diagnóstico del problema.
4. Establecer metas e intenciones de acción.
5. Transformar las intenciones en esfuerzos reales.
6. Generalizar y estabilizar el cambio.
7. Terminar la relación cliente-consultor.

Kolb y Frohman (1970) y Burke (1994) proponen modelos similares donde recomiendan el uso del *road mapping*, término que en manufactura esbelta se le conoce actualmente como *mapeo* para detectar puntos de oportunidad donde conviene hacer cambios.

Kilma (1989) propone un modelo de cambio del sistema total en cinco etapas secuenciales: 1) iniciar el programa, 2) diagnosticar los problemas, 3) programar las “trayectorias”, 4) hacer los cambios y 5) evaluar los resultados. La parte modular de este modelo son las llamadas “trayectorias”, que Kilman recomienda “intervenir”. Propone las siguientes cinco trayectorias: 1) la cultura, 2) las habilidades gerenciales, 3) la creación de equipos, 4) la estrategia-estructura y 5) el sistema de recompensa.

El modelo que se propuso para AEJI tiene un enfoque cíclico que ha sido adaptado del modelo propuesto por Aldape *et al.* (2009) para hacer estudios de simplificación del trabajo-técnica que considera de DO (figura 2) y usando el concepto del llamado *ciclo de Deming* (figura 3).

**Figura 2.** Modelo para un estudio de simplificación del trabajo



Fuente: Alfonso Aldape Alamillo

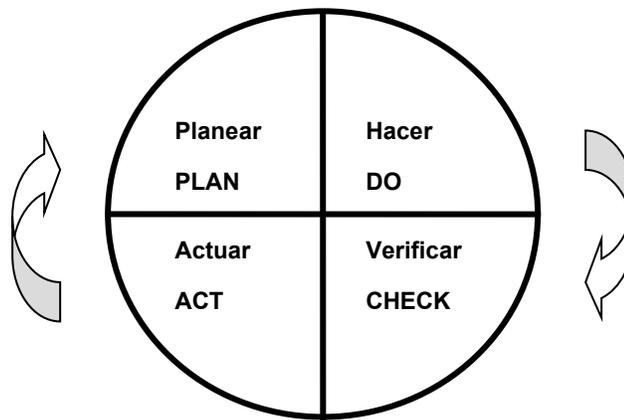
### 4.1.1 Círculo de Deming

El ciclo PHVA o PDCA, también conocido como *círculo de Deming* en honor al estadístico estadounidense W. Edwards Deming, es una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos, basada en un concepto ideado por Walter A. Shewhart. También se denomina *espiral de mejora continua*.

Las siglas PHVA son un acrónimo de *planear, hacer, verificar y actuar*, mientras que PDCA son las siglas de *plan, do, check, act* (*planificar, hacer, verificar, actuar*).

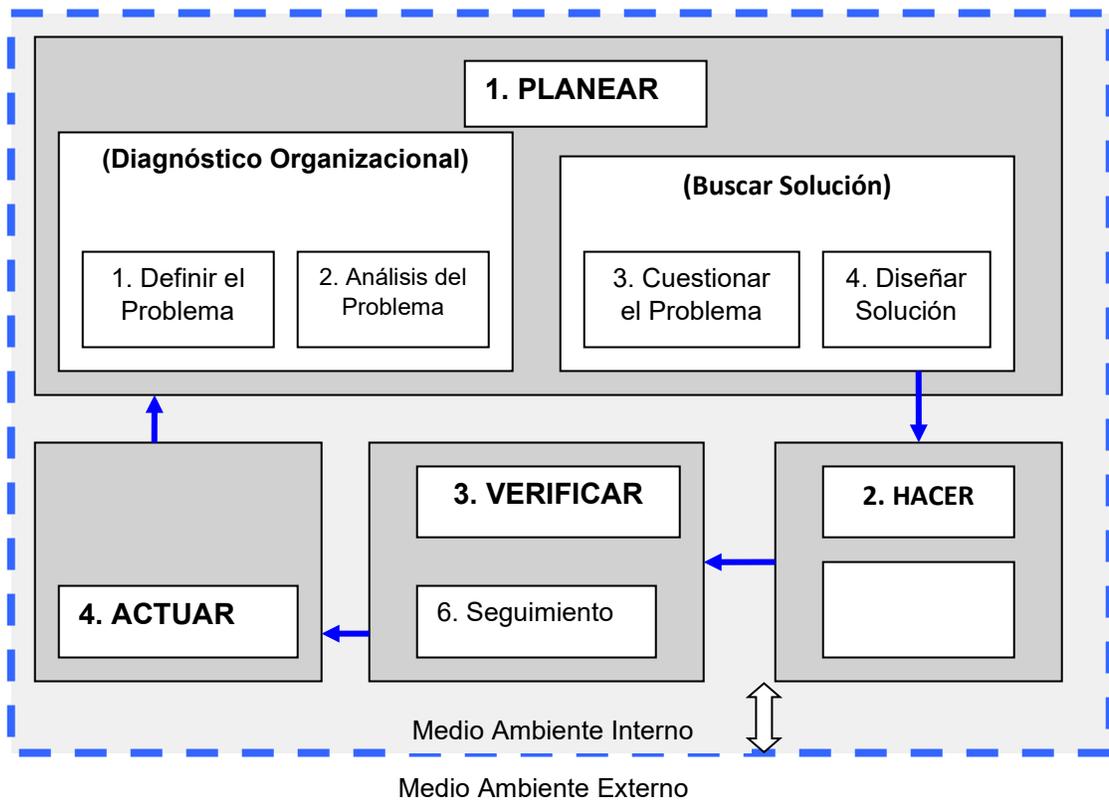
Las cuatro fases del círculo de Deming (PHVA-PDCA) fueron propuestas a AEJ1 como parte básica para su programa de DO, ya que consideramos que conforman la esencia de la gestión empresarial, las cuales se deben aplicar indefinidamente (mejora continua).

**Figura 3.** Ciclo de Deming (PHVA-PDCA)



Tratando de tomar en cuenta las tendencias actuales hacia la manufactura esbelta y las “teorías” o “modelos” sobre lo que es DO y la forma de aplicarlo, en la figura 4 se presentan los primeros cuatro pasos del modelo de desarrollo organizacional recomendado a AEJ1 (figura 1) para iniciar el trabajo bajo el concepto del ciclo de Deming.

Figura 4. Modelo cíclico de desarrollo organizacional



Fuente: Alfonso Aldape Alamillo

#### 4.1.1.1 Primera etapa: planear

Durante la etapa de *planeación* (planear) es donde debe efectuarse el diagnóstico organizacional que representa una recopilación continua de datos acerca del sistema total o de sus subsistemas y de los procesos y la cultura/clima del sistema y de otros objetos de interés. Mediante el diagnóstico la dirección de la empresa identifica sus puntos fuertes, las oportunidades y las áreas problema. El diagnóstico proporciona a la dirección de la empresa datos para conocer en detalle las características del problema; en función de lo anterior se pueden elaborar hipótesis de solución utilizando las relaciones de causa y efecto, definir las prioridades y las acciones correctivas. Al término de esta etapa se tendrá un diseño teórico de la solución del problema.

Vemos en el modelo que esta primera etapa del ciclo de un programa de desarrollo organizacional consiste de cuatro pasos: definición creativa del problema, análisis del problema, cuestionar el problema y diseñar solución.

#### 4.1.1.2 Definición creativa del problema

Ya que una organización es una entidad dinámica que continuamente busca su mejoramiento, es necesario que se estudien constantemente los procesos de producción para cubrir los nuevos requerimientos. Quizá el factor más inmediato y evidente que influye para que se use el DO sea reconocer que un problema existe.

¿Baja producción? ¿Mala calidad? ¿Costos elevados? ¿Se están produciendo “cuellos de botella” en las líneas de producción? ¿El trabajo incluye movimiento de gente de un lugar a otro? ¿Se usa mucho tiempo en las fases de preparación y almacenaje? ¿La tecnología empleada actualmente es obsoleta comparada con la que usa la competencia? ¿Es costoso el ensamble manual? ¿Existen en el mercado mejor equipo/maquinaria? ¿Son los productos de la competencia mejores y más baratos? ¿Existe alta rotación de personal, ausentismo, retardos? Como puede verse todas estas preguntas tienen algo en común: favorecen la introducción de un cambio.

Sin embargo, puede también notarse que todas esas preguntas están formuladas desde el punto de vista técnico y económico, lo que permite el enfoque racional para la solución del problema, para el cual el personal de la empresa, principalmente los ingenieros, debe estar altamente capacitado. A pesar de que el método racional es el más utilizado en el trabajo diario del ingeniero, este frecuentemente olvida que en la práctica se presentan varios problemas para el uso eficiente y efectivo del modelo racional para la solución de problemas.

Por ejemplo, identificar y definir el problema puede presentar las siguientes debilidades: rara vez existe un consenso en la definición del problema, incertidumbre en determinar cuál definición es aceptada, resentimiento de las personas que proporcionaron una definición distinta a la aceptada, problemas actuales que suelen verse como variantes de problemas pasados y frecuentemente los problemas se definen en términos de una solución ya predeterminada, por lo que no se consideran otras posibles alternativas.

Si además del enfoque racional se utilizara el enfoque creativo para la solución de problemas, la organización y los individuos se verían altamente beneficiados.

Como ya se dijo anteriormente, con una serie de entrevistas con directivos de la empresa se identificó como problema principal el poco tiempo de estadía del personal operativo en la empresa.

#### 4.1.1.3 Análisis del problema

Niebel (1978) recomienda usar para el análisis de un problema relacionado con manufactura el programa de diez puntos empleado por la Westinghouse Eléctrico Corporación, a saber: propósito de la operación, diseño de las partes, tolerancias y

especificaciones, material, proceso de manufactura, montaje y herramientas, condiciones de trabajo, manejo de materiales, distribución de planta y principios de economía de movimientos.

Como puede verse, tal enfoque está orientado hacia la tarea; su interés está centrado en las necesidades fisiológicas del trabajador. Desde el punto de vista técnico de un ingeniero no hay ningún problema con lo anterior; sin embargo, para un auténtico agente de cambio se deberá ver la manera en que las *necesidades psicológicas y sociales del trabajador se vean satisfechas al mismo tiempo que las organizacionales*.

El método usado para recabar la información para el análisis del problema debe ser escogido y efectuado de tal manera que no se tengan o que se minimicen dificultades en futuras etapas de la intervención. *La entrevista y/o cuestionarios son un buen método si se enfocan a lograr un doble propósito: primero, conocer lo que agrada o desagrada del trabajo a la gente que será afectada por el cambio y, segundo, hacerles sentir parte del cambio.*

Ya que la mayor parte de la información obtenida mediante cuestionario o entrevista son opiniones en vez de hechos, es necesario que el método de observación se use para obtener los hechos y/o analizar los métricos que tenga la empresa para evaluar factores que estén relacionados con el problema. Este enfoque minimiza o elimina problemas en la etapa de implementación (hacer).

En las entrevistas se llegó al acuerdo el dividir el diagnóstico organizacional en dos perspectivas: una técnica y otra organizacional, las cuales son complementarias entre sí y dan origen a dos tipos de diagnóstico. Puede ser que algunos factores tanto organizacionales como técnicos sean las causas del problema en cuestión, por lo que se decidió hacer un diagnóstico del clima organizacional mediante un cuestionario que incluyera los factores que el consultor considerara pertinentes. Asimismo, como la empresa sigue una versión adaptada del método de producción Toyota, se tomó el acuerdo de diagnosticar el estado de implementación de las técnicas de manufactura esbelta, para lo cual también se diseñó un cuestionario.

#### **4.1.1.4 Cuestionar el problema**

El agente de cambio debe cuestionar cada elemento del problema con una mente abierta, libre de tendencias y prejuicios, concentrada en descubrir cómo mejorar la situación. Por ejemplo, debe tener en mente que hacer algo de cierta manera no prueba que esa sea la mejor forma de hacerlo y que el hacerlo no prueba que esto sea necesario. El agente de cambio debe usar las preguntas, con su respectiva contrapregunta, cuyas respuestas han dado a la humanidad el gran acervo de conocimientos actual. En orden:

1. ¿Qué se hace? ¿Por qué se hace? ¿Es necesario hacerlo?

2. ¿Dónde se hace? ¿Por qué se hace ahí? ¿Es necesario hacerlo ahí?
3. ¿Cuándo se hace? ¿Por qué se hace en ese momento? ¿Es necesario hacerlo entonces?
4. ¿Quién lo hace? ¿Por qué tal persona? ¿Es indispensable que lo haga esa persona?
5. ¿Cómo se hace? ¿Por qué se hace así? ¿Es necesario que se haga así?

El problema presente deberá ser analizado usando este doble cuestionamiento. Respuestas no satisfactorias indican la necesidad de un posible **cambio**. Al hacer estas preguntas el agente de cambio debe tener en mente tres cosas: primero, trabajar con base en hechos, y no sobre opiniones, ya que estas siempre conducen a discusiones, mientras que los hechos producen conclusiones; segundo, trabajar sobre causas, no sobre efectos, y tercero, trabajar sobre razones, no sobre excusas. Las respuestas recibidas darán ideas al agente de cambio para diseñar la solución del problema.

#### 4.1.1.5 Diseño de la solución del problema

Para un problema de manufactura las respuestas a las preguntas *qué y por qué* pueden indicar que ciertas actividades no son necesarias y deben ser eliminadas. Las respuestas a las preguntas *dónde, quién* y su *por qué* pueden sugerir la necesidad de que dos o más actividades sean combinadas. Esto es muy importante no solo porque dos o más tareas puedan ser efectuadas sincronizadamente o más rápido y con menos o igual costo que una sola tarea, sino porque esto enriquecerá el trabajo con lo cual el empleado puede ver cubiertas algunas de sus necesidades psicológicas: logro, ego, reconocimiento, sentirse importante, etc.

Las respuestas a las preguntas *cuándo, dónde, quién* y su *por qué* pueden llevar al agente de cambio a elegir otro lugar, secuencia o persona. Para cualquier cambio que se presente es de gran importancia valorar el impacto que puede tener en los empleados y en el clima organizacional.

Una vez que las tareas componentes del trabajo han sido eliminadas, combinadas o cambiadas de lugar, secuencia o de ejecutor, las respuestas a la última pregunta (*cómo* y su *por qué*) nos ponen en posición de decidir cómo mejorar el nuevo arreglo de actividades.

El último paso de esta fase es de aspecto 100 % técnico. El agente de cambio podrá usar los principios de economía de movimientos desarrollados por los esposos Gilbreth y otros investigadores. Estos principios se interesan en las características físicas del individuo y el lugar de trabajo, pero el agente de cambio debe tener presente que algunas innovaciones hechas en herramientas, equipo, instalaciones de la planta y su distribución pueden afectar las necesidades psicológicas y sociales del individuo; por

ejemplo, un nuevo arreglo en la distribución de planta puede aislar a un individuo del resto del grupo (impacto negativo) o bien el equipo se modifica de acuerdo a las sugerencias del trabajador (impacto positivo).

Después de que las tareas han sido mejorada o simplificadas, el nuevo método deberá compararse contra el actual y evaluar si las modificaciones producen una reducción en el número de operaciones, tiempo, costo, transportes, retrasos, almacenajes, controles, etc. Luego deberá prepararse una lista de todo lo necesario para implementar el nuevo método.

#### **4.1.2 Segunda etapa: hacer**

Hacer, aplicar o llevar adelante lo planeado. La etapa de la acción consiste en todas las actividades y las intervenciones diseñadas para mejorar el funcionamiento de la organización. Es decir, se diseñan y desarrollan pruebas que confirmen que el diseño establecido en la fase anterior y las hipótesis elaboradas son correctos.

Una vez que el agente de cambio ha diseñado y evaluado la solución del problema, querrá implementarla y es probable que se encuentre con la resistencia natural al cambio. Jefes, subordinados, compañeros y otras personas afectadas por el cambio pueden tener la tendencia de resistirse ya sea porque ven amenazada su autoestima, por una percepción distorsionada del cambio que se intenta, desacuerdo con el cambio, reactancia psicológica o bien por una baja tolerancia (New y Singer, 1983).

Sin embargo, si los cuatro pasos anteriores se efectúan como se recomienda, la resistencia al cambio, si la hay, será mínima y más fácil de manejar. El agente de cambio deberá vender el nuevo método a toda la gente afectada teniendo en mente que debe intervenir a un nivel no más profundo del requerido para producir soluciones permanentes al problema en cuestión (Harrison, 1970).

Algunos de los pasos que el agente de cambio puede seguir para convencer a la gente para que acepten el nuevo método son escribir una propuesta bien documentada, explicando las ventajas y desventajas del nuevo método; hablar con la gente que debe intervenir en el cambio; dar mérito a toda la gente que ayudó en el desarrollo del nuevo método y entregar la propuesta al cliente, es decir, aquel que solicitó el estudio y/o tiene la autoridad para decidir si el nuevo método deberá ser implementado.

#### **4.1.3 Tercera etapa: verificar**

Comprobar que se haya actuado de acuerdo a lo planeado, así como los efectos del plan. Es decir, se compara el diseño teórico de la solución del problema con los resultados de las pruebas y de los hechos aplicados en la fase anterior; si concuerdan los

hechos y las pruebas con el diseño teórico de solución del problema se pasa a la siguiente fase.

Esta etapa también podría ser llamada *seguimiento*. Uno de los más grandes errores que el agente de cambio puede hacer es implementar la solución diseñada y olvidarse de ella. Deberá darle seguimiento por el tiempo que sea necesario para saber si se cubrieron los objetivos que se esperaban y, finalmente, preparar un reporte comparativo de los resultados obtenidos con la aplicación de la solución diseñada contra los de la situación previa al cambio.

#### **4.1.4 Cuarta etapa: actuar**

A partir de los resultados recabados en la etapa anterior, se debe incorporar lo aprendido, lo cual es expresado en observaciones y recomendaciones. Es en esta etapa donde se estandariza la solución y se establecen las condiciones que permitan su continua aplicación.

En resumen, la aplicación de este modelo cíclico requiere identificar objetivos junto a las actividades que permitan alcanzarlos, efectuar tales actividades, verificar los resultados, comparándolos con los objetivos planificados y analizando las desviaciones que puedan presentarse y actuar analizando las causas de los incumplimientos y corrigiendo los malos resultados. Una vez concluido un ciclo, se estará en condiciones de iniciar otro, con unos objetivos superiores, lo cual conduce al mejoramiento continuo.

## **Conclusión**

Debido al creciente interés en el clima organizacional y la calidad de vida en el trabajo, el DO deberá ser considerado como una estrategia de creatividad e innovación continua para mejorar la interrelación entre el individuo y el trabajo. Esto a su vez proporcionará las oportunidades para efectuar otros cambios organizacionales y para humanizar al trabajador (Hackman *et al.*, 1979).

Por tal motivo, el personal clave de la empresa deberá ser capacitado en las ciencias de la conducta humana con el fin de que los cambios emanados de un diagnóstico organizacional tomen en consideración el impacto que pueden tener en el comportamiento y actitudes de los individuos directa o indirectamente afectados por dichos cambios.

En la empresa, se deberán cumplir con dos condiciones si se desea que sea más efectiva y competitiva en el mercado mundial: primero, contar con administradores e

ingenieros altamente preparados en las ciencias del comportamiento y, segundo, proporcionar un clima organizacional propenso al cambio.

Sin embargo, basados en nuestra experiencia de trabajo industrial y en la enseñanza de la ingeniería y la administración, creemos que a corto plazo es difícil de lograr cubrir tales condiciones debido a varias razones que se salen del propósito de esta consultoría. No obstante, podríamos decir que una de las principales razones es que tanto los administradores como los ingenieros de esta empresa, están preparados orientados hacia la tarea o bien, orientados hacia la relación, pero no en ambas tendencias.

Por lo anterior, si en AEJ1 se desea obtener grandes cambios organizacionales, deberá establecerse, como una estrategia de cambio, un programa de capacitación para sus empleados, empezando con sus supervisores de primer nivel. Dicho programa estaría centrado sobre liderazgo con enfoque de manufactura esbelta, ya que esta “nueva” forma de trabajo está fundamentada en los conceptos utilizados en desarrollo organizacional. Además, la empresa debería motivar a sus supervisores de primer nivel a usar su propia iniciativa para hacer los cambios en el trabajo que ellos supervisan. Estos pequeños cambios podrían iniciar una reacción en cadena y cubrir trabajos mayores y finalmente a toda la organización.

## Referencias

- Aldape, A., Valles Chávez, A., De la Riva Rodríguez, J. y Rodríguez Medina, M. (2009). Clima organizacional para la innovación. *Ponencia presentada en el XIII Seminario Altec*.
- Beckhard, R. (1969). *Organization Development: Strategies and Models*. Saearch Education Resources. Editorial Addison-Wesley, ISBN: 9780201004489 y 0201004488.
- Beer, M. (1980). *Organization changes and development: a systems view*. Goodyear. White Paper.
- Burke, W. (1994). *Organization Development: A Process of Learning and Changing*. Addison-Wesley Publishing Company.
- French, L. y Cecil, H. (1996). *Desarrollo organizacional* (5.<sup>a</sup> ed.). Prentice Hall.
- Hackman, R. y Dean, M. (1979). *Redesigning Work: A strategy for Change*. Work in America Institute, Inc.
- Harrison, P. (1970). Choosing the Depth of Organizational Intervention. *Journal of Applied Behavioral Science*, 6(2).
- Kilma, R. H. (1989). *Managing Beyond the Quick Fix*. Josey-Bass.
- Kolb, D. and Frohman, A. (1970). An Organization Development Approach to Consulting. *Sloan Management Review*, 12(1), 51-65.
- Leppitt, R., Watson, J. and Westley, B. (1958). *Dynamics of Planned Change*. Hartcourt and Brace.
- Lewin, K. *Field Theory in Social Science*. New York, Harper, 1951.

- Murray, D. and Schmuck, R. (1972). The counselor-consultant as a specialist in organization development. *Elementary School Guidance & Counseling*, 7(2), 99–104. <http://www.jstor.org/stable/42868255>
- New, R. y Singer, D. (1983). Understanding Why People Rejects New Ideas Helps IEs Convert Resistance Into Acceptance. *Industrial Engineering*, 15, 50-57.
- Niebel, B. W. (1978). *Motion and Time Study* (6.<sup>a</sup> ed.). Richard D. Irwin, Inc.
- Porras, J. I. and Robertson, P. J. (1992). Organizational development: Theory, practice, and research. In M. D. Dunnette and L. M. Hough (eds.), *Handbook of industrial and organizational psychology* (pp. 719–22). Consulting Psychologists Press.

# **Desnutrición y apoyo a comunidades marginadas y el impacto de su programa de RSE: caso de una empresa del norte de México**

**Malnutrition and support for marginalized communities and the impact of their CSR**

**program: The case of a company in northern Mexico**

**Lizette Alvarado Tarango**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

lalvarado@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-7934-8330>

**Jesús Elisabeth Sánchez Padilla**

Tecnológico Nacional de México / IT de La Laguna, México

elisabeth.sp01@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9224-6758>

**Adrian Francisco Loera Castro**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

aloera@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1694-6792>

## **Resumen**

La responsabilidad social empresarial a finales de la década de los 90 comienza a ser conocida a nivel mundial y ha sido adoptada por numerosas organizaciones; aunque es un concepto novedoso, sus raíces se remontan a la década de 1950. El libro verde y la norma ISO 26000 son un reflejo de la relevancia que ha adquirido este concepto en los últimos años y de la necesidad de que las empresas se responsabilicen de su entorno. Por tanto, el presente estudio de tipo descriptivo transeccional usa la herramienta de estudio de caso para analizar a una empresa de Ciudad Juárez y a sus programas de responsabilidad empresarial. Este estudio profundiza en el concepto de responsabilidad social empresarial y detalla los programas de una empresa de esta localidad para conocer su constitución, así como su estructura establecida y sus experiencias al implementarla. En tal sentido, se ofrece la opinión de los beneficiarios directos e indirectos de estos programas y se narran sus experiencias y cambios de vida al ser beneficiados por ellos. Los hallazgos del estudio sugieren que la recomendación final es la necesidad de

crear un sistema de medición efectivo para este tipo de programas, así como la creación de un sistema de retroalimentación de los beneficiarios a las empresas que implementan estos programas.

**Palabras clave:** comunidades marginadas, programa de SRE, norte de México.

## **Abstract**

*Corporate Social Responsibility at the end of the 90's begins to be known worldwide and has been acquired by numerous organizations; Although it is a new concept, its roots go back to the 1950s. The green book and the ISO 26000 standard are a reflection of the relevance that this concept has acquired in recent years and the need for companies to take responsibility for its environment. The present study is of a descriptive transactional type using the case study tool to analyze a company in Ciudad Juárez and its corporate responsibility programs. This study delves into the concept of Corporate Social Responsibility, and details the programs of a company in this town; granting the constitution of the same, as well as the established structure and the experiences of the company when implementing it. It gives the opinion of the direct and indirect beneficiaries on the operation of these programs, narrates their experiences and life changes to be benefited by them. The findings of the study suggest that the final recommendation is the need to create an effective measurement system for this type of program, as well as the creation of a feedback system from the beneficiaries to the companies that implement these programs.*

**Keywords:** Marginal Communities, SRE Program, Northern Mexico

## **Introducción**

La responsabilidad social empresarial (RSE) consiste en que las propias empresas definan, unilateral y voluntariamente, políticas sociales y ambientales a través de instrumentos alternativos que no son convenios colectivos ni legislación y que ofrecen, en pos de sus fines, asociarse con múltiples actores (Fonteneau, 2003). En el contexto internacional han ido surgiendo diversas iniciativas que promueven el establecimiento e implementación de nuevos códigos y estándares, encaminados a lograr un comportamiento empresarial ético y respetuoso con la sociedad y el medio ambiente para contribuir al desarrollo sostenible. En México, cada vez son más las empresas que comienzan

a interesarse en este tema; prueba de ello es la entrega del distintivo empresa socialmente responsable (ERS) que otorga el Centro Mexicano para la Filantropía (CEMEFI), que reconoce a las organizaciones que practican la responsabilidad social corporativa (RSC). Estas recomendaciones pretenden fomentar el desarrollo de políticas y estrategias empresariales que incorporen estos criterios, argumentando su necesidad desde diferentes puntos de vista: moral, económico y social (Bull 2004; Alea García, 2007).

Ahora bien, para procura conocer los programas de la RSC se planteó la siguiente pregunta: ¿cuáles son las experiencias que han surgido como resultado de la implementación de un programa de RSC tanto para la empresa que lo ejecuta como para el grupo social beneficiado? El presente trabajo se realizó en una empresa de Ciudad Juárez y consta de tres capítulos: el primero incluye el marco teórico, con definiciones de la empresa y sociedad, así como algunas teorías respecto a la empresa. El segundo expone los antecedentes y contexto de la RSC en México y en el tercero se muestra el estudio de caso del programa PROALIE de la Fundación Pedro Zaragoza Vizcarra del Grupo Agroindustrial Zaragoza.

### **Justificación de la empresa**

Agroindustrial Zaragoza es una de las empresas precursoras en el ramo de la responsabilidad social corporativa en Cd. Juárez, Chih., y desde sus inicios ha apoyado a niños y adultos mayores, aunque al principio no estaba constituida por medio de una fundación, ya existe un vínculo muy cercano a la comunidad. Por otra parte, el investigador tiene total acceso al fenómeno, ya que la empresa abrió generosamente sus puertas. Por lo anterior, fue seleccionada para desarrollar el estudio de caso en esta investigación.

### **Orígenes e historia de la empresa**

En 1936 los hermanos Pedro y Rafael Zaragoza Vizcarra fundaron la empresa lechera Zaragoza Hermanos, precursora de lo que hoy es Lechería Zaragoza, S. A. de C. V. Treinta años después, a mediados de los 60, el hato lechero iniciado por ellos había llegado ya a 1500 vacas en producción y la empresa fue clasificada como la más grande del país (figura 1).

**Figura 1.** Pedro y Rafael Zaragoza Vizcarra, fundadores de Lechera Zaragoza Hermanos



Fuente: [www.agroindustrialzaragoza.com](http://www.agroindustrialzaragoza.com)

El Grupo Agroindustrial Zaragoza está constituido por más de 30 empresas dedicadas en su mayoría a la producción, pasteurización y comercialización de leche fresca de vaca. Sus actividades diarias se hacen presentes en más de 100 ciudades de la República mexicana, localizadas en 13 estados de la franja fronteriza norte, centro y occidente del país.

Las operaciones del grupo se diversifican entre los cuatro siguientes sectores productivos:

- Sector agrícola. Ranchos productores de diversos cultivos orientados al forraje.
- Sector ganadero. Establos productores de leche y cría de ganado lechero.
- Sector industrial. Plantas productoras de alimentos balanceados, plantas pasteurizadoras de leche y derivados como quesos y yogurt, plantas productoras de envases y tapas de plástico, plantas de producción de hielo y agua purificada.
- Sector comercial. Comercializadora de leche y derivados, transporte, inmobiliarias, distribuidoras de cerveza y bebidas de frutas naturales y tiendas de conveniencia.

La misión de la empresa es contribuir a la nutrición del mexicano con una variedad de productos de calidad superior que respondan a los gustos y preferencias de la diversidad social de nuestro país. La leche es de producto animal con alto grado de nutrientes adecuados para el hombre en todas las etapas de la vida.

**Figura 2.** Logotipos de marcas comerciales



### **Antecedentes de programas de RSC en la empresa**

Grupo Agroindustrial Zaragoza, en Ciudad Juárez Chihuahua, cuenta con la Fundación Pedro Zaragoza Vizcarra, A. C. como empresa socialmente responsable (ESR) desde el año 2005 ya constituido como tal. Cabe mencionar que la responsabilidad social se viene dando desde su origen como empresa (figura 3).

**Figura 3.** Fundación Pedro Zaragoza Vizcarra y sus patrocinadores



Estos programas se llevan a cabo por medio de diferentes empresas del mismo Grupo Agroindustrial Zaragoza que colaboran para que esto se concrete y apoyan con productos que elaboran, lo que ha servido para que sea reconocida como empresa

socialmente responsable. A continuación, se listan algunos de sus programas. Por ejemplo, se encuentra implementado el programa de apoyo a niños en estado de desnutrición (PRONUT). Asimismo, el programa de apoyo a albergues infantiles (PROALIE) dirigido a niños abandonados, huérfanos, maltratados, niños de la calle, es decir, que tienen la necesidad de un hogar, buen trato, alimentación, educación y valores.

### **Antecedentes del programa PROALIE**

La Fundación Pedro Zaragoza Vizcarra, A. C., desde sus inicios ha contado con un enfoque de ayuda a la comunidad conocido como *Porque todos los sueños merecen la misma oportunidad*, como lo señala la directora general de la Fundación del Programa PROALIE, Verónica Jiménez: “Desde el inicio de mi trabajo para esta empresa y desde hace muchos años sé que existe un programa de ayuda a los niños más necesitados”

Desde hace aproximadamente 70 años ayudan a la comunidad en general como empresa socialmente responsable. En el año 2005 surgió la Fundación Pedro Zaragoza Vizcarra, dentro de un programa de valores con que cuenta la empresa y originada por la preocupación del dueño de tener una participación más cercana con la comunidad. Así surge el programa de apoyo a albergues infantiles PROALIE, el cual consistía en el aporte del recurso económico de diferentes empresas del Grupo Zaragoza. Este programa contaba con un enfoque de ayudar a los niños y siempre tuvo buena aceptación y participación del personal de las diferentes empresas involucradas.

### **Proceso de selección de los beneficiados del programa PROALIE**

La forma de selección del área beneficiada, en este caso a los albergues, consiste en realizar un estudio socioeconómico y solicitar información tal como sus ingresos y egresos, de dónde recibe recursos (si es que cuenta con una fuente), cuál es su patrimonio y cuántas habitaciones tiene su infraestructura; además, se les solicita que estén registrados ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) como asociación civil y que cuenten con un acta constitutiva. Esta información la recibe la trabajadora social de la fundación, se toman fotografías del lugar para verificar varios puntos y todo es entregado al Consejo Zaragoza, que determina si la institución es elegible para el programa.

El programa proporciona donativos de forma directa a los niños que estén en una situación de necesidad y requieran apoyo. En el programa PROALIE un donativo en especie son alimentos como leche, jugo, carne, yogurt, queso, donas, que se entregan al beneficiario en forma directa.

### **Obstáculos del programa PROALIE**

El programa PROALIE ha considerado algunos puntos principales como obstáculos en el desarrollo del programa, como la falta de comunicación. Esto se debe principalmente a que las encargadas de los albergues no quieren ofrecer información a las supervisoras de la Fundación Pedro Zaragoza Vizcarra, A. C. dentro del programa de PROALIE.

En el grupo se ha procurado ayudar a la comunidad como RSC, y para poder auxiliar a los más necesitados se busca la colaboración de otras empresas nacionales o del extranjero, así como consolidar a los empleados para que sean parte de ella.

### **Resultados del programa PROALIE**

Los resultados de forma interna se dan a conocer por medio de boletines quincenales por parte de la fundación, es decir, todos los eventos y proyectos que se desarrollan por parte de la fundación a todos los empleados. De forma externa, se elaboran conferencias, ruedas de prensa y se participa en entrevistas de radio y televisión. Además, se cuenta con página de internet para divulgar los resultados y los proyectos con los que están trabajando.

En estos casos la evidencia es tangible: se asegura y comprueba que el donativo se esté ofreciendo. Los comentarios son muy importantes por medio de los participantes y del resto del personal. Posteriormente, se da seguimiento por medio telefónico o visita y otras de las evidencias son las fotografías del evento o de las actividades ejecutadas.

La fundación entrega un informe anual a través de reuniones con el corporativo del grupo en las que participan los dueños, los encargados de este programa, al menos un representante de cada una de las áreas de la fundación (esta reunión que se hace al final de año). Se dan a conocer los resultados del programa (¿cómo, cuándo y dónde se realizaron?), así como también a los beneficiarios (¿cuántos?) y el uso de los recursos (¿cuánto se gastó?) con el fin de dar transparencia (figuras 4 y 5).

**Figura 4.** Informe anual 2008 para los dueños

| Niños Beneficiados 2008 | Niños Indiguenas | Niños con Enfermedades | Niños Albergues | Niños Cap. Diferentes | Niños escasos Recursos | Niños de Escuelas | Total  |
|-------------------------|------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-------------------|--------|
| Resultados              | 300              | 501                    | 4,585           | 2,820                 | 3,068                  | 27,450            | 38,724 |

| Donativos 2008 | Kilos de Carne | Litros de Leche | Barras de Queso | Galones de Jugo |
|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Resultados     | 29,328         | 480,144         | 1,824           | 3,936           |

| Total de Beneficiados en el 2008 | Adultos Mayores | Niños | Familias | Total     |
|----------------------------------|-----------------|-------|----------|-----------|
| Resultados                       | 10%             | 40%   | 50%      | 95,199.00 |

| Adultos Mayores Beneficiados 2008 | Adultos Mayores | Adultos Mayores en Asilos | Adultos Mayores en Centros |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| Resultados                        | 550             | 905                       | 7,500                      |

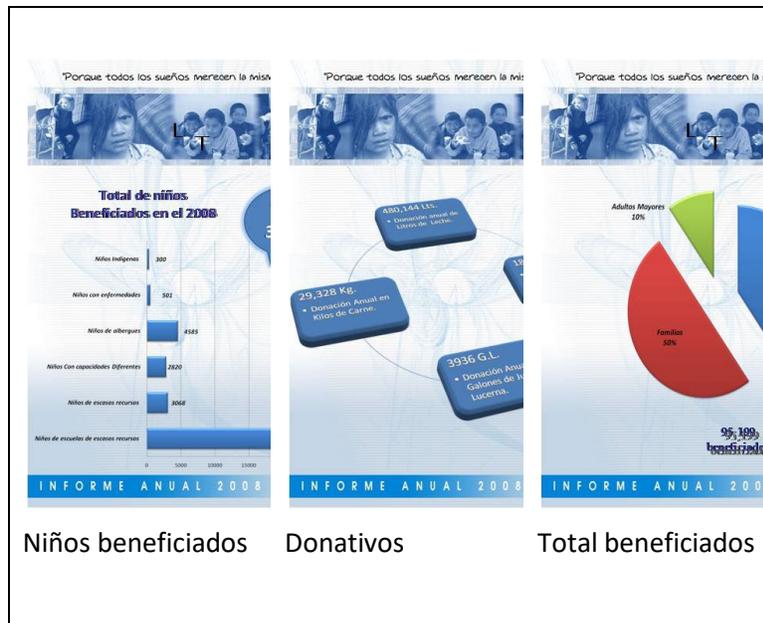
  

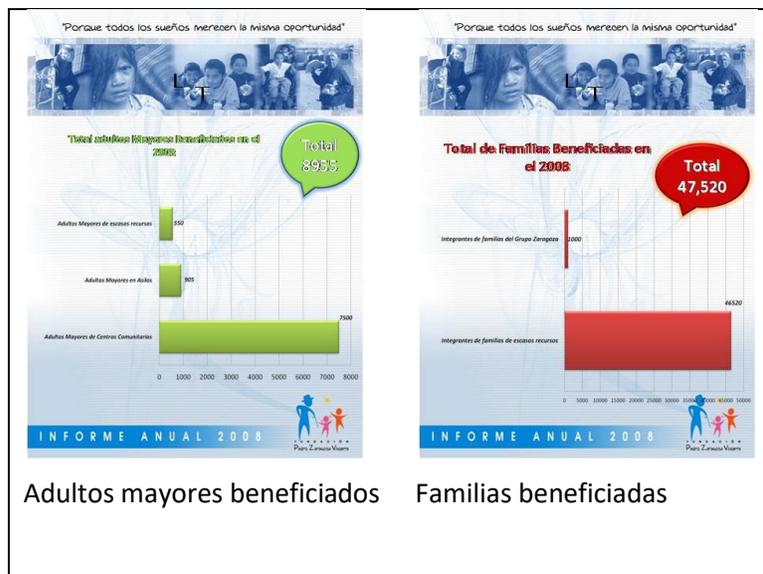
| Familias Beneficiadas 2008 | Familias del Grupo Zaragoza | Familias de Escasos Recursos |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Resultados                 | 1,000                       | 46,520                       |

Fuente: Informe anual de resultados de la fundación en 2008

La fundación tiene una política que inmediatamente después de que se termina un proyecto se entregan diferentes reconocimientos a las empresas que participaron (como pueden ser de madera, papel, acrílico), según el apoyo otorgado, y se hace un desayuno programado en diciembre con las empresas que han colaborado durante todo el año.

**Figura 5.** Evidencia de informe anual en 2008 para los dueños





Fuente: Informe anual de resultados de la fundación en 2008

La fundación cuenta con algunos reconocimientos que se encuentran en sus oficinas, los cuales han sido otorgados como gesto de agradecimiento por las instituciones. Los resultados del programa son los siguientes:

- Comentarios positivos por parte de las instituciones y empresas del grupo.
- Agradecimiento por personas ajenas.
- Reconocimiento del programa por parte de las instituciones.
- Participación e involucramiento del personal de la empresa y de la fundación

## Planteamiento del problema

En la actualidad las empresas deben conocer los impactos sociales, ambientales y económicos de los programas de la (RSC), lo que permitirá contribuir con la mejora continua de la sociedad, hacerla más justa e igualitaria y colaborar con la sostenibilidad del planeta. Esto indica la importancia de la retroalimentación a través de las experiencias que surgirán en el proceso de implementación de un programa de responsabilidad social corporativa, de las partes interesadas directamente como son la empresa y los beneficiarios.

### **Justificación de la investigación**

La RSC adquiere día a día mayor relevancia dentro y fuera de las empresas en los ámbitos económicos, sociales y culturales, y toman más fuerza en las prácticas éticas y de responsabilidad social en empresas locales, nacionales e internacionales. Estudios de caso como el que se realiza en esta investigación —donde se describe el desarrollo de un programa de RSC en una empresa de la localidad y su impacto en la misma comunidad donde opera— puede ser de gran utilidad para determinar el grado de compromiso que tiene la compañía al respecto, así como los efectos en el personal involucrado, además de conocer de cerca los beneficios directos e indirectos que se obtienen con las personas e instituciones donde se aplica el programa. Esto a su vez puede contribuir para alcanzar una retroalimentación efectiva hacia la empresa sobre su programa de RSC o bien servir como precedente para otras compañías que deseen incorporar estas prácticas a su actuación.

### **Viabilidad de la investigación**

Para el desarrollo del caso de estudio se cuenta en la localidad con una amplia gama de empresas, de las cuales se seleccionará una de ellas. A través de una cita oportuna, se solicitará ingresar a las instalaciones. El tiempo del estudio de caso se divide según la aplicación de encuestas (aproximadamente quince días hábiles) y para los demás apartados (planteamiento del problema, marco teórico, resultados y conclusiones) se consideran seis meses. Como evidencia de las entrevistas se contará con una grabadora de audio, información impresa disponible, fotografías, internet, la experiencia personal, entre otras. Debido al enfoque de la investigación y de sus requerimientos, esta no requiere de un financiamiento mayor. Solo se pueden considerar la inversión de tiempo y traslados a lugares designados para las entrevistas y recolección de datos. Dado lo anterior, se puede concretar que el estudio de caso es viable.

### **Alcance de la investigación**

La presente investigación es de tipo descriptiva, dado que se busca precisar las propiedades, características y perfiles importantes de las personas, grupos, comunidades o cualquier fenómeno. El enfoque es cualitativo porque se pretende describir el fenómeno de la RSE. El diseño de este estudio es de tipo descriptivo transeccional, ya que solo se observará el fenómeno de la RSE como tal en su contexto natural para poder analizarlo. El procedimiento consiste en ubicar el concepto y proporcionar su descripción. El tipo de muestra es dirigida por teoría (muestreo teórico), considerando que se eligió una

empresa que cuenta con los atributos que se están considerando en esta investigación (Hernández, 2003).

## **Marco teórico**

### **Definición de empresa**

La empresa es una entidad que mediante la organización de elementos humanos, materiales, técnicos y financieros proporciona bienes o servicios a cambio de un precio que permite la reposición de los recursos utilizados y la consecución de ciertos objetivos. Prieto y Suárez (1992) definen a la empresa como una entidad que se constituye para satisfacer las necesidades de una población que demanda bienes y servicios, de acuerdo con las condiciones económicas, políticas, culturales y sociales en que se encuentra.

### **Tipos de empresa**

Prieto y Suárez (1992) identifican los diferentes tipos de empresas de la siguiente manera: *extractivas*, son las que se dedican a la explotación de los recursos naturales ya sea renovable o no renovable; *transformación*, son empresas que transforman la materia prima en producto terminado; *comerciales*, son intermediarias entre producto y consumidor; su función primordial es la compraventa de productos terminados, y *servicios*, como su denominación lo indica, son aquellas que brindan servicio a la comunidad y pueden tener o no fines lucrativos.

### **Teoría de la empresa**

Jensen y Meckling (1976) plasmaron en este análisis un progreso en la teoría del derecho de propiedad, agencia, y finanzas para desarrollar una teoría de la estructura de la propiedad para la firma. Además en un intento por unir elementos de la teoría en cada una de estas tres áreas, este análisis tiene implicaciones para una variedad de circunstancias en la literatura profesional y popular, incluyendo la definición de la firma, la “separación de propiedad y control,” la “responsabilidad social” del negocio, la definición de una “objetiva función corporativa”, la determinación de una estructura de capital óptima, la especificación del contenido de los acuerdos de crédito, la teoría de organizaciones y proveer indirectamente la complementación de los problemas de mercado.

## **Teoría de la firma**

Jensen y Meckling (1976) mencionan que la firma es una “caja negra” operada para cumplir las condiciones marginales relevantes con respecto a las entradas y a las salidas, de tal modo que maximizan beneficios o, más exactamente, el valor actual.

Según Furubotn y Pejovich (1972), el “derecho de propiedad” es un tema más amplio de lo que el término sugiere. Lo que es importante para los problemas abordados aquí es que la especificación del derecho individual determina cómo los costos y las recompensas serán asignados entre participantes.

## **Teoría de los sistemas**

La teoría de sistemas se fundamenta en tres premisas básicas: a) los sistemas existen dentro de sistemas, b) los sistemas son abiertos, caracterizados por un proceso de intercambio infinito con su ambiente, que son los otros sistemas. Cuando el intercambio cesa, el sistema se desintegra, esto es, pierde sus fuentes de energía, y c) las funciones de un sistema dependen de su estructura (Chiavenato, 2006).

Asimismo, se dice que las características que deben tener los sistemas son las siguientes: a) los fines y objetivos deben estar muy claros y definidos, b) debe haber una lógica al darse este proceso, c) que este sistema pueda adecuarse a los cambios del medio, e) que sean sencillos y eficientes, f) que puedan medirse y g) sobre todo, que tenga un concepto integrador (Ibarra, 2007).

## **Teoría de la contingencia**

Bueno (1996) explica que la contingencia es toda variable externa, característica ambiental o fuerza influyente que afecta el diseño efectivo de la organización y a su comportamiento de forma, en principio no controlable directamente, por medio de una relación causa-efecto.

Teoría de la contingencia: El enfoque de la contingencia destaca que las características ambientales condicionan las características organizacionales. Los sistemas culturales, políticos, económicos, etc., afectan intensamente a las organizaciones al mismo tiempo que están íntimamente relacionadas en una dinámica de interacción con cada organización. La teoría de la contingencia es un paso más allá de la teoría de los sistemas (Chiavenato, 2006).

## **Teoría obligatoria de la RSC: un discurso de la ética de negocios**

La temática actual de la responsabilidad social corporativa (RSC) reconoce dos posiciones dentro de esta literatura. Estas han surgido de la teoría de la agencia y de la teoría de los inversionistas, y señala que más allá de la junta directiva y de los

accionistas de una compañía hay una gran cantidad de inversionistas que son afectados por las operaciones de la firma. Por eso, estos inversionistas merecen algún gesto de buena voluntad y de solidaridad por parte de las organizaciones de negocios, lo que de manera alterna impactará positivamente en sus operaciones.

### **La aparición de las corporaciones modernas**

Una nueva perspectiva de la corporación emergió de las ambigüedades entre sus responsabilidades económicas y sociales, donde algunas regulaciones más recientes han intentado incluir un cierto nivel de reconocimiento del inversionista. Para ello, han acentuado que los directores, tomando en cuenta los mejores intereses de la corporación, consideren “los efectos de cualquier acción sobre los grupos afectados por tal acción, incluyendo accionistas, los empleados, proveedores” (Cunningham, 1994).

### **La responsabilidad social corporativa y el acercamiento de los inversionistas**

Dejando las actividades filantrópicas y caritativas a un lado (mientras que estas pueden producir resultados sociales positivos que no son el negocio principal que las firmas buscan), muchas grandes corporaciones parecen abordar asuntos sociales según el “interés propio”, que son las teorías subyacentes de la asunción de la RSC (Carroll, 1979; Wood, 1991). La teoría de la responsabilidad social corporativa y del inversionista se distingue en la literatura como alternativas a la vista contractual de la firma.

Al respecto, Orlitzky *et al.* (2003) indican que la literatura estaba “sobre incluida” en la definición de inversionista de organización y que faltaba un concepto más “restrictivo” de inversionista para establecer un vínculo más fuerte. Por ello, la responsabilidad social corporativa se convierte en una estrategia del producto o de servicio diseñada para sostener una ventaja competitiva (McWilliams y Siegel, 2001).

### **Los límites de la teoría de la RSC y de los inversionistas**

Mucha de la investigación sobre iniciativas sociales y ambientales ejecutadas por corporaciones se enfoca en la situación de ganar-ganar, donde las iniciativas ambientales y sociales son implementadas cuando hay ventajas claras para la corporación (Bansal y Roth, 2000).

Si hay una base normativa para la teoría del inversionista, entonces llega a ser importante entender cómo se forman las normas sociales. Las dinámicas de poder entre las corporaciones, los gobiernos, las instituciones internacionales y otros intereses producen una forma particular de economía política, así como las condiciones y las normas para participar en esa economía.

## **Conflicto entre empresa y sociedad. Eficiencia de la empresa y el valor social**

Para dar inicio a este apartado es necesario tomar en cuenta algunas definiciones que ciertos autores ofrecen del concepto *sociedad*.

### **Definiciones de *sociedad***

Mientras que la cultura —según Horton (1994)— es un sistema de normas y valores, una sociedad es un grupo humano, relativamente independiente que se perpetúa, ocupa un territorio, comparte una cultura y tiene la mayor parte de sus asociaciones dentro de ese grupo. Sociedad es una colectividad organizada de personas que viven juntas en un territorio común, cooperan en grupos para la satisfacción de sus necesidades sociales básicas, adoptan una cultura común y funcionan como una unidad social distinta.

### **Componentes de la sociedad**

En toda sociedad existen elementos básicos que la forman, por lo que la cultura es el todo complejo que incluye el conocimiento, las creencias, el arte, la moral, el derecho, la costumbre y cualquier otra capacidad y hábito adquirido por el hombre en cuanto es miembro de la sociedad.

### **Grupo social**

Referente a los grupos sociales, Fernández (2000) señala que son el cemento de la estructura de la sociedad, por lo que sin ellos el *edificio* se derrumbaría. En los grupos se establecen las relaciones formales, pero sobre todo y especialmente las informales, donde las normas y valores se aprenden e interiorizan, o dicho de otro modo, se socializan por un proceso mediante el cual las personas son incorporadas a la sociedad.

En el mismo sentido, Fernández (2000) define *grupo social* de la siguiente manera: consta de un determinado número de miembros que para alcanzar un objetivo común (objetivo de grupo) se inscriben durante un periodo prolongado en un proceso relativamente continuo de comunicación e interacción y desarrollan un sentimiento de solidaridad (sentimiento de nosotros). Para ello, son necesarios un sistema de normas comunes y una distribución de tareas según una diferenciación de roles específica de cada grupo. Asimismo, Fernández (2000) enumera las características que hacen que un determinado número de personas se pueda considerar grupo social: interacción recíproca; existencia de objetivos, valores y actividades compartidas; estabilidad y duración relativa; conciencia de grupo, y reconocimiento como tal.

### **Conflictos entre la empresa y la sociedad**

Mucho de lo que se relaciona con la RSC es de cuestión moral. En este sentido, los temas morales bien pueden ser definidos por quien los invoca. Por ejemplo, las

empresas no pueden establecer parámetros de lo que ellas consideran que debe ser la participación social. Algo más adecuado sería que el sector al que se hace referencia sobre dicha participación —en este caso sectores sociales— defina por sí mismo los parámetros con los que entiende que debería ser esa participación social.

### **Valor social**

Referente al valor social, Canessa y García (2001) señalan también que las empresas como miembros de una comunidad deben comportarse como “buenos ciudadanos corporativos”, ajustados a la ética y respeto por las personas y el medio ambiente. En otras palabras, las empresas no solo tienen una función económica, sino una función social y ambiental. Las empresas han comenzado a adoptar la RSC no solo como resultado de presiones de los consumidores, los proveedores, la comunidad, las organizaciones de activistas, los inversionistas o *stakeholders*; la RSC es también una actividad estratégica adicional en la competencia comercial. Por ende, la empresa desempeña un papel muy importante en la vida de las personas, pues no solo funge como generadora de empleo y de riqueza, sino como agente de desarrollo en las comunidades. Las grandes empresas son conscientes de ello y aprovechan las expectativas que genera la RSC para obtener ventajas competitivas (ayudan ayudándose).

### **Responsabilidad social corporativa**

#### **Definición de responsabilidad social corporativa**

Responsabilidad social es la forma de conducir los negocios de una empresa de tal modo que se convierta en corresponsable por el desenvolvimiento social. Una empresa socialmente responsable es aquella que posee la capacidad de escuchar los intereses de las diferentes partes (accionistas, empleados, prestadores de servicios, proveedores, consumidores, comunidad, gobierno y medio ambiente) e incorporarlos en el planeamiento de sus actividades para atender las demandas de todos ellos, y no únicamente de los accionistas o propietarios (Instituto Ethos, 2007). La responsabilidad social corporativa consiste en que las empresas definan, unilateral y voluntariamente, políticas sociales y ambientales mediante instrumentos alternativos que no sean ni acuerdos colectivos ni legislación y que ofrezcan, en búsqueda de sus metas, asociarse a actores múltiples (Fonteneau, 2003).

Por su parte, Bull (2004) lo enfoca al desarrollo sostenible de este modo: “La mayoría de estas recomendaciones pretenden animar al desarrollo de políticas y estrategias empresariales que incorporen estos criterios argumentando su necesidad desde diferentes puntos de vista: morales, económicos y sociales”. La responsabilidad social es el

compromiso de la empresa en la contribución al desarrollo sostenible, lo cual implica la adopción de una nueva ética en su actuación en relación con la naturaleza y la sociedad, un motivo de solidaridad, el sentido de responsabilidad por salvar las condiciones que sustentan la vida en el planeta, el tributo, la calidad de vida de los grupos de interés o *stakeholders*, sus familias y la comunidad (Alea, 2005).

### **La RSC, las metas, la eficiencia y las ganancias de la empresa**

*Las empresas y su responsabilidad social.* La responsabilidad social puede tener un valor económico directo; aunque la responsabilidad principal de las empresas consiste en generar beneficios, pueden contribuir al mismo tiempo al logro de objetivos sociales y medioambientales, integrando la responsabilidad social como inversión estratégica en el núcleo de su estrategia empresarial, sus instrumentos de gestión y sus actividades. Cuando la responsabilidad social de la empresa constituye un proceso de gestión de sus relaciones con diversos interlocutores que pueden influir realmente en su libertad de funcionamiento, los argumentos comerciales son evidentes. Por tanto, la responsabilidad social debe considerarse una inversión y no un gasto, al igual que la gestión de la calidad. Así, pueden adoptar un enfoque financiero, comercial y social integrado, que desemboque en una estrategia a largo plazo que minimice los riesgos relacionados con la incertidumbre. Las empresas deben asumir su responsabilidad social a lo largo de toda su cadena de producción.

*Responsabilidad social corporativa y las metas.* Robbins (1994) dice que la idea detrás de la mercadotecnia relacionada con causas es encontrar una causa social que concuerde bien con el producto o servicio de una compañía, y luego unirlos para beneficio mutuo en pro de las metas de la empresa. Para Makower (1995) la RSC es una nueva estrategia corporativa que implica el compromiso de las empresas, a través de la aplicación sistemática de recursos, para respetar y promover los derechos de las personas, el crecimiento de la sociedad y el cuidado del ambiente. Este compromiso se traduce en metas con acciones concretas para lograrlas que buscan el beneficio de todos los actores involucrados en las actividades de la empresa (accionistas, trabajadores, proveedores, distribuidores y la comunidad en su conjunto), alcanzando un mejor desempeño y logrando su sostenibilidad y la de su entorno.

Según Prado (2004), algunas de las metas y objetivos más buscados por las empresas con RSC son los siguientes: contribución a la democracia, mejoramiento de la cohesión social, lucha contra la pobreza y contribución al desarrollo, incentivo a la probidad administrativa, reforzamiento del respeto para los derechos humanos, respeto de las condiciones de competencia, transferencia de tecnología, preservación del medio ambiente y refuerzo del respeto de los derechos fundamentales.

*Responsabilidad social corporativa y la eficiencia.* Lizcano (2004) asegura que la RSC ayuda a reducir costos al mejorar los procesos productivos, reducción de desperdicio, reducción del consumo de energía, etc. Por otra parte, al interesarse por los empleados reduce el ausentismo, aumenta la retención de talento con lo que disminuyen costos de despido y control. Incrementa las ventas al generar fidelidad del cliente, eleva los resultados económicos y vuelve a la empresa más atractiva al ser una inversión socialmente responsable. Asimismo, se puede obtener posibilidad de modificar hábitos de consumo, mejorar la imagen, aumentar visibilidad, lograr la diferenciación entre sus competidores, mejorar las relaciones públicas, contrarrestar publicidad negativa, generar empatía y lograr lealtad.

### **Responsabilidad social corporativa y las ganancias**

Responsabilidad social no solo es salir a la calle a repartir monedas a los desvalidos: inicia dentro de la organización que se preocupa por desarrollar a sus empleados, los hace crecer y cuida su entorno. Al respecto, Mauricio Guerrero, director de Promoción del CEMEFI, señala:

Una empresa visionaria reconoce las ventajas comparativas de la responsabilidad social. Aprovecha auténticamente el mejoramiento de su imagen pública, la lealtad de sus empleados, proveedores y acreedores, así como el posicionamiento de su producto o servicio en un mercado que reconoce su compromiso social. La empresa con responsabilidad social esta consiente de la importancia de invertir en la comunidad, porque sabe que si ésta se desarrolla en condiciones favorables, el mercado de consumidores del que depende podrá seguir generando ganancias para la misma.

Según Makower (1995), las ganancias que obtienen las empresas con comportamiento socialmente responsable son innovación, transparencia, desarrollo sostenible, confianza y seguridad, y reputación y legitimidad. Bien podría ser a la inversa, es decir, mostrar que las utilidades elevadas permiten a las empresas darse el lujo de involucrarse socialmente.

### **Estrategia de investigación denominada *etnografía***

Haciendo una comparativa entre los métodos cuantitativos y los cualitativos, se puede mencionar que estos últimos no manipulan ni “controlan”, sino que relatan hechos; por lo tanto, han demostrado ser efectivos para el estudio de la vida de las personas, la historia, el funcionamiento organizacional, los movimientos sociales y las

relaciones de interacción. En la figura 6 se muestran los métodos de investigación cualitativa.

De todos ellos, la teoría fundamentada se distingue del enfoque comprensivo e interpretativo, y adquiere unas características peculiares cuya principal finalidad es construir teoría. La investigación-acción pretende llegar al cambio, a la transformación de la realidad, más allá de la mera comprensión de los fenómenos educativos. Por otro lado, el estudio de casos, que es lo que nos compete, sigue una vía metodológica común a la etnografía.

**Figura 7.** Métodos de investigación cualitativa



Etimológicamente, *etnografía* se traduce como el estudio de etnias y significa el análisis del modo de vida de una raza o grupo de individuos mediante la observación y descripción de sus acciones, comportamientos e interacciones entre sí con el fin de describir sus creencias, valores, motivaciones, perspectivas y como estos pueden variar en diferentes momentos y circunstancias, es decir, “describe las múltiples formas de vida de los seres humanos” (Martínez, 1994).

La etnografía es el arte y ciencia de describir un grupo o cultura. La descripción tal vez de un grupo tribal pequeño en una tierra exótica o de un salón de clases en un suburbio de estrato medio (Fetterman, 1998). Algunas de las herramientas más utilizadas, de las que se vale el método etnográfico, son:

- La observación: Registro de lo que se ve tal y como se ve.
- La observación participante: Se forma parte de la comunidad a la vez que se observa.
- Conversación, entrevistas abiertas, cuestionario: Hablar con la gente, preguntar, observar, etc. El cuestionario permite tratar estadísticamente, pero también la dimensión cualitativa de preguntas en profundidad, discusiones abiertas, etc.
- Los estudios de casos: Descripciones que se refieren a una única unidad muestral, bien sea una persona, grupo u organización.

La selección y combinación de estas, dependerá de acuerdo al tipo de objetivos con los que se busque cumplir una investigación. El trabajo etnográfico implica gran rigor teórico, técnico y metodológico aunado a una apertura y flexibilidad para ver, registrar y posteriormente analizar las situaciones que se presenten y que no se puedan explicar con elementos teóricos previos o iniciales (Velasco y Díaz, 1997, citado por Sandoval, 2003). Su metodología “implica la superación del dato empíricamente registrado a través de la interpretación de sus significados” (Moore, 1993, citado por Sandoval, 2003). Debido a esto, la etnografía requiere de la inmersión completa del investigador en la cultura y la vida cotidiana de las personas, sin olvidar delimitar en la medida de lo posible el distanciamiento conveniente que le permita observar y analizar lo más objetivamente posible (Stanton, 1996, citado por Sandoval, 2003).

Según Hammersley (1990), en términos de método, hablando generalmente, el término *etnografía* se refiere a la investigación social que tiene la mayoría de las siguientes características:

### **Estrategia de la selección de la empresa**

Herriot y Firestone (1983, citados por Stake, 2006), concluyeron que el método de caso es aplicable a estudios sobre políticas y generalización de ciencia social, así como para la descripción de programas complejos y para el estudio de toma de decisiones, implementación y procesos de cambio hacia el interior de empresas y organizaciones (Yin, 2003).

El método de muestreo no probabilístico, también conocido como *muestreo dirigido* (*purposeful sampling*), es mencionado por autores como Patton (1990) y Gilchrist

(1992, citado por Leblanc y Gillies, 2005). Patton (1990) menciona que la lógica y el poder de este método se hallan en seleccionar casos con gran riqueza y que puedan ser estudiados en profundidad.

Estos casos serán aquellos en donde el investigador pueda aprender con detalle sobre los temas que son de suma importancia para el objetivo de la investigación (Patton, 1990), buscando variedad entre ellos y escogiendo aquel o aquellos más accesibles o en donde podamos pasar la mayor parte del tiempo, ya que el potencial de aprender es un criterio diferente y algunas veces superior al de representatividad (Stake, citado por Denzin y Lincoln, 2005).

### **Etnografía del programa PROALIE: visita al albergue**

El 12 de diciembre visité el albergue Santa Clara de Asís, ubicado en la Av. M. J. Clouthier #7027, en Cd. Juárez, Chihuahua. La bienvenida fue cálida por parte de la directora y la encargada del cuidado de las niñas cuyas edades fluctuaban entre los 3 y los 15 años. Las niñas amablemente fueron las encargadas de mostrarme las instalaciones del albergue, cuya distribución se encontraba de la siguiente manera:

- Oficina: aquí se encuentra un escritorio grande, una computadora, cuenta también con una impresora, teléfono, cuentan con 2 sillas para recibir a la gente que visita el albergue, esta se encuentra a un costado de la entrada principal del lado izquierdo.
- Sala de esparcimiento: Hay dos sofás de tres plazas, cuenta con televisión para que las niñas disfruten un rato viendo películas. Esta se encuentra a un costado de la entrada principal, del lado derecho.
- Pasillo: Esta es la parte de la entrada principal del albergue. Aquí es donde se conecta la oficina, la sala de esparcimiento, el baño, el comedor y los cuartos de la casa del albergue.
- Cuarto de estudio: Este cuenta con mesas y butacas para que las niñas realicen su tarea.
- Comedor: Hay dos mesas grandes y sillas donde las niñas reciben sus alimentos por la mañana-tarde-noche.
- Cocina: Cuentan con cocina integral, una mesa para preparar la comida, hay refrigerador, estufa, microondas y tostador.
- Baño: Cuentan con sanitario y regadera.
- Almacén: Es el lugar donde colocan todos los donativos (ropa, calzado, mobiliario, etc.) que llegan al albergue para después seleccionar y repartir entre las niñas.

- Dormitorios: Estos se encuentran en la planta alta de la casa: hay camas literas, dos dormitorios grandes y uno pequeño, y baño común.

**Imagen 1.** Albergue casa hogar Santa Clara de Asís



Las niñas me recibieron muy bien y logré entablar una buena comunicación con ellas. Me dijeron que en la casa Santa Clara de Asís las tratan y se sienten muy bien. También me comentaron cuáles son sus sueños, qué quieren estudiar más adelante y cuáles son sus metas. Angélica me dijo: “Si Dios quiere, me gustaría ser médico veterinario, porque me gustan mucho los animalitos en especial los perritos” y Perla me comentó: “Yo quiero ser licenciada en Administración de Empresas porque quiero poner un albergue de niños y niñas y buscar más apoyos en diferentes lugares de la ciudad”. Algunas indicaron que su sueño era formar parte de una familia: tener mamá, papá, hermanos, salir de vacaciones a la playa, que alguien las espere cuando llegan de la escuela, que se preocupen por ellas. Asimismo, todos los días piden a Dios que sea pronto el momento en que se tengan que ir del albergue para ser parte de un hogar. Fue muy emotivo en ese instante para mí porque me sentí muy afortunada de tener una familia, aunque también me sentí triste por ellas. Aun así, lo importante es tener mucha esperanza para que la partida del albergue sea pronto. Después de la charla que sostuve con las niñas pude observar la convivencia entre las ellas y sus aspiraciones en la vida; por lo tanto puedo, asegurar que se tratan como hermanas dentro de una familia.

Como parte de las actividades que se desarrollan en el albergue la niña Angélica comentó: “Nos levantan a las 6 de la mañana, nos bañamos y nos arreglamos para ir a la escuela y pasamos a desayunar”. Pude apreciar mucho movimiento por el personal que asiste a las niñas. La hora del desayuno es a las 7 a. m., y todas deben estar en el comedor. Algunas niñas van a la escuela por la tarde, por lo que realizan varias

actividades en la mañana dentro del albergue. A las 12:30 p. m. es la hora de la comida. La encargada del albergue es quien las traslada a la escuela. Al llegar de la escuela, realizan sus tareas en el cuarto de estudio y posteriormente tienen tiempo libre para otras actividades como ver televisión, pintar, realizar manualidades, etc.

La Fundación Pedro Zaragoza Vizcarra, A. C. se encuentra ubicada Antonio J. Bermúdez #2151-6 en Cd. Juárez, Chihuahua. Entrega donativos a la Casa de las Niñas Santa Clara de Asís que son importantes para sostener la institución. Por ejemplo, presencié cuando llegaban por la mañana los camiones repartidores de la leche, jugos y yogurt antes del desayuno de las niñas; posteriormente, la directora va a otro albergue por la carne y el queso, donación que corresponde a la casa de las niñas.

**Imagen 2.** Oficinas de la Fundación Pedro Zaragoza Vizcarra, A. C.



### **Recomendaciones resultantes del estudio de caso**

Con base en la información recopilada de este estudio de caso se pueden generar los siguientes puntos a modo de recomendaciones para el programa estudiado:

- Implementar un formato para la mejor selección del beneficiario, incluyendo toda su información general.
- Aplicar un formato de rutas para la entrega de los donativos a las instituciones con el fin de validar que realmente se esté dando el apoyo y cerciorarse que llegue a los beneficiarios.
- Desarrollar una logística de retroalimentación por parte de las instituciones hacia la Fundación Pedro Zaragoza Vizcarra, A. C. para validar que realmente

esté llegando el beneficio al niño y saber si están cubriendo con la necesidad requerida del programa PROALIE.

- Crear un sistema de medición para estos programas no solo por parte de la fundación, sino también por las empresas involucradas y de los beneficiarios.
- Crear un formato de evaluación efectiva de los matrimonios para la visita de las niñas dentro del albergue Santa clara de Asís.

## **Conclusiones**

Para que el programa de RSC del grupo se consolide es necesario que la empresa sostenga su compromiso con la comunidad y que el personal involucrado con este tipo de programas continúe proporcionando el apoyo pertinente, ya que existen muchas necesidades en esta comunidad fronteriza. Los hallazgos del estudio de caso sugieren que las actividades de Grupo Agroindustrial Zaragoza se encuentran rumbo a lo que Chiavenato (1994) señala como el balance social de la empresa, es decir, si se continúa participando en la comunidad bajo los esquemas de filantropía empresarial y de *marketing* con causa (Kotler y Lee, 2005), se procurará dar estructura a sus programas de apoyo a la comunidad bajo un esquema de RSC más amplia. Los sistemas información-comunicación que la empresa ha establecido dan cuenta de ello, según lo señalado por Kast y Rosenzweig (2004).

Sin embargo, falta mejorar la gestión del PROALIE, en especial los sistemas de administración, contar con una logística para dar seguimiento a los beneficiarios con el fin de tener evidencia de la entrega de los donativos, así como un sistema de retroalimentación por parte de los beneficiarios y actores de este programa de RSC. Asimismo, llegar a la etapa de alineación de objetivos empresariales y sociales que Chiavenato (1994) comenta. En tal sentido, la futura implementación de la norma NMX-SAST-004-IMNC-2004 del Gobierno mexicano sugiere alentar a las empresas hacia esta dirección.

## **Futuras líneas de investigación**

- Evaluar el impacto de un programa de RSC, en la preferencia de compra del consumidor, mediante un comparativo de antes y después de su implementación en alguna empresa.

- Determinar si las empresas que más invierten en RSC son las que más daño causan al medio ambiente y a la salud de la población.
- Identificar qué proyectos o programas brinda el Gobierno en pro de asociaciones que se dedican a otorgar un servicio comunitario, así como qué incentivos ofrece a empresas que quieran tener un programa de RSC.

## Referencias

- Alea, A. (2005). ¿Qué significa responsabilidad social empresarial? [http://www.revistafuturos.info/futuros17/resp\\_soc\\_emp2.htm](http://www.revistafuturos.info/futuros17/resp_soc_emp2.htm)
- Alea García, Alina. (2007). Responsabilidad Social Empresarial. Su Contribución al Desarrollo Sostenible. Revista Trimestral Latinoamericana y Caribeña de Desarrollo Sustentable. 2007, 17, Vol.5. Recuperado del URL: [http://www.revistafuturos.info/futuros17/resp\\_soc\\_emp2.htm](http://www.revistafuturos.info/futuros17/resp_soc_emp2.htm)
- Bansal, P. and Roth, K. (2000). Why Companies Go Green: A Model of Ecological.
- Bueno, E. (1996). *Organización de empresas: estructura, procesos y modelos*. Ediciones Pirámide.
- Bull, B. (2004). Responsabilidad social de las empresas: ¿una solución para el desarrollo en América Latina? *Revista Venezolana de Gerencia*, [http://www.serbi.luz.edu.ve/pdf/rvg/v9n28/art\\_02.pdf](http://www.serbi.luz.edu.ve/pdf/rvg/v9n28/art_02.pdf)
- Carroll, A. (1979). A three-dimensional conceptual model of corporate social performance. *Academy of Management Review*, 4, 497-505.
- Chiavenato, I. (1994). *La gestión de personas: el paso decisivo hacia la gestión participativa*. Makron Libros.
- Chiavenato, I. (2006). *Introducción a la teoría general de la administración* (7.ª ed.) McGraw-Hill Interamericana.
- Cunningham, L. (1994). Corporate governance roundtable. *Cornell Law Review*, 84, 1289-1295.
- Denzin, N. y Lincoln, Y. (2005). *The SAGE handbook of qualitative research*. Sage Publications.
- Fernández, S. (2000). *Sociología de grupos escolares: sociometría y dinámica de grupos*. Universidad de Almeida, 14-16.
- Fetterman, (1998). *Ethnography* (2<sup>th</sup> ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Fonteneau, G. (2003). Responsabilidad social corporativa. <http://www.jussempor.org/Inicio/Recursos/RSCimplicacionessoc.pdf>
- Furubotn, E. G. y Pejovich S. (1972). Property rights and economic theory: a survey of recent Literature, Texas A&M University, College Station, TX and Ohio University, Athens. OH 10, 1137-62. Chiavenato
- Hammersley, M. (1990). *Reading Ethnographic Research: A Critical Guide*. Longman.
- Hernández, C. A. (2003). Investigación e investigación formativa. *Nómadas* (col), (18), 183-193.
- Horton, P. (1994). *Sociología*. Editorial McGraw-Hill.
- Ibarra, V. D. (2007). *Primeros pasos al mundo empresarial*. Editorial Limusa.
- Instituto Ethos (2007). Responsabilidad social empresarial. <http://www.mapeo-rse.info/actor/instituto-ethos-de-empresas-e-responsabilidades-social>

- Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Harvard Business School; SSRN; National Bureau of Economic Research (NBER); European Corporate Governance Institute (ECGI); Harvard University-Accounting & Control Unit.
- Kast, F., & Rosenzweig, J. E. (2004). *Administración en las organizaciones*. Editorial McGrawHill.
- Kotler, P., & Lee, N. (2005). Best of breed: When it comes to gaining a market edge while supporting a social cause, "corporate social marketing" leads the pack. *Social marketing quarterly*, 11(3-4), 91-103.
- Leblanc y Gillies (2005). *Inside the boardroom: how boards really work and the coming revolution in corporate governance*. John Wiley & Sons Canada.
- Lizcano, J. (2004). Transparencia informativa y responsabilidad social corporativa. *Boletín de Estudios Económicos*, [http://www.gva.es/c\\_economia/web/rveh/pdfs/n12/debate1\\_12.pdf](http://www.gva.es/c_economia/web/rveh/pdfs/n12/debate1_12.pdf)
- Makower, J. (1995). *Beyond the bottom line: putting social responsibility to work for your business and the world*. Simon & Schuster. [http://www.empresa.org/doc/recursos\\_comunicadores/SALA\\_DE\\_PRENSA\\_RSE\\_Conceptos\\_e\\_Indicadores.pdf](http://www.empresa.org/doc/recursos_comunicadores/SALA_DE_PRENSA_RSE_Conceptos_e_Indicadores.pdf)
- Martínez, E. (1994). Ciencia, tecnología y desarrollo: interrelaciones teóricas y metodológicas. *Nueva Sociedad*, 523.
- McWilliams, A., & Siegel, D. (2001). Corporate social responsibility: A theory of the firm perspective. *Academy of management review*, 26(1), 117-127.
- Orlitzky, M., Schmidt, F. L. and Rynes, S. L. (2003). Corporate social and financial performance: A meta-analysis. *Organization Studies*, 24, 403-44.
- Patton, M. (1990). *Qualitative evaluation and research methods* (2<sup>th</sup> ed.). Newbury Park, CA.,
- Prado, A. (2004). *Marco lógico y conceptual del modelo de responsabilidad social empresarial para Costa Rica*. INCAE.
- Prieto, C. y Suárez, C. (1992). *Introducción a los negocios operación de la empresa*.
- Robbins, S. (1994). *Administración, teoría y práctica* (4.<sup>a</sup> ed.) Editorial Prentice Hall.
- Sandoval, M. A. (2003). *Tú: moda y belleza más allá del texto, un análisis de recepción* (tesis de licenciatura). Universidad de las Américas. Puebla Cholula, Puebla, México.
- Stake, R. (2006). *Multiple Case Study Analysis*. The Guilford Press.
- Stanton, W. (1996). *Marketing*. McGraw-Hill College.
- Velasco, H. y Díaz de Rada, A. (1997). *La lógica de la investigación etnográfica*. Editorial Trotta.
- Wood, D. (1991). Corporate social performance revisited. *Academy of Management Review*, 16(4), 691-718.
- Yin, R. (2003). *Applications of case study research* (2<sup>th</sup> ed.). Sage Publications.



# Boletín INFORMATIVO

---

**No. 001 • Domingo 2 de Marzo del 2008 • Cd. Juárez, Chih.**



*Asistencia médica.*



*Gran ambiente familiar.*

## Día de la Familia en Lomas de Poleo

**Descripción del evento**  
Celebración del día de la Familia con una jornada comunitaria.

**Objetivo del Evento**  
Proporcionar servicios Médicos, y asistenciales a la población de la colonia.

**Instituciones que Participaron**

- Leche Lucerna
- Krispy Kreme
- Leche Zaragoza
- BipGas
- Inmobiliaria Pejorza
- DIF Municipal
- Desarrollo Social
- SEDESOL
- Fomento Social
- Odontología UACJ
- Colegio de Nutrición



**Más de 800 Familias  
de bajos recursos Beneficiadas**

Brigada Social Familiar • Domingo 2 de Marzo • Escuela Nueva • A partir de las 10:00 a.m.



## Día de la Familia

Y PARA LOS NIÑOS  
JUGOS, LECHE Y DONAS

BRINCA  
BRINCA











*Se entregaron cobijas y despensas a las familias asistentes al evento.*

# **Evaluación de la inteligencia competitiva y la capacidad de innovación en empresas localizadas en la Región Lagunera-México**

**Evaluation of Competitive Intelligence and Innovation Capacity  
en Companies located in the Lagunera Region- Mexico**

**Eduardo Rafael Poblano Ojinaga**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

eduardo.po@cdjuarez.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3482-7252>

**Brenda Pedroza Figueroa**

Tecnológico Nacional de México / IT de La Laguna, México

bpedrozaf@correo.itlalaguna.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8571-7243>

**Jorge Adolfo Pinto Santos**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

Jorge.ps@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8921-9479>

## **Resumen**

La inteligencia competitiva (IC) es una fuente de información para las empresas que operan en entornos altamente competitivos y bajo una creciente rivalidad empresarial. La IC, como estrategia de negocios, podría impactar en el desempeño de las empresas principalmente en su capacidad de innovación (CIn), ventaja competitiva estratégica por naturaleza basada en la tecnología con el propósito de crear, desarrollar o mejorar procesos y productos. La teoría de la CIn aún está en desarrollo y debido a sus coincidencias con la inteligencia competitiva (CI), la gestión del conocimiento (CG) y el capital intelectual (CI), los factores que afectan la administración efectiva de la CIn son demasiados y no se identifican por su contribución relativa a su eficacia. El objetivo de este trabajo, por tanto, es evaluar el efecto relativo entre los factores CI, GC e IC, y su relación en el CIn en empresas de la Región Lagunera, por lo que presenta una revisión

de la literatura correspondiente a los factores que inciden en el CIn, y la aplicación del análisis factorial y el modelado de ecuaciones estructurales. Los resultados muestran que la IC tiene un impacto positivo en 3 de las funciones de 5 KM: en actividades compartidas para el uso del conocimiento y aprendizaje obtenido de la experiencia; en el sistema de gestión de la innovación, y en las medidas tomadas para el empoderamiento de las personas. Asimismo, se observa un importante impacto indirecto de la IC en 3 funciones de la IC: la producción de nuevos conceptos; análisis y toma de decisiones para la innovación y el desarrollo tecnológico, y sobre el desarrollo y mejora de productos, procesos y equipos.

**Palabras clave:** inteligencia competitiva, capacidad de innovación, modelado de ecuaciones estructurales.

## **Abstract**

*La Inteligencia Competitiva is an information source for companies operating in highly competitive environments and under growing business rivalry. IC, as a business strategy, could have an impact on the performance of companies, mainly on its Innovation Capacity-CIn, a strategic competitive advantage by nature based on technology with the purpose of creating, developing or improving processes and products. The theory of the CIn is still under development and due to its coincidences with the Competitive Intelligence-CI, the Management of Conocimiento-CG and the Intellectual Capital-CI, the factors that affect the effective administration of the CIn are too many and are not identified for your contribution regarding its effectiveness. The objective of this work is to evaluate the relative effect between the CI, GC and IC Factors, and their relationship in the CIn in companies in the Laguna Region, as it presents a review of the literature corresponding to the factors that affect the CIn, and the application of Factorial Analysis and the Modeling of Structural Ecuaciones. The results show that the IC has a positive impact on 3 of the 5 KM functions: in shared activities for the use of knowledge and learning obtained from the experience; in the Innovation Management System; and in the measures taken to empower people, there is also an important indirect impact of the IC on 3 functions of the IC: the production of new concepts; analysis and decision making for innovation and technological development, and on the development and improvement of products, processes and equipment.*

**Keywords:** *Competitive Intelligence, Innovative Capacity, Modeled Ecuaciones Estructurales.*

**Nota:** Un agradecimiento especial al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el apoyo brindado para la realización del proyecto, clave 8145.20-P “Evaluación del efecto de la inteligencia competitiva en la capacidad de innovación en mipymes de la Región Lagunera”, convocatoria 2020 proyecto investigación científica, modalidad profesores reconocidos en el SNI, del cual es producto el presente capítulo.

## Introducción

La velocidad del cambio tecnológico actual y la globalización del mercado impulsan a las organizaciones a buscar sistemas de gestión de información dinámicos que les faciliten analizar datos y convertirlos en inteligencia (Bartes, 2015; Tej Adidam *et al.*, 2012). Estos cambios imponen fuertes presiones y restricciones a las organizaciones y su competitividad depende de la capacidad de monitorear y adaptar sus estrategias con base en la información obtenida al explorar el entorno (Nasri y Zairi, 2013). Ante este nuevo paradigma del conocimiento, las empresas necesitan medios de gestión de la información para tomar decisiones y ponerlas en práctica. Este proceso es complejo y parte de la estrategia y la capacidad de la empresa para responder con flexibilidad a las situaciones del mercado y su variación (Stefanikova *et al.*, 2015). Esta información puede ser gestionada y desplegada en toda la organización a través de estrategias de negocio, entre las que destacan la gestión del conocimiento, el capital intelectual y la inteligencia competitiva.

Para hacer frente a dichas condiciones se propone el uso de estrategias y desarrollo de capacidades (Bartes, 2015), lo cual se puede desarrollar con base en la información obtenida al vigilar o explorar el entorno (Tej Adidam *et al.*, 2012). Para ello, es fundamental llevar a cabo una gestión eficaz de la información, lo que a su vez necesitará de la aplicación de sistemas dinámicos de gestión de la información con el fin de desarrollar el conocimiento (Nasri y Zairi, 2013; Stefanikova *et al.*, 2015). Para satisfacer estas necesidades se han propuesto diversas teorías que explican los procesos de obtención y gestión de la información y de la creación de conocimiento; se identifican como principales la IC, la GC, el CI y la CIn. Asimismo, en la búsqueda de explicaciones, la teoría relacionada a los factores que afectan la CIn está siendo desarrollada en tres campos: la gestión del conocimiento, el capital intelectual y la inteligencia competitiva.

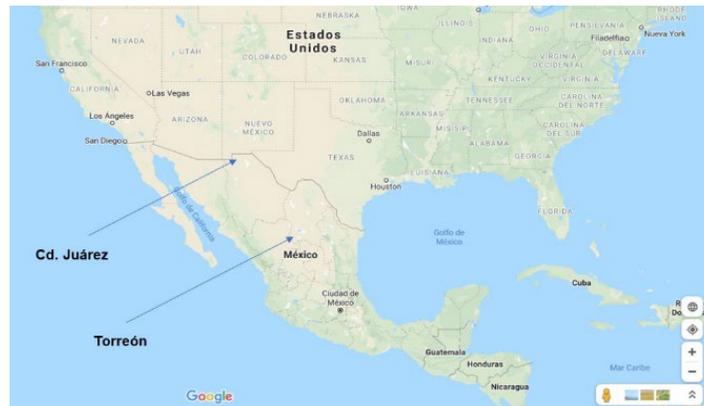
Si bien los propósitos y estudios específicos son diferentes, los factores que explican la creación y desarrollo de la capacidad de innovación en las organizaciones son comunes, pero su importancia relativa no es concluyente. Su aplicación es menor respecto a

la inteligencia competitiva, dado que es un campo más nuevo, su enfoque estratégico y características más especializadas reducen su uso generalizado, se considera una tarea importante debido a su gran efecto en el entorno económico y porque un flujo continuo de innovaciones y desarrollo tecnológico ejerce presión sobre todos los competidores, lo que impulsa la innovación en todo el sistema (Fagerberg y Srholec, 2008).

Señalado lo anterior, es de especial interés evaluar la relación que existe entre inteligencia competitiva y la capacidad de innovación en las empresas localizadas en la Región Lagunera, específicamente en la ciudad de Torreón (Coahuila), la cual se ubica en la región noreste de México (figura 1.1). La economía de la región está basada en la industria agrícola, textil, metalúrgica y química, en el comercio y/o en la prestación de servicios. El sector de empresas de maquila instaladas en la ciudad pertenece a compañías internacionales que se dedican principalmente a la producción textil, electrónica y automotriz.

Al respecto, es importante mencionar que una investigación similar a la presente se realizó en 2018 en empresas de Ciudad Juárez, México (Poblano Ojinaga *et al.*, 2019) debido a que esa es una localidad industrial en el norte de México que limita con la ciudad de El Paso (Texas, EE. UU.), a orillas del Río Bravo, y debido a su población de 1 428 808 habitantes. En otras palabras, es la ciudad más grande del estado de Chihuahua y tiene una economía con base en la industria manufacturera de exportación, conformada por más de 380 empresas distribuidas estratégicamente en los puentes fronterizos y en las zonas de rápido acceso. Aunque las dos ciudades tienen industrias y economía distintas, todas las compañías necesitan información ambiental que puede ser administrada bajo las practicas consideradas por la GC, por el CI y por la IC, las cuales podrían ser confusas debido a teorías no concluyentes (Poblano Ojinaga, 2021). Este proyecto, por ende, reconoce la importancia de la evidencia empírica necesaria para el desarrollo de un modelo teórico más generalizado.

**Figura 1.1.** Localización de las ciudades de Juárez y Torreón en México



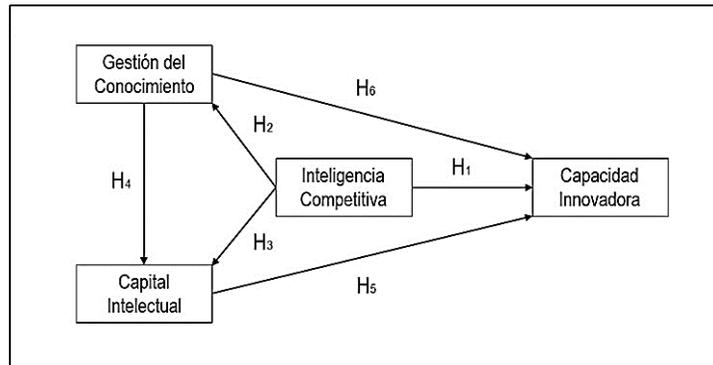
El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto relativo entre factores de inteligencia competitiva, gestión del conocimiento y capital intelectual, y su relación en la capacidad innovadora en empresas de la Región Lagunera. Dada la necesidad de ser competitivos, algunas empresas no cuentan con la información necesaria para el análisis y toma de decisiones. Con la intención de obtener datos y gestionar el conocimiento, algunas despliegan funciones administrativas basadas en teorías como la inteligencia competitiva, la gestión del conocimiento o el capital intelectual, y dado que cada una de estas áreas trata de manera específica la información, su gestión y su transformación en conocimiento son limitadas. El problema planteado se aborda a través de dos dimensiones: una práctica y otra teórica. En esta investigación se hará énfasis en la dimensión práctica —para más detalles sobre la dimensión teórica ver Poblano Ojinaga (2019)—. En la dimensión práctica, hay empresas que no estudian el entorno y que no rastrean variables relacionadas con la competitividad; otras lo hacen empíricamente y otras más lo pueden hacer a través de la inteligencia competitiva, la gestión del conocimiento o el capital intelectual, y en virtud de que no hay modelos aceptados de aplicación general, las empresas que estudian el entorno, rastreando oportunidades tecnológicas y creando inteligencia, lo hacen de acuerdo a la práctica y costumbres que desarrollan internamente, por lo que no son efectivas en algunos casos. Por lo tanto, es conveniente obtener resultados por medio de un modelo estructural de la IC, la GE y el IC, que será más efectivo para recabar y gestionar información útil (inteligencia) en menor tiempo, a menor costo y con mayor eficiencia y calidad.

Las hipótesis que se plantean en este trabajo (figura 1. 2) son seis:

- $H_1$ : La inteligencia competitiva influye en la capacidad de innovación.
- $H_2$ : La inteligencia competitiva influye en la gestión del conocimiento.

- H<sub>3</sub>: La inteligencia competitiva influye en el capital intelectual.
- H<sub>4</sub>: La gestión del conocimiento influye en el capital intelectual.
- H<sub>5</sub>: El Capital Intelectual influye en la Capacidad de Innovación.
- H<sub>6</sub>: La gestión del conocimiento influye en la capacidad de innovación.

**Figura 1.2.** Modelo hipotético de investigación



En esta competencia global, las organizaciones de la Región Lagunera necesitan mejorar su nivel de desempeño para incrementar su competitividad. Una estrategia es a través del uso de metodologías de creación y gestión del conocimiento, como la inteligencia competitiva, considerada en la literatura como parte importante de la innovación y el desarrollo tecnológico, lo que repercutiría positivamente al contar con productos y procesos más eficientes y competitivos. Además, con la información obtenida, se elaborarían estrategias para desarrollar ventajas competitivas con base en la identificación de los efectos entre las relaciones de los factores del IC con el GC y el IC y su efecto sobre el ICn.

Por último, el estudio tiene como alcance las prácticas de la inteligencia competitiva, el capital intelectual, la gestión del conocimiento en empresas de manufactura localizadas en la Región Lagunera. La investigación de campo está delimitada al periodo comprendido entre febrero y marzo de 2020. Se enfoca en evaluar el efecto de la relación entre las actividades de inteligencia competitiva y la capacidad innovadora de la empresa.

## Marco teórico

### Inteligencia competitiva (IC)

La aplicación de la IC ha aumentado en las últimas décadas y se ha vuelto más formalizada (Sewdass y Calof, 2020). La IC es esfuerzo sistemático, con objetivos programados éticos, específicos y oportunos para la recolección, análisis y síntesis de información relevante respecto a competidores, mercados y ambiente económico, lo cual constituye una fuente de ventaja competitiva (Fleisher y Wright, 2009; Moreno Chávez, 2010). La IC se define como un esfuerzo sistemático, orientado a objetivos, ético y oportuno para recopilar, analizar y sintetizar información relevante sobre los competidores, los mercados y el entorno externo con el fin de producir conocimientos prácticos que puedan proporcionar una ventaja competitiva (Fleisher y Wright, 2009). Mediante la aplicación de la IC, las empresas pueden detectar oportunidades de innovación y diseño, identificar tendencias y mercados emergentes en los que podrían introducir nuevos productos, materiales, tecnologías y procesos entre otros factores de competitividad (Moreno Chávez, 2010), por lo que resulta de gran importancia la comprensión y la capacidad de medir el impacto y verificar el valor de la IC (SCIP, 2017).

En la literatura existe una variedad de definiciones de IC entre profesionales y académicos; los términos *inteligencia corporativa*, *inteligencia de negocios*, *inteligencia de mercado* y otros similares a menudo se usan sin distinción y en su mayoría las diferencias son más de semántica que de sustancia (Rodríguez Gómez, 2006). Esto se puede explicar porque la IC es un proceso utilizado en situaciones dinámicas y en un entorno de negocios en un cambio contante, por lo que la variedad de conceptos podría ser un reflejo de este proceso de cambio continuo (Fleisher y Wright, 2009). Esta información conduce a una mejor planeación de negocios, incluyendo proyectos de investigación, de desarrollo y de mercadeo. La IC es una práctica común debido a la importancia del seguimiento de las tendencias de la tecnología, de la reducción de riesgos asociados y de la adquisición de las tecnologías correctas (Brody, 2008; Fuld, 2006). Dos de las fuentes más importantes de ventaja competitiva son el conocimiento, y la capacidad para aprender y ejecutar planes. Con respecto al conocimiento, la investigación muestra el rol importante de su gestión, ya que contribuye significativamente a mejorar el desempeño organizacional (Sundiman, 2018). Además, las contribuciones para la organización es de sumo interés para la información, la administración de negocios, la comunicación, la ingeniería industrial y la psicología (Rodríguez Gómez, 2006).

## **2.2. Gestión del conocimiento (GC)**

La GC se dedica al desarrollo de las capacidades y actividades requeridas para el diseño y mejora de bienes, procesos y tecnologías de producción (Díaz, 2007), por lo que es de gran interés en las áreas de administración de empresas, ingeniería industrial y comunicación (Rodríguez Gómez, 2006). Se enfoca en la organización, la adquisición, el almacenamiento y el uso del conocimiento con el fin de alcanzar objetivos como lo son la toma de decisiones, la resolución de problemas, el aprendizaje dinámico y la planificación estratégica (Hammed 2004, citado por Herschel y Jones, 2005). Debido a estas funciones compartidas, se configura una relación con la inteligencia competitiva, como complemento, para gestionar efectivamente la información.

La GC es el desarrollo de capacidades y actividades que le permiten a una organización diseñar nuevos productos y mejorar los existentes, así como optimizar y/o modificar sus procesos administrativos y productivos (Díaz, 2007). La GC es el proceso sistemático de búsqueda, organización, filtrado y presentación de información con el objetivo de mejorar la comprensión de las personas sobre un tema de interés (Davenport *et al.*, 2003), lo que ayuda a la adquisición conocimiento y comprensión a partir de la propia experiencia (Herschel y Jones, 2005). La GC se enfoca en la facilitación y gestión de las actividades relacionadas con el conocimiento, su creación, captura, transformación y uso; su principal función es planificar, poner en marcha, operar y controlar todas y cada una de las actividades y programas relacionados con el conocimiento, lo que requiere una gestión eficaz (Viedma Martí, 2006, citado por Arias *et al.*, 2007).

### **Capital intelectual (CI)**

El CI puede ser definido como la suma de todos los recursos intangibles relacionados con el conocimiento que una organización es capaz de utilizar en sus procesos productivos en el intento de crear valor (Kianto *et al.*, 2014). Es el conjunto de activos intangibles que cuando son bien administrados pueden ser una fuente de ventajas competitivas sustentables y su conocimiento es útil para la creación de valor y utilidades incrementadas (Alama *et al.*, 2006). El capital intelectual tiene tres elementos ampliamente aceptados: capital humano (CH), capital estructural (CE) y capital relacional (CR). El CH está relacionado a las personas como fuente de riqueza para las empresas e incluye actitudes, habilidades y experiencias, por lo que considera su capacidad de aprender, cambiar e innovar. Cuenta con tres componentes: 1) habilidades que integran destrezas, talentos y saber hacer; 2) actitud, se traduce en comportamiento, motivación, acción y ética, y 3) agilidad intelectual, lo cual genera valor para la organización en la

medida en que se llevan a cabo los nuevos conocimientos o descubrimientos que facilitan la transformación de las ideas en productos y servicios.

El CE es el conocimiento existente que es propiedad de la organización, independientemente de la permanencia de las personas (Santos-Rodrigues *et al.*, 2011). Facilita el desarrollo y la medición del capital intelectual en la organización, de tal manera que sin este el capital intelectual se limitaría solo a capital humano. El CE tiene las bases de datos, las redes informáticas, la propiedad intelectual. Sus dos propósitos son la codificación de los cuerpos de conocimiento para preservar “recetas” que de otra manera se podrían perder y reunir a las personas especialistas con información y habilidades. Por lo tanto, el CE tendría como objetivo capturar el conocimiento tácito y explícito del personal de la empresa e información clave sobre los clientes, competidores y el entorno externo. El CR se refiere al conocimiento individual de los canales demercado, clientes y proveedores, y el conocimiento del impacto de las asociaciones gubernamentales o industriales; es el resultado de la inteligencia competitivay social, y es dada por el valor de las relaciones y acciones de la organización compartidas con los agentes externos y sociales (Santos-Rodrigues *et al.*, 2011). Por último, el CH que integra actitudes, habilidades y experiencia de la gente; el capital estructural que incluye propiedades intelectuales tales como patentes, resultado de investigación y desarrollo, políticas, estrategias e información; ambas relacionadas con la InC, y el capital relacional que trata con el valor de las relaciones de negocio con su ambiente, tales como clientes y proveedores (Hormiga *et al.*, 2011; Díez *et al.*, 2010).

#### **2.4. Capacidad de innovación (CIn)**

Una teoría importante de mencionar, relacionada con la transferencia de conocimiento y su absorción, son las capacidades tecnológicas que se consideran como las habilidades técnicas, gerenciales u organizacionales que necesita la empresa para utilizar eficientemente los equipos e información para llevar a cabo cualquier proceso de cambio tecnológico. Esto implica la necesidad de crear conocimiento y desarrollar habilidades para adquirir, utilizar, absorber, adaptar, mejorar y generar nuevas tecnologías como fuerza motriz para ofertar productos. Según Lugones *et al.* (2007), las capacidades tecnológicas incluyen la capacidad de absorción y la capacidad de innovación.

La CIn es un activo estratégico fundamental y parte importante para mantener la ventaja competitiva (Ponta *et al.*, 2020). Es la habilidad de transformar continuamente el conocimiento y las ideas en nuevos productos, procesos y sistemas para el beneficio de las firmas. Es un conjunto de capacidades y recursos organizacionales altamente dinámicos por naturaleza, con el propósito de administrar y realizar estrategias de

innovación buscando la creación y desarrollo de ventaja competitiva sustentable requerida para respuestas adecuadas y flexibles a los retos del mercado (Robledo *et al.*, 2010), por lo que incluye las habilidades de la gente y lo mejor de su organización (Lugones *et al.*, 2007).

Las cuatro dimensiones de la tabla 1.1 fueron seleccionados para la identificación de los factores relacionados con variables latentes. Además, a los factores más frecuentemente mencionados en la literatura se les asignaron variables medibles y se establecieron ítems para su medición. Los tópicos coincidentes estudiados en los cuatro campos son una indicación de su gran importancia relativa y de la necesidad de administrar apropiadamente.

**Tabla 1.1.** Función administrativa, su definición y factores críticos

| Función                         | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Factores críticos                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Inteligencia competitiva</b> | Es el proceso que produce y difunde inteligencia procesable mediante la planificación, la recopilación, el procesamiento y el análisis ético y legal del entorno interno y externo competitivo para ayudar a los tomadores de decisiones y proporcionar una ventaja competitiva a la empresa (Pellissier y Nenzhelele, 2013). | Planeación de actividades de inteligencia.<br>Recolección de información del entorno.<br>El análisis de la información para generar inteligencia.<br>Administración de la información útil (inteligencia).<br>Toma de decisiones con base en la inteligencia.<br>Administración del talento del personal de IC.    |
| <b>Gestión del conocimiento</b> | Desarrollo de las capacidades y actividades que le permite a una organización diseñar nuevos productos y mejorar los existentes, así como modificar y mejorar sus procesos administrativos y de producción; es el saber hacer en un contexto global (Díaz, 2007).                                                             | Análisis y la toma de decisiones.<br>Sistema de información.<br>Gestión del factor humano.<br>Empoderamiento del empleado.<br>Estructura organizacional.<br>Uso compartido del conocimiento.                                                                                                                       |
| <b>Capital intelectual</b>      | La suma de todos los recursos intangibles (relacionados con el conocimiento) que una organización es capaz de usar en sus procesos productivos en el intento de crea valor (Kianto <i>et al.</i> , 2014).                                                                                                                     | CH: Nivel profesional.<br>Capacitación y desarrollo.<br>Actitud para compartir conocimiento.<br>CE: Sistema de información.<br>Participación del personal.<br>Capacidad de innovar;<br>CR: Relación con clientes y proveedores.<br>Alianzas estratégicas.<br>Relación con organismos empresariales gubernamentales |
| <b>Capacidad innovadora</b>     | Conjunto particular de capacidades organizacionales, con carácter dinámico y orientado a la innovación, que posibilita a la organización a formular e implementar exitosamente estrategias para construir ventajas competitivas duraderas (Robledo <i>et al.</i> , 2010).                                                     | Generación de ideas.<br>Generación de nuevos conceptos.<br>Generación de nuevos productos.<br>Generación de nuevos procesos.<br>Propiedad intelectual (patentes, marcas, etc.).                                                                                                                                    |

Fuente: Poblano Ojinaga (2019)

Cabe señalar la importancia de distinguir los factores según su importancia relativa, con su contribución en la administración de un programa efectivo de IC que pueda explicar con precisión y claridad, objetivamente, la variación multifactorial de la efectividad de la IC. Por eso, se decidió aplicar el modelado de ecuaciones estructurales. El MEE utiliza un enfoque confirmatorio para el análisis de teorías que presentan relaciones entre variables observadas (ítems) y variables o factores latentes. El MEE ha sido

utilizado en diferentes campos como la psicología del trabajo, medicina y salud, así como en educación. En los estudios relacionados al área de manufactura, el MEE ha sido aplicado en diferentes empresas mexicanas; por ejemplo, en la resiliencia organizacional (Noriega Morales *et al.*, 2019), el mantenimiento productivo total (Hernández *et al.*, 2018), entre otras.

## **Metodología**

En esta investigación se enfoca a la medición de los cuatro procesos administrativos de interés: la IC, la GC, el CI y la CIn, los cuales son constructos subjetivos que fueron medidos a través de un instrumento previamente diseñado y validado para la recolección de datos y su posterior análisis mediante métodos estadísticos, como el análisis factorial y el modelado de ecuaciones estructurales. Por lo anterior, la metodología de investigación utilizada tuvo un enfoque cuantitativo al utilizar la recolección de datos con la finalidad de probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico. Este se llevó a cabo a través de un conjunto de procesos de investigación que involucran la recolección y análisis de datos cuantitativos, su integración y discusión con el propósito de lograr una mejor comprensión del fenómeno de estudio a través de inferencias a partir de los resultados de la información recolectada (Bernal, 2010; Hernández Sampieri *et al.*, 2014; Malhotra, 2008).

Esta investigación tuvo un alcance correlacional debido a que su finalidad fue conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular; el diseño de la investigación fue no experimental, ya que las variables bajo estudio se observaron en su contexto natural sin manipular las variables independientes. Además, es transeccional o transversal de tipo correlacional-causal debido a que se recolectó información en momento único y se describieron las relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables, ya sea en términos correlacionales y/o en función de la relación causa-efecto (causales) (Hernández *et al.*, 2014).

## **Materiales**

Para recolectar información de los tres campos de la economía de conocimiento de interés en este trabajo (CI, CI y GC), así como la capacidad innovadora (CIn), se requiere contar con un instrumento de medición tipo cuestionario, diseñado a partir de la revisión de la literatura y previamente validado. En la etapa de análisis de datos

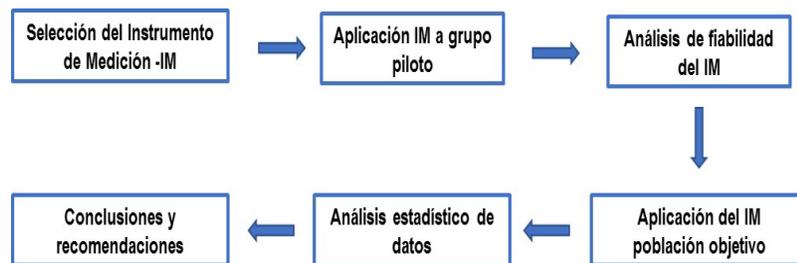
estadísticos se requiere una computadora portátil con acceso a internet y capacidad suficiente para los siguientes paquetes computacionales:

- Minitab® versión 17,
- SPSS® versión 22 y
- Amos® Versión 22.

## Método

Con la intención de representar la realidad estudiada, en este trabajo se utilizó un modelo de seis etapas (figura 3.1), el cual se fundamenta en estudios realizados y experiencia en aplicaciones similares.

Figura 3.1. Diagrama de flujo de la metodología



El proceso da inicio con la selección de un instrumento de medición, previamente validado en su contenido por expertos, para identificación de los factores de las tres funciones administrativas (IC, GC y CI) y la capacidad innovadora de la empresa (etapa 1) para finalizar en conclusiones y recomendaciones (la etapa 6). La revisión de la literatura de los factores que afectan la InC dio un conjunto de 26 variables medibles para KM, IC, CI e InC. La recolección de datos se hizo con un cuestionario que fue validado para contenido, confiabilidad y constructo. El cuestionario empleó la escala de Likert con 5 categorías, con un rango de entre 1 y 5 (1 = *muy en desacuerdo* y 5 = *completamente de acuerdo*). La recolección de los datos fue a través de un muestreo de conveniencia no-probabilístico. Los elementos de muestra fueron seleccionados por medio de una muestra y por la voluntad de participar (Malhotra, 2008). El cuestionario se aplicó a 224 ingenieros de 14 compañías que producen partes automotrices, textiles y electrónicas.

Los análisis estadísticos se efectuaron con Minitab v17, SPSS v.22 y Amos v.22; inician con la identificación de los puntos con valores atípicos por el método de distancia de Mahalanobis. Se mide la confiabilidad interna del cuestionario, se usa la prueba

Kaiser-Meyer Olkin para las adecuaciones de la muestra y la prueba de esfericidad de Bartlett para las correlaciones que determinan la idoneidad del modelo. Después, las correlaciones de factores y cargas son determinadas por el método de extracción de componentes principales y la rotación es llevada a cabo por Promax, luego se realizan las validaciones de convergente y discriminante, y la estimación de los índices de ajuste para la validación del constructo del cuestionario.

La MEE usa un enfoque confirmatorio para el análisis de teorías presentando las relaciones entre las variables observadas (ítems) y las variables latentes o factores (Byrne, 2010) inician con la especificación del modelo. Para la especificación del modelo, Lomax y Schumacker (2012) recomiendan la definición de las relaciones con las variables del modelo teórico y para la determinación del mejor modelo (el único capaz de producir la matriz de covarianza de la muestra). Para determinar las diferencias entre el modelo real y los datos, todos los parámetros se consideran como libres, restringidos o fijos; y por su combinación se construye la matriz implícita de varianza-covarianza del modelo. Esto seguido por la identificación, estimación, prueba y modificación (Lomax y Schumacker, 2012). Las cargas factoriales fueron determinada mediante el método de máxima probabilidad (ML).

## **Resultados**

En la **etapa uno** se determinó usar un instrumento de medición validado previamente, producto de una búsqueda y revisión de literatura enfocada en tres funciones administrativas (IC, GC y CI) y de la capacidad innovadora de la empresa, para lo cual se identificaron los principales factores que influyen en la efectividad en los negocios. Con base en los factores críticos seleccionados, se “operacionalizaron” las variables para posteriormente desarrollar el instrumento de medición con una escala tipo Likert de 5 categorías, donde el número 1 representa un valor bajo o totalmente en desacuerdo y el número 5 un valor alto o totalmente de acuerdo. La tabla 4.1 muestra las cuatro funciones administrativas de interés en este trabajo.

**Tabla 4.1.** Factores y variables medidas

| Dimensión                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                       | Código                                               |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>IC</b><br><b>inteligencia competitiva</b> | Proceso dado e inteligencia distribuida por la planeación, recolección, procesamiento, análisis legal y ético del ambiente con el propósito de mejorar el análisis y la toma de decisiones para la generación de ventaja competitiva (Pellissier y Nenzhelele, 2013). | CI01, CI02, CI03, CI04, CI05, CI06, CI07             |
| <b>GC</b><br><b>gestión del conocimiento</b> | Desarrollo de capacidades y actividades requeridas para el diseño de innovaciones, nuevos productos y mejora de la producción, tecnologías para el equipamiento de procesos, así como sistemas gerenciales. Es el saber cómo en un contexto global (Díaz, 2007).      | KM01, KM02, KM03, KM04, KM05                         |
| <b>CI</b><br><b>capital intelectual</b>      | La suma de todos los recursos intangibles-relacionados-con-el-conocimiento, que una organización es capaz de usar en sus procesos productivos en el intento de crea valor (Kianto <i>et al.</i> , 2014).                                                              | IC01, IC02, IC03, IC04, IC05, IC06, IC07, IC08, IC09 |
| <b>CIn</b><br><b>capacidad de innovación</b> | “Activo especial” utilizado por las firmas para adquirir y valorar las experiencias interiores para movilizar y crear nuevo conocimiento que satisfaga las necesidades del mercado.                                                                                   | InC01, InC02, InC03, InC04, InC05                    |

Fuente: Adaptado de Poblano Ojinaga (2021)

Para las cuatro dimensiones (tabla 4.1), se identificaron los factores más mencionados en la literatura y se establecieron ítems para su medición. El MI fue validado en su contenido a través de juicio de expertos que evaluaron el MI en las áreas pertinencia y claridad (Escobar-Pérez y Cuervo- Martínez, 2008). Y con el *software* SPSS, versión 22, se llevó a cabo la prueba de Kendall o coeficiente de concordancia. En cuanto a los resultados empíricos obtenidos para las dos áreas evaluadas, el valor de p fue menor a 0.05, para un nivel de significancia de 5%, lo que muestra que existe acuerdo entre los evaluadores o conocedores. En la etapa dos, se aplicó el IM a un grupo piloto con una muestra de 50 participantes que poseen los atributos deseados de la población objetivo. Este tamaño de muestra es mayor que el rango entre 30 y 40 recomendado por Hertzog (2008). El muestro es del tipo por conveniencia y se siguieron las instrucciones indicadas en el IM.

Una vez recolectada la información, y con el uso del *software* SPSS, se concretó la etapa tres: análisis de confiabilidad del MI utilizando el coeficiente alfa de Cronbach. El valor fue de 0.910, superior al 0.70 recomendado en Nunnally y Bernstein (1994); por lo tanto, la confiabilidad del instrumento se considera buena (tabla 4.2).

**Tabla 4.2.** Estadístico de fiabilidad

| Dimensión                     | N.º elementos | Alfa de Cronbach |
|-------------------------------|---------------|------------------|
| Inteligencia competitiva (IC) | 7             | 0.926            |
| Gestión del conocimiento (GC) | 5             | 0.773            |
| Capacidad Innovadora (CInn)   | 5             | 0.818            |
| Capital intelectual           | 9             | 0.701            |
| Instrumentos de medición 4 D  | 26            | 0.910            |

Fuente: Elaboración propia

En la **etapa cuatro** se aplicó un total de 212 instrumentos de medición, número superior al valor de 200 recomendado por Lloret-Segura *et al.* (2014), los cuales fueron respondidos por personal de mandos medios de empresas de la Región Lagunera. La tasa de respuesta fue de 91.9 %.

**Tabla 4.3.** Características de la muestra (n = 195)

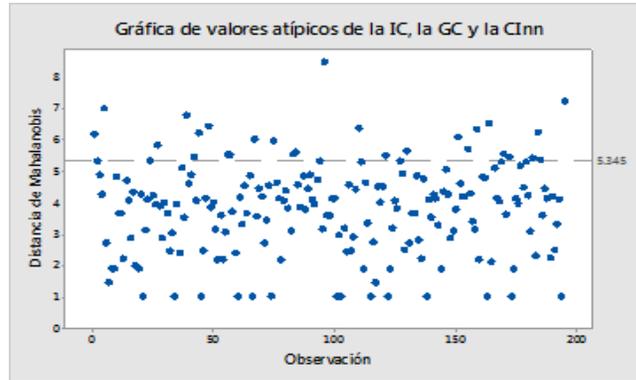
| Características                            | Frecuencia | %    | % acumulado |
|--------------------------------------------|------------|------|-------------|
| <b>Genero</b>                              |            |      |             |
| Masculino                                  | 148        | 75.8 | 75.8        |
| Femenino                                   | 47         | 24.2 | 100.0       |
| <b>Edad (años)</b>                         |            |      |             |
| < 25                                       | 76         | 38.9 | 38.9        |
| De 25 – 35                                 | 65         | 33.4 | 72.3        |
| > 35                                       | 54         | 27.7 | 100.0       |
| <b>Experiencia en puestos relacionados</b> |            |      |             |
| < 1                                        | 77         | 30.5 | 39.5        |
| 2 – 7                                      | 55         | 28.2 | 67.7        |
| > 7                                        | 63         | 32.3 | 100.0       |

Fuente: Elaboración propia

La **etapa cinco** (análisis estadístico de datos) se llevó a cabo en tres pasos. En el primero se realizó un análisis estadístico inicial, donde se identifica que los ítems del CI no cumplen con el criterio de validez de convergencia, y aunque en la literatura Santos-Rodrigues (2011), Wang y Chen (2013), Sivalogathan y Wu (2013) reportan un impacto del capital intelectual en la inteligencia competitiva, en esta investigación la variable capital intelectual fue eliminada, por lo que se prosiguió con las demás variables (tabla 4.4).

Para identificar casos atípicos o valores extremos, se utilizó el procedimiento de distancia Mahalanobis con la ayuda del *software* Mintab, versión 17. Los puntos por encima de la línea de referencia del eje Y = 5.345 son valores atípicos (figura 4.1). En este paso, 28 cuestionarios fueron eliminados.

**Figura 4.1.** Gráfica de datos atípicos



Como siguiente paso se determinó la adecuación de la medida KMO (Kaiser Meyer Olkin) y la prueba de esfericidad de Bartlett para medir la correlación existente entre las variables e indicar si la muestra era aceptable para realizar un análisis factorial. Los resultados que se obtuvieron muestran un valor de 0.930 para KMO y un valor p de 0.000 para la esfericidad de Bartlett. Los dos valores obtenidos están dentro de lo recomendado por (Levy Manquin *et al.*, 2003). Posteriormente, se procedió a estimar las correlaciones factoriales y las cargas factoriales con ayuda del paquete estadístico SPSS, versión 22, utilizando el método de extracción de componentes principales, y para su rotación el método Promax. Las cargas factoriales para los elementos-ítems superan el nivel recomendado de 0.60 (Lin, 2007).

**Tabla 4.4.** Resultados de la validez convergente

| DIMENSION                       |       | Carga factorial | AVE         | CR          |
|---------------------------------|-------|-----------------|-------------|-------------|
| <b>Inteligencia Competitiva</b> |       |                 |             |             |
| Ítem                            | IC01  | .731            |             |             |
|                                 | IC02  | .822            |             |             |
|                                 | IC03  | .869            |             |             |
|                                 | IC04  | .806            |             |             |
|                                 | IC05  | .781            |             |             |
|                                 | IC06  | .775            |             |             |
|                                 | IC07  | .707            | <b>0.62</b> | <b>0.92</b> |
| <b>Gestión del Conocimiento</b> |       |                 |             |             |
| Ítem                            | GC01  | .695            |             |             |
|                                 | GC02  | .815            |             |             |
|                                 | GC03  | .748            |             |             |
|                                 | GC04  | .680            |             |             |
|                                 | GC05  | .679            | <b>0.53</b> | <b>0.85</b> |
| <b>Capacidad Innovadora</b>     |       |                 |             |             |
| Ítem                            | CIN01 | .732            |             |             |
|                                 | CIN02 | .842            |             |             |
|                                 | CIN03 | .783            |             |             |
|                                 | CIN04 | .715            |             |             |
|                                 | CIN05 | .666            | <b>0.56</b> | <b>0.86</b> |

Fuente: Elaboración propia

Con la información anterior se procede al paso 2: validez convergente y discriminante. Validez convergente se entiende como el grado en que múltiples intentos de medir el mismo concepto concuerdan. Esta se evaluó en con la base de la confiabilidad compuesta (CR por sus siglas en inglés) y la varianza promedio extraída (AVE por sus siglas en inglés). Los resultados se presentan en la tabla 4.4. Los valores de CR, grado en que los indicadores explican el constructo latente, se encuentran entre el rango de 0.85 a 0.92, superando en todos los casos el nivel recomendado de 0.70, y los AVE, que muestran la cantidad de variación total de los indicadores explicados para el constructo latente, se encuentran en el rango entre 0.53 y 0.62, mayor al nivel sugerido de 0.5 (Hair *et al.*, 1998).

La validez discriminante se define como el grado en que las medidas de los diferentes conceptos son diferentes, y se examinó comparando las correlaciones al cuadrado del constructo con la varianza media extraída del constructo y se da cuando los elementos sobre la diagonal (AVE) son mayores que los elementos debajo de la diagonal (Matzler y Renzl, 2006). El análisis muestra los resultados donde las correlaciones al cuadrado para cada constructo son inferiores a la AVE diagonal (tabla 4.5).

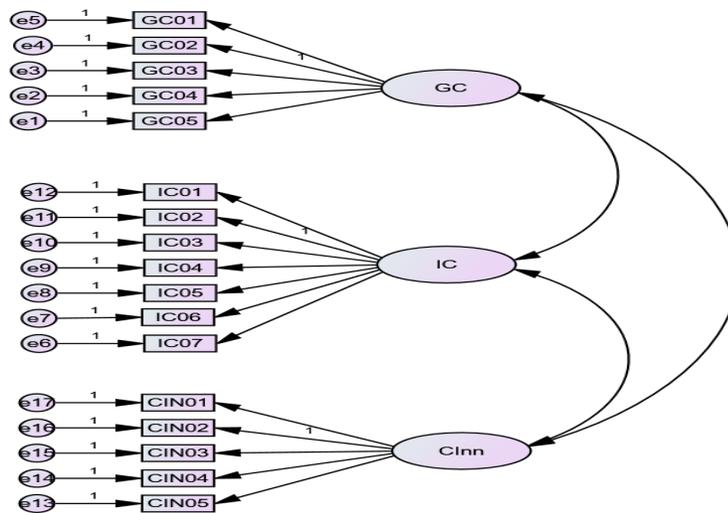
**Tabla 4.5.** Resultados de la validez discriminante

|                               | Inteligencia Competitiva | Capacidad de Innovación | Gestión del Conocimiento |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Inteligencia Competitiva 0.62 |                          |                         |                          |
| Capacidad de Innovación 0.16  |                          | 0.56                    |                          |
| Gestión del Conocimiento 0.39 |                          | 0.21                    | 0.53                     |

Fuente: Elaboración propia

En el paso 3, análisis factorial confirmatorio, se procede a probar el modelo de medida (figura 4.2) por medio del paquete de análisis de ecuaciones estructurales Amos a través del método de estimación de máxima verosimilitud.

**Figura 4.2.** Modelo de medida



El modelo consta de 37 variables, con una chi-cuadrada de 290.264, un valor  $p = 0.000$ , 116 grados de libertad, 153 momentos o pares y se estimarán 37 parámetros. De acuerdo con la condición de orden, este modelo está sobreidentificado debido a que hay más valores en S que parámetros para estimar o los grados de libertad son positivos, no cero-solo identificado o negativo-no identificado (Lomax y Shumager, 2012). El resultado de la prueba del modelo de medida muestra que los pesos de regresión o cargas

factoriales son significativas a un nivel de alfa de 0.05, igual que las covarianzas entre los constructos. Asimismo, se determinó el valor chi-cuadrada: 224.274 y valor  $p = 0.000$ .

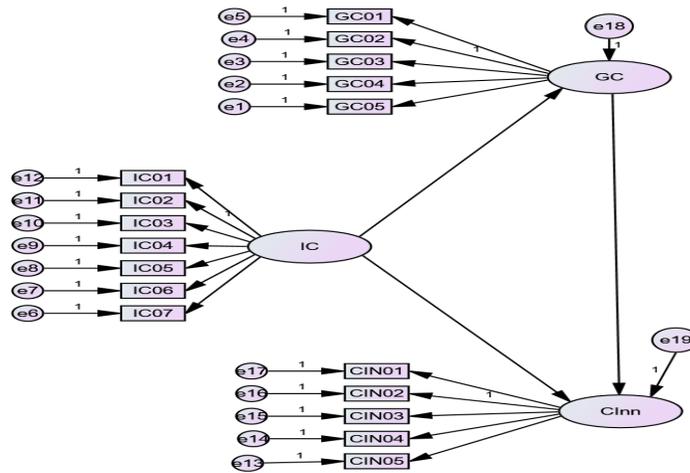
**Tabla 4.6.** Índices de ajuste del modelo de medida

| Índice de ajuste | CMIN/DF | CFI    | RMSEA  | AGFI   |
|------------------|---------|--------|--------|--------|
| Modelo           | 2.502   | 0.875  | 0.095  | 0.770  |
| Recomendado      | <3.00   | >0.900 | <0.080 | >0.800 |

En la tabla 4.6, los índices de ajuste del modelo de medida realizados mediante el análisis factorial confirmatorio dan una relación CMIN/DF de 2.502, la cual es menor que el valor recomendado de 3; el valor de AGFI = 0.77 es menor que 0.8; el índice comparativo de ajuste CFI = 0.875 es ligeramente menor que 0.9, de acuerdo con Chau y Hu (2001) y según la raíz de cuadrados medios del error de aproximación (RMSEA= 0.095), ligeramente mayor al límite de 0.08 propuesto por Browne y Cudeck (1993). Por lo tanto, los datos de varianza-covarianza tienen un ajuste aceptable con el modelo estructural y los constructos serían válidos; sin embargo, una modificación al modelo podría mejorar su ajuste.

El modelo estructural propuesto (figura 4.3) tiene tres variables latentes (o factores) y 17 variables observadas (ítems), y se plantearían 3 hipótesis: H<sub>1</sub>: la inteligencia competitiva afecta la capacidad de innovación, H<sub>2</sub>: la inteligencia competitiva afecta la gestión del conocimiento y H<sub>3</sub>: la gestión del conocimiento afecta la capacidad de innovación.

Figura 4.3. Modelo estructural propuesto de IC, GC y CIn



Para la identificación del modelo, la cantidad de parámetros libres para estimar tiene que ser menor o igual que el número de valores diferentes en la matriz S. El número de parámetros libres para estimar es de 40: 14 cargas factoriales, 3 cargas adicionales fijas para 1; 17 varianzas para la medición del error; ningún término para la medición del error de covarianzas; una varianza para la variable latente independiente; ninguna covarianza de la variable latente independiente; 3 coeficientes de estructura; 2 varianzas de la ecuación de predicción del error y ninguna covarianza para la ecuación de predicción. Dado que el número de los 153 valores estimados dados y que  $S = 17$  y  $(17(17+1)/2)$  es mayor que el valor de parámetros libres (Chau y Hu, 2001), el modelo es identificado y sigue la estimación de parámetros.

Para la estimación de los parámetros, los pesos de regresión y los coeficientes de estructura que el modelo hipotético indica, con excepción de la estructura IC-InC, son significativos, dado que el valor de  $p$  es menor  $\alpha = 0.05$ . Esta corrida fue hecha en AMOS v.22 con máxima probabilidad (ML) para datos distribuidos normalmente, ordinalmente o moderadamente no normal.

Para la prueba del modelo, dado el conjunto de índices ajustados utilizado, es aceptable el grado en que los datos de varianza-covarianza se ajustan al modelo hipotético estructural. El ajuste parece razonable, aunque con alguna modificación podría mejorar. Por eso, se incluyen parámetros adicionales como índices de modificación con tres covarianzas entre errores:  $e_3-e_4$ ,  $e_{11}-e_{12}$  y  $e_{13}-e_{15}$ . La máxima probabilidad y los índices son estadísticamente significativos diferentes de 0.00 y con  $(p < 0.05)$ , excepto entre la inteligencia competitiva y la capacidad de innovación. También  $\chi^2 = 224.74$ ,

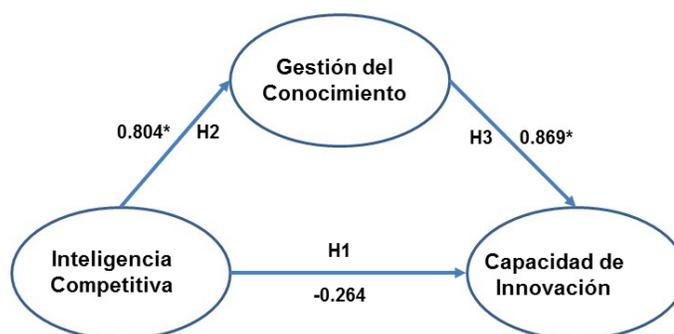
$p = 0.00$ , y CMIN/DF, AGFI; RMSEA cumplen con los criterios correspondientes (tabla 4.7).

**Tabla 4.7.** Índices de ajuste del modelo de medición

| Índice de ajuste  | Chi-square | DF  | CMIN/DF | CFI   | RMSEA  | AGFI  |
|-------------------|------------|-----|---------|-------|--------|-------|
| Modelo inicial    | 290.264    | 116 | 2.502   | 0.875 | 0.095  | 0.77  |
| Modelo modificado | 224.74     | 113 | 1.985   | 0.920 | 0.77   | 0.817 |
| Criterio          |            |     | <3.0    | >0.90 | < 0.08 | >0.80 |

El modelo hipotético estructural se presenta en la figura 4.4 y muestra tres factores con tres coeficientes estructurales que provienen del uso de la práctica de la CI y de la JM.

**Figura 4.4.** Modelo hipotético estructural



En la tabla 4.8 se presentan los efectos indirectos (estimados con el método *bootstrap*) que provienen del uso de la práctica de la IC y de la GC en la CI.

**Tabla 4.8.** Efectos indirectos estandarizados

| Variable | Inteligencia Competitiva | Gestión del Conocimiento |
|----------|--------------------------|--------------------------|
| GC       | 0.000                    | 0.000                    |
| CI       | <b>0.698</b>             | 0.000                    |
| Cin01    | 0.339                    | 0.678                    |
| Cin02    | 0.384                    | 0.767                    |
| Cin03    | 0.276                    | 0.552                    |
| Cin04    | 0.249                    | 0.498                    |
| Cin05    | 0.195                    | 0.390                    |
| GC01     | 0.495                    | 0.000                    |
| GC02     | 0.405                    | 0.000                    |
| GC03     | 0.507                    | 0.000                    |
| GC04     | 0.588                    | 0.000                    |
| GC05     | 0.600                    | 0.000                    |

## Conclusiones

El modelo estructural hipotético presentado en la figura 4.4 y muestra tres factores con tres coeficientes estructurales. Asumiendo que las estimaciones son efecto de las variables latentes de las tres hipótesis, H2 y H3 tienen coeficientes estructurales significativos, lo que indica que existe suficiente evidencia para aceptar que la inteligencia competitiva afecta significativamente a la gestión del conocimiento y que la gestión del conocimiento afecta significativamente a la capacidad de innovación. Asimismo, se rechaza H1: La inteligencia competitiva no tiene un efecto directo significativo sobre la capacidad de innovación. Güemes y Rodríguez (2007) reportan que en las empresas mexicanas no se realizan actividades de inteligencia competitiva para mejorar la capacidad de innovación y Poblano-Ojnaga *et al.* (2019) enseñan resultados similares en plantas maquiladoras ubicadas en Ciudad Juárez, México. En pocas palabras, la IC es todavía una disciplina relativamente joven (Alnoukari y Hanano, 2017).

Por otro lado, la figura 4.4 muestra que la inteligencia competitiva tiene un efecto positivo en el GC y este a su vez tiene un efecto positivo en el CIn, resultados que coinciden con los de Sundiman (2018).

En síntesis, se puede concluir que se logró el objetivo de esta investigación, dado que la inteligencia competitiva tiene impactos positivos significativos en 3 de las 5 funciones de gestión del conocimiento: en actividades compartidas para el aprovechamiento del conocimiento y aprendizaje obtenido de la experiencia, KM05 (0.600), en el sistema de gestión de la innovación, KM04 (0.588) y en las medidas tomadas para el empoderamiento de las personas KM03 (0.507). De hecho, se observa un impacto indirecto significativo de la inteligencia competitiva en InC en 3 funciones: la producción de nuevos conceptos InC02 (0,384); el análisis y toma de decisiones para la innovación y desarrollo de tecnología InC01 (0.339) y sobre el desarrollo y mejora, ideas de productos, procesos y equipos InC03 (0.276).

## Investigaciones futuras

Si bien se descartó el capital intelectual y no se pudo verificar una relación con el InC, los contenidos en la literatura indican que debe haber un efecto directo, principalmente con el capital humano, que tiene una estrecha relación con la inteligencia competitiva, y parece una integración formal de la IC en el GC; además, la descripción del

efecto moderador del IC sobre el IC abre la posibilidad de investigaciones para analizar estas relaciones.

Dado que es importante comprender la caracterización de los efectos indirectos de los factores IC en InC como una variable intermedia (mediador) que ayuda a explicar cómo o por qué una variable independiente afecta un resultado (Gunzler *et al.*, 2013), también podría ser necesario reducir las variables medibles asociadas a las latentes, ya que en algunas publicaciones las correlaciones de significación estadística menores a 0.3 pueden no ser suficientes para avanzar en la teoría, lo que presenta otra posibilidad de investigación.

## Referencias

- Alama, E., Martín de Castro, G. y López Sáez, P. (2006). Capital intelectual. Una propuesta para clasificarlo y medirlo. *Academia. Revista Latinoamericana de Administración*, (segundo semestre), 1-16. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=71603702>
- Alnoukari, M. and Hanano, A. (2017). Integration of business intelligence with corporate strategic management. *Journal of Intelligence Studies in Business*, 7(2).
- Arias, J., Cruz, H., Pedraza, M., Ordóñez, A. y Herrera, L. (2007). Los escenarios de la gestión del conocimiento y el capital intelectual en los procesos de investigación. *Signo y Pensamiento*, 26, 63-83.
- Bartes, F. (2015). The objectives of competitive intelligence as a part of corporative development strategy. *ACTA Universitatis Agriculturae ET Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 62(6), 1243- 1250.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación* (3.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.
- Blomström, M. and Kokko, A. (1998). Multinational corporations and spillovers. *Journal of Economic Surveys*, 12(3), 247-277.
- Brody, R. (2008). Issues in Defining Competitive Intelligence: An Exploration. *Journal of Competitive Intelligence and Management*, 4(3), 3-16.
- Browne, M. W. and Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In K. A. Bollen and Long, J. S. (eds), *Testing structural equation models* (pp. 136-162). Sage.
- Byrne, B. (2010). *Structural Equation Modeling With AMOS: Basic Concepts, Applications, Programming* (2<sup>nd</sup> ed.). Routledge
- Chau P. and Hu, P. (2001). Information technology acceptance by individual professional: a model comparison approach. *Decision Sciences*, 32 (4), 699–719.
- Davenport, T. H., Prusak, L. and Wilson, H. J. (2003). *What's the big idea?: Creating and capitalizing on the best management thinking*. Harvard Business Press.
- Díaz, V. (2007). Gestión del conocimiento y del capital intelectual: *Revista EAN*, (61), 39–68.
- Díez, J. M., Ochoa, M. L., Prieto, M. B. and Santidrián, A. (2010). Intellectual capital and value creation in Spanish firms. *Journal of Intellectual Capital*, 11(3), 348–367. <http://doi.org/10.1108/14691931011064581>

- Escobar-Pérez, J. y Cuervo-Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en Medicina*, 6, 27-36.
- Fagerberg, J. and Srholec, M. (2008). National innovation systems, capabilities and economic development. *Research Policy*, 37(9), 1417-1435.
- Fleisher, C. S. and Wright, S. (2009). Examining Differences in Competitive Intelligence Practice: China, Japan, and the West. *Thunderbird International Business Review*, 51(3), 249-261. <http://doi.org/10.1002/tie>
- Fuld, L. M. (2006). *The Secret Language of Competitive Intelligence*. Crown Business.
- Güemes, D. and Rodríguez, M. (2007). La relación entre la inteligencia competitiva y la capacidad innovadora de las empresas mexicanas. *Puzzle: Revista Hispana de la Inteligencia Competitiva*, 6(26), 21–27.
- Gunzler, D., Chen, T., Wu, P. and Zhang, H. (2013). Introduction to mediation analysis with structural equation modeling. *Shanghai Archives of Psychiatry*, 25(6), 390.
- Hair, J., Anderson, R. and Tatham, W. (1998). *Multivariate Data Analysis with Reading*. Prentice-Hall.
- Hernández, G. A., Noriega, M. S., Torres-Argüelles, V., Guaderrama, A. I. M. and Martínez, G. E. (2018). Validity and Reliability Evaluation of a Scale to Measure the Management of Total Productive Maintenance. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(1).
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. and Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). Editoril Mc Graw Hill Education.
- Herschel, T. and Jones, N. (2005). Knowledge management and business intelligence: the importance of integration. *Journal of Knowledge Management*, 9(4), 45-55.
- Hertzog, M. A. (2008). Considerations in determining sample size for pilot studies. *Research in nursing & Health*, 31(2), 180-191.
- Hormiga, E., Batista-Canino, R. M. and Sánchez-Medina, A. (2011). The role of intellectual capital in the success of new ventures. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 7(1), 71–92. <http://doi.org/10.1007/s11365-010-0139-y>
- Kianto, A., Ritala, P., Spender, J. C. and Vanhala, M. (2014). The interaction of intellectual capital assets and knowledge management practices in organizational value creation. *Journal of Intellectual Capital*, 15(3), 362-375.
- Levy Manquin, J. P., Varela Mallou, J. and Abad González, J. (2003). *Análisis multivariable para las ciencias sociales*. Pearson Educación.
- Lin, H. F. (2007). Predicting consumer intentions to shop online: An empirical test of competing theories. *Electronic Commerce Research and Applications*, 6(4), 433-442.
- Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A. y Tomás-Marco, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de Psicología*, 30(3), 1151-1169.
- Lomax, R. G. and Schumacker, R. E. (2012). *A beginner's guide to structural equation modeling*. Routledge Academic.
- Lugones, G., Gutti, P. y Le Clech, N. (2007). *Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina*. CEPAL.
- Malhotra, N. (2008). *Investigación de mercados* (5.a ed.). Editorial Pearson Educación.

- Matzler, K. and Renzl, B. (2006). The relationship between interpersonal trust, employee satisfaction, and employee loyalty. *Total Quality Management and Business Excellence*, 17(10), 1261-1271.
- Moreno Chávez, S. M. (2010). *Propuesta de integración de la inteligencia competitiva y tecnológica con el Kansei Engineering en el diseño de estufas de inducción magnética* (trabajo de grado). Tecnológico de Monterrey.
- Nasri, W. and Zairi, M. (2013). Key Success Factors for Developing Competitive Intelligence in Organization. *American Journal of Business and Management*, 2(3), 239-244. 10.11634/216796061302397
- Noriega Morales, S., Martínez, L. R., Hernández Gómez, J. A., Romero López, R. and Torres Argüelles, V. (2019). Predictors of organizational resilience by factorial analysis. *International Journal of Engineering Business Management*, (11), 1-13.
- Nunnally, J. C. and Bernstein, I. H. (1994). *Psychological theory*. MacGraw-Hill.
- Pellissier, R. and Nenzhelele, T. E. (2013). Towards a universal definition of competitive intelligence. *Journal of Information Management*, 15(2). <http://dx.doi.org/10.4102/sajim.v15i2.559>
- Poblano Ojinaga, E. R. (2019). *Modelo estructural de los factores críticos de éxito de la inteligencia competitiva basado en la administración del conocimiento* (tesis doctoral). Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura. Universidad Autónoma de Cd. Juárez. México.
- Poblano Ojinaga, E. R. (2021). Competitive intelligence as a factor of the innovation capability in Mexican companies: A structural equations modeling approach. *Journal of Intelligence Studies in Business*, 11(2).
- Poblano Ojinaga, E. R. López, R. R., Gómez, J.A. and Torres-Arguelles, V. (2019). Effect of competitive intelligence on innovation capability: An exploratory study in Mexican companies. *Journal of Intelligence Studies in Business*, 9(3), 62-67.
- Ponta, L., Puliga, G., Oneto, L. and Manzini, R. (2020). Identifying the Determinants of Innovation Capability with Machine Learning and Patents. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Robledo, J., López, C., Zapata, W. and Pérez, J. D. (2010). Desarrollo de una metodología de evaluación de capacidades de innovación. *Perfil de Coyuntura Económica*, (15), 133-148.
- Rodríguez Gómez, D. (2006). Modelos para la creación y gestión del conocimiento: una aproximación teórica. *Educación*, (37), 25-39.
- Santos-Rodrigues, H., Figuera-Dorrego, P. y Fernández-Jardón, C. (2011). *La influencia del capital intelectual en la capacidad de innovación de las empresas del sector de automoción de la Eurorregión Galicia Norte de Portugal*. Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo.
- SCIP, (2017). What is the difference between corporate intelligence and business intelligence? <https://www.scip.org/>
- Sewdass, N. and Calof, J. (2020). Contemporary Practices of Intelligence Support for competitiveness. *Foresight and STI Governance*, 14(3), 30-39.
- Sivalogathan, V. and Wu, X. (2013). Intellectual capital for innovation capability: a conceptual model for innovation. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 4(3).
- Stefanikova, L., Rypakova, M. and Moravcikova, K. (2015). *The impact of competitive intelligence on sustainable growth of the enterprises*. 26(15), 209–214. [http://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00816-3](http://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00816-3)

- Sundiman, D. (2018). The effect of knowledge management on the strategic management process mediated by competitive intelligence in the small business company. *Jurnal Manajemen Dan Kewirausahaan*, 20(2), 105-115.
- Tej Adidam, P., Banerjee, M. and Shukla, P. (2012). Competitive intelligence and firm's performance in emerging markets: an exploratory study in India. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 27(3), 242-254.
- Wang, D. and Chen, S. (2013). Does intellectual capital matter? High-performance work systems and bilateral innovative capabilities. *International Journal of Manpower*, 34(8), 861-879.

# **Identificación de los factores críticos para mejorar la eficacia de la cadena de suministro: Una propuesta**

**Identification of critical factors to improve the efficiency**

**of the supply chain: A proposal**

**Miguel Ángel Hernández Rivera**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México

miguel.hr@cdjuarez.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6091-4950>

**Genoveva Cruz Hernández**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México

genoveva.ch@cdjuarez.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7610-7598>

**Manuel Arnoldo Rodríguez Medina**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México

manuel.rm1@cdjuarez.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8922-4718>

## **Resumen**

En la coyuntura actual, una de las ventajas competitivas que tienen las empresas manufactureras de clase mundial es su cadena de suministro, y para mantenerla es necesario contar con una administración que sea efectiva en todas sus etapas, desde la recepción de la materia prima material hasta la entrega del producto terminado. Este artículo presenta una revisión de la literatura para identificar, en un primer paso, cuáles son los factores críticos que inciden en la mejora de la eficiencia de la cadena de suministro. Para encontrar estos factores, se recomienda realizar un análisis factorial y la modelación de ecuaciones estructurales con la intención de identificar un modelo. Los resultados empíricos mostrarán la relación entre los factores de interés y permitirán una toma de decisiones enfocada.

**Palabras clave:** cadena de suministro, factores críticos, análisis factorial, modelado de ecuaciones estructurales.

## Abstract

*In the current situation, one of the competitive advantages that world-class manufacturing companies have is their supply chain, and in order to maintain it, it is necessary to count on an administration that is effective in all its stages, from the reception of the raw material until the delivery of the finished product. This article presents a literature review to identify, in a first step, which are the critical factors that affect the improvement of the efficiency of the supply chain. To find these factors, it is recommended to carry out a factorial analysis and the modeling of structural equations with the intention of identifying a model. The empirical results will show the relationship between the factors of interest and will allow focused decision making.*

**Keywords:** *Supply chain, critical factors, Factor Analysis and Structural Equations Modeling*

## Introducción

El panorama empresarial altamente competitivo generado principalmente por la globalización obliga a los ejecutivos a buscar soluciones a los retos que enfrentan sus empresas. Uno de estos cambios es el mejoramiento de los costos de producción y distribución de sus productos, lo que implica que no solamente se deban producir artículos con bajo costo de producción y con calidad superior a la competencia, sino que además es indispensable contar con un sistema de abastecimiento de materia prima y de distribución del producto terminado que supere las expectativas de sus clientes y de su principal competidor.

De acuerdo con Sánchez (2008), las empresas son conscientes de que con el paso del tiempo cada cliente cobra más importancia y que para tenerlo satisfecho se le debe brindar un producto de buena calidad, lo que exige un proceso de excelencia a lo largo de la cadena de suministros.

Esto obliga a los empresarios a enfocar su atención en optimizar la eficacia total de la cadena de suministro, revisando minuciosamente las condiciones en las que se encuentra, y determinar los principales problemas a los que se enfrenta para tomar decisiones que a corto y mediano plazo garanticen la permanencia en los mercados.

Para mejorar la eficacia de la cadena de suministros es relativamente importante valorar todos los factores posibles para enfocarse en los de mayor relevancia; por ello, es pertinente realizar esta investigación enfocada en determinar, con base en un modelo

estructural, los elementos que están incidiendo en la eficacia de la cadena de suministros.

## Marco conceptual

De acuerdo con Soin (2004), antes de que el término *cadena de suministro* fuera acuñado, en la administración y movimiento de productos y servicios se usaba el vocablo *logística*. El desarrollo de esta originalmente fue emprendido por la milicia en tiempos ancestrales (Británica, 1994-1999), cuando las legiones romanas utilizaban un sistema flexible que consistía en materiales de construcción, depósitos de almacenamiento y compartimientos con suministros y armas, sistemas de carreteras excelentes, talleres de reparación móviles, cuerpo de servicio de ingenieros y armeros, y una amplia coordinación y planificación. Esto dio lugar a un ejército eficiente, rápido y formidable que ganó muchas batallas y conquistó gran parte de Europa y Asia, y la mantuvo durante muchos cientos de años (Británica, 1994-1999). Al respecto, vale acotar que el vasto Imperio romano declinó no debido a una mala logística, sino a la decadencia moral y el despotismo (Durant, 1994).

De acuerdo con Mangan (2008), la administración de la logística es la parte de la administración de la cadena de suministro que planea, implementa y controla la eficiencia, la eficacia, el flujo (hacia adelante y hacia atrás), el almacenamiento de bienes y servicios, y la información referente entre el punto de origen y el punto de consumo a fin de que se cumplan los requerimientos del cliente. El Instituto de Alquiler de Logística y Transporte (por sus siglas en inglés CILT = The Chartered Institute of Logistics and Transport) en Reino Unido describe la logística como el modo de obtener un producto correcto, en el lugar correcto con la calidad correcta en el tiempo correcto en la mejor condición y con un costo aceptable. A esta definición, sin embargo, se pueden agregar dos adjetivos *correctos*: es decir, pensar en el cliente correcto, a quien se le debe enviar el producto en la forma correcta evitando que cause el menor daño posible al medio ambiente.

Por su parte, el término *administración de la cadena de suministro* (por sus siglas en inglés SCM = *supply chain management*) fue originalmente introducido por consultores en los comienzos de 1980 y desde entonces ha recibido una atención considerable (Mangan, 2008). Stadtler (2008) explica que el término *SCM* fue creado por dos consultores —Oliver y Webber— en el año 1982 y, desde su perspectiva, la cadena de suministro eleva la misión de la logística para convertirse en asunto de la alta dirección

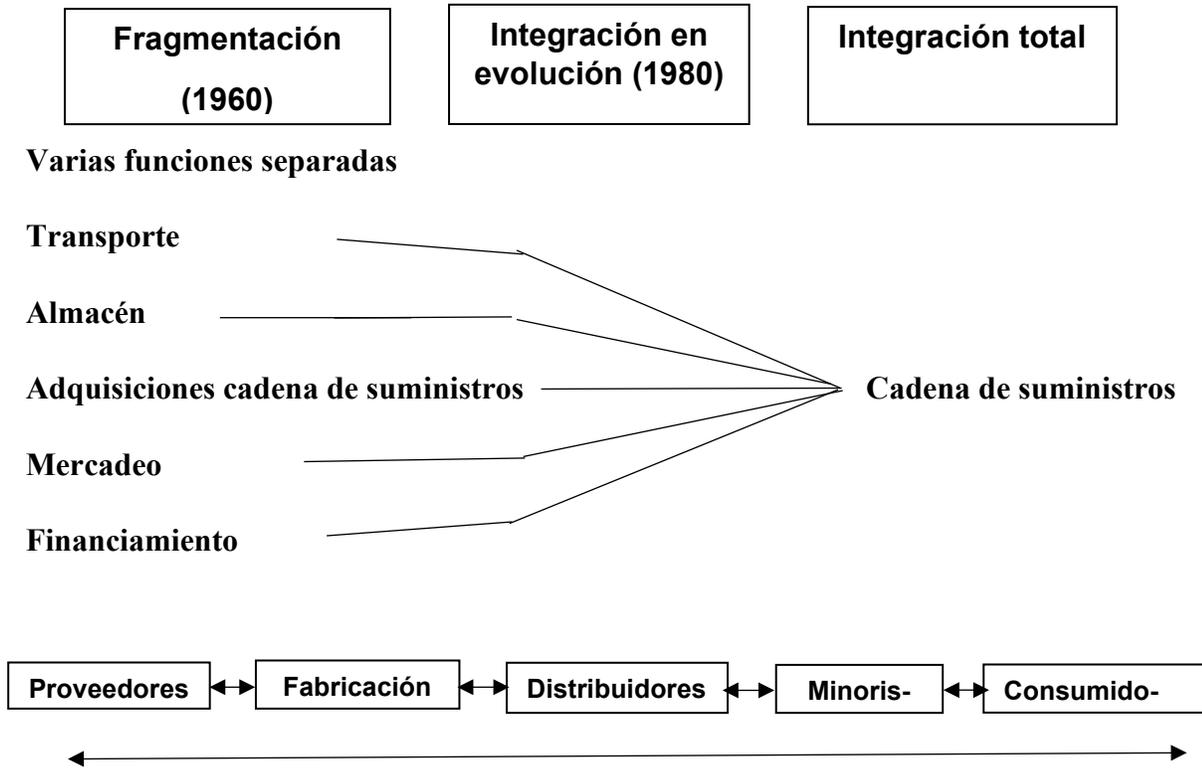
debido a que solamente ella puede asegurar que los objetivos funcionales en conflicto a lo largo de la cadena puedan ser balanceados y equilibrados. Así, un sistema integrado estratégico que reduce el nivel de vulnerabilidad es desarrollado e implementado (Oliver y Weber, 1982). En su opinión, coordinar material, flujos de información y finanzas dentro de una empresa multinacional es un verdadero reto, pero también una gratificante tarea.

Obviamente, formar una cadena de suministro de un grupo de compañías individuales y que actúen como una sola entidad es también difícil. Investigaciones en integración y coordinación de las diferentes unidades funcionales comenzaron antes que la creación del término SCM en 1982. Estos esfuerzos pueden ser localizados en campos como la logística, mercadeo, teoría de las organizaciones, administración e investigación de las operaciones. Algunas contribuciones seleccionadas son mostradas brevemente a continuación:

- Canal de investigación (Alderson, 1957).
- Colaboración y cooperación (Bowersox, 1969).
- Localización y control de inventarios en redes de distribución y producción (Hanssmann, 1959).
- Bullwipenot en sistemas de distribución y producción (Forrester, 1958).
- Planeación de la producción jerárquico (Hax y Meal, 1975).

La cadena de suministro es un concepto más amplio que el de logística. En la figura 1 se ilustra la evolución y estructura de la cadena de suministro integrada.

**Figura 1.** La evolución de la cadena de suministros integrada

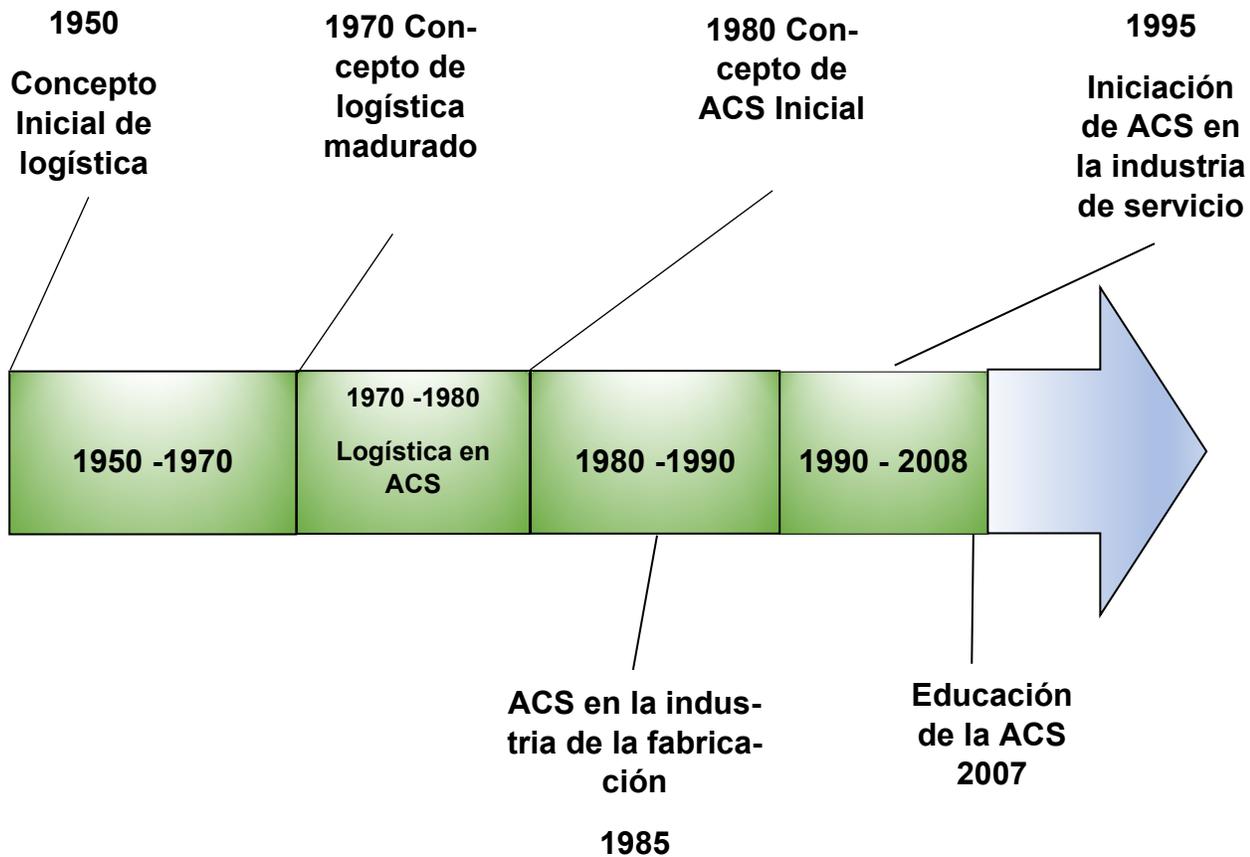


Fuente: Mangan (2008)

### **Información y recursos**

El surgimiento y evolución de la SCM quizás puede ser representado como una línea del tiempo, como la mostrada en la figura 2.

**Figura 2.** Línea del tiempo de la evolución y surgimiento de la SCM



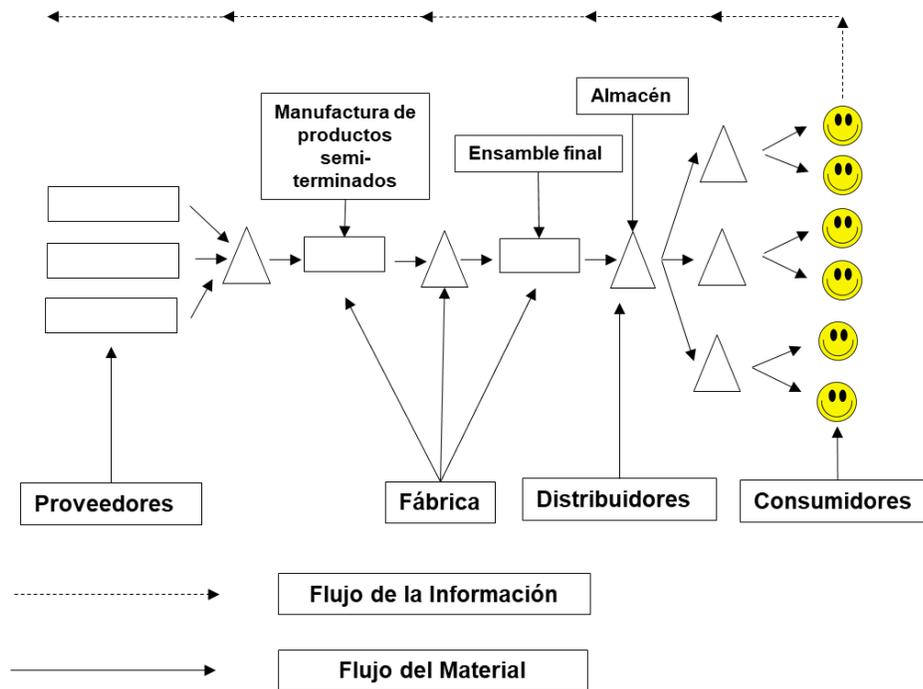
Fuente: Habib (2011)

Martin Christopher, profesor de Logística y Mercado en la Escuela de Administración de Cranfield, comenta que la cadena de suministro es la red de organizaciones que están involucradas, a través redes de aguas arriba (último proveedor de la cadena de suministro) y aguas abajo (ultimo cliente de la cadena de suministro), en diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios en las manos del último consumidor. Él distingue SCM de integración vertical. El último concepto implica propiedad o al menos control en las entidades de aguas arriba y aguas abajo, donde SCM no necesariamente implica tal propiedad o control de los socios de la cadena de suministro.

De acuerdo con Stadtler (2008), el propósito de la SCM es la misma cadena de suministro, la cual representa una red de organizaciones que están involucradas en enlaces a través de aguas arriba y aguas abajo en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios en las manos del último cliente (el

consumidor). Como se muestra en la figura 3, una red usualmente no se enfoca solo en el flujo de un eslabón de la cadena, pues tiene que ocuparse de flujos convergentes y divergentes dentro de una red compleja, resultante de muchas órdenes de compra de diferentes clientes que tienen que ser atendidas simultáneamente.

**Figura 3.** Ejemplo de una cadena de suministros



Fuente: Stadtler (2008)

Stadtler (2008) mencionan que para comprender la complejidad una organización deberá enfocarse únicamente en una parte de la totalidad de la cadena de suministro. Como ejemplo, vamos a centrarnos en la dirección de las aguas abajo: la visión de la organización puede limitarse por los clientes de sus clientes, mientras que termina con los proveedores de sus proveedores en la dirección de aguas arriba.

También Stadtler (2008) explica que, siendo estrictos, la expresión *cadena de suministro* es aplicada a una gran compañía con varios lugares localizados en diversos países. Coordinar material, información y flujos financieros para tal compañía multinacional de una manera eficiente continúa siendo una tarea colosal; en cambio, la toma de decisiones deberá ser fácil, ya que estos lugares son parte de una gran organización con un nivel administrativo alto. En general, una cadena de suministro se le conoce también

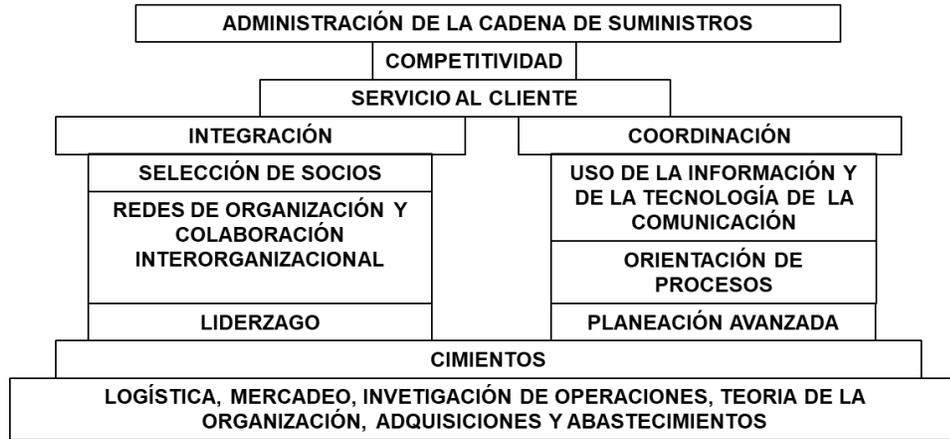
como *cadena de suministro interorganizacional*, mientras que el término *interorganizacional* se refiere estrictamente a la cadena de suministro. Independientemente de esta disparidad, es esencial una cooperación cercana entre las unidades funcionales como mercadeo, manufactura, adquisiciones, logística y finanzas.

El objetivo gobierna todos los esfuerzos dentro de una cadena de suministro y esto es visto como un aumento en la competitividad porque a la vista del cliente no es una sola compañía responsable de la competitividad, sino de la cadena de suministro como un todo, por lo que la competitividad ha cambiado de una compañía a cadena de suministros. Es obvio que para convencer a una compañía de que forme parte de una cadena de suministro se requiere un ambiente de ganar-ganar para cada participante a largo plazo, mientras que esto quizás no sea el caso para todas las compañías a corto plazo. Un impedimento general aceptado para mejorar la competitividad es proveer servicio superior al cliente. Alternativamente, una firma puede incrementar su competitividad cumpliendo lo especificado previamente en el nivel de servicio al cliente generalmente aceptado a un mínimo costo. Stadtler (2008) considera que, de acuerdo con Lee (1998), hay dos maneras generales de mejorar la competitividad de la cadena de suministro: una de ellas es la integración o cooperación de las organizaciones involucradas y otra es una mejor coordinación de los flujos de material, información y finanzas, superando barreras organizacionales, alineando estrategias y acelerando flujos a lo largo de la cadena de suministro es una tarea común al respecto.

Considerando lo anterior, Supply Chain Management es la tarea de integrar unidades organizacionales a lo largo de la cadena de suministro, coordinando flujos de material, de información y de finanzas con la finalidad de cumplir con las demandas del último cliente con el propósito de mejorar la cadena de suministro como un todo, según Stadtler (2008).

La figura 4 muestra la casa de la SCM, la cual ilustra las facetas de la SCM. El techo representa el objetivo final de la SCM, y la competitividad y el servicio al cliente indican los medios para lograrlos. La competitividad se puede mejorar de varias formas, por ejemplo, reduciendo los costos, incrementando la flexibilidad con respecto a los cambios en los requerimientos del cliente o suministrando servicios y productos de calidad superior.

**Figura 4.** Casa de la administración de la cadena de suministros



Fuente: Stadtler (2008)

De acuerdo con Stadtler (2008), el techo descansa en dos pilares que representan los dos principales componentes de la SCM, llamados integración de una red de organizaciones y la coordinación de los flujos de la información, material y finanzas. La figura también muestra que hay varias disciplinas que fundamentan la SCM. Los dos más importantes componentes en los que incurre algún grado de innovación serán separados en sus bloques; en primer lugar, la cadena de suministro necesita seleccionar un socio pertinente para una alianza a medio plazo. En segundo lugar, Stadtler (2008) también explica que ser una red de organizaciones de éxito, que consiste en organizaciones legalmente separadas llamadas en forma práctica colaboración interorganizacional y, en tercer lugar, para la cadena de suministro interorganizacional es importante los nuevos conceptos de dirección alineando estrategias de los socios involucrados.

La coordinación de los flujos a lo largo de la cadena de suministro puede ser ejecutada eficientemente utilizando los últimos desarrollos en información y tecnología de la comunicación. Esto permite a los procesos ejecutarlos de manera manual a automática. Para procesar las órdenes de compra deben ser planeados la disponibilidad de materiales, el personal, la maquinaria y las herramientas, a pesar de que producción, planeación de distribución, así como compras se han usado por muchas décadas, pero sobre todo se han aislados y limitados en su alcance.

De acuerdo con la Sociedad Americana de Producción y Control de Inventarios (1990), la cadena de suministro es el proceso desde la materia prima inicial hasta el consumo del producto terminado vinculados a través de industrias proveedores y usuarios. La cadena de suministro constituye todas las funciones dentro y fuera de la

industria, lo que habilita la cadena de valor para hacer productos y proveer servicios al cliente (Inman y Hubler, 1992).

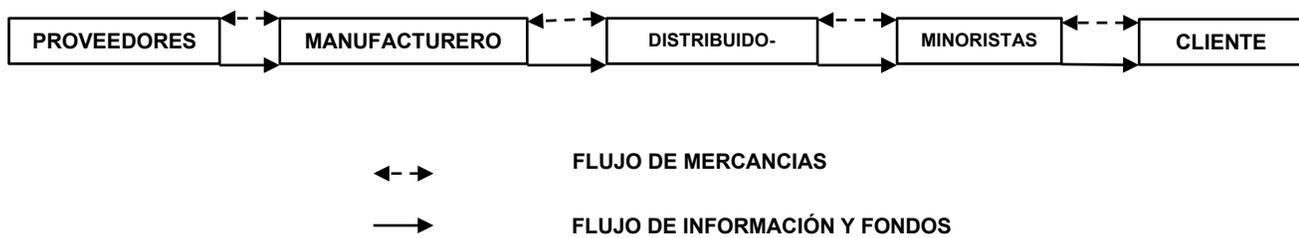
Habib (2010) explica que el Consejo de la Administración de la Cadena de Suministro Profesional ha determinado SCM como la que comprende la planeación y la administración de todas las actividades que se involucran en procesos de abastecimiento y adquisiciones, transformación y administración de la logística. Fundamentalmente, SCM integra la oferta y la demanda dentro y fuera de las empresas.

Según Habib (2011), el término *administración de la cadena de suministro* ha logrado prominencia desde los últimos 10 años. Cerca de 13.55 % de los títulos de las sesiones concurrentes tienen la frase *cadena de suministro* en la conferencia anual de 1995 del Consejo de Administración de Logística. El número de sesiones que tienen el término llegó hasta 22.4 % en la conferencia de 1997, solamente 2 años después. Asimismo, Habib (2011) señala que ese concepto es comúnmente utilizado para ilustrar responsabilidades ejecutivas en las corporaciones, y que la SMC se ha convertido en un “tema candente”, de tal manera que es difícil recoger un periódico en la fabricación, distribución, comercialización, gestión de clientes o el transporte sin ver algún artículo sobre SMC o temas relacionados.

Asimismo, Habib (2011) continúa explicando SCM en términos operacionales involucrando el flujo de materiales y productos como una filosofía de administración, como administración de procesos (Tyndall *et al.*, 1998) o como un sistema integrado. Los autores han conceptualizado SMC de manera diferente dentro del mismo artículo: por un lado, como filosofía de la administración y, por el otro, como una forma de integrar sistemas entre integración vertical y entidades separadas (Cooper y Ellram, 1993). La cadena de suministro incluye proveedores, manufactureros, distribuidores, minoristas y clientes.

Los clientes son el enfoque principal en la cadena debido a que el primer propósito de la existencia de cualquier cadena de suministro es satisfacer las necesidades del cliente en el proceso generando ganancias a sí mismo (Chopra y Meindl, 2013). En la figura 5 se muestra un ejemplo de una cadena básica de suministro.

Figura 5. Cadena básica de suministros



Fuente: Chopra y Meindl (2013)

### Factores de la eficacia de la cadena de suministro

A continuación, se muestra la revisión de literatura acerca de los factores de la eficacia de la cadena de suministro, específicamente los de mayor importancia y también de la administración de la cadena de suministro.

De acuerdo con McCormack *et al.* (2008), la madurez de la cadena de suministro es un factor determinante en su eficacia. Los autores mencionan que la madurez del proceso de enviar es el que tiene mayor impacto en la eficacia de la cadena de suministros. Para Yang (2013) son factores de su eficacia compartir el conocimiento tanto el explícito como el tácito en el desarrollo de las capacidades de la cadena de suministro y la eficiencia en costos y la capacidad de innovación.

Wowak *et al.* (2013) se refieren al conocimiento que se tenga de la cadena de suministros como un factor que realiza el desempeño de la empresa principalmente de sus socios y de los procesos. Kulwiec (2004) considera el trasembarque (*crossdocking*) como un medio para mejorar la eficacia de la cadena de suministros por el ahorro costos en mantener y manejar los inventarios. Fawcett *et al.* (2012) reportan que la habilidad para identificar y ligar las capacidades complementarias a través de la colaboración de los miembros de la cadena de suministros la llevan a un nivel superior de eficacia.

En el análisis que hacen de la cadena de suministros en el sector automotriz de la India, Saad y Patel (2006) indican que el costo y el control de la competitividad, la reducción en el tiempo de espera y la administración de los inventarios son factores importantes de su eficacia. Además, afirman que las relaciones entre los socios, compartir información y la integración de la cadena de suministros en el abastecimiento tienen un fuerte impacto en la eficacia de la cadena de suministros. También consideran que la integración de la cadena de suministro tiene el efecto total estandarizado más alto en su eficacia.

Ramírez y Peña (2011) aplican la teoría del caos en el estudio de la cadena de suministros e identifican las variables más sensibles que pueden llevarla al estado del caos, es decir, cambios en los niveles de inventario, en los pedidos y en los costos. Por su parte, Díaz y Pérez (2011) afirman que en la gestión de la cadena de suministros la optimización conjunta (integración) suministrador-comprador con enfoque de justo a tiempo de los inventarios es más eficiente en costos que si se realiza de la forma tradicional no colaborativa. De hecho, reportan que los costos totales disminuyen en toda la cadena de suministros considerablemente.

Drango *et al.* (2008) opinan que las organizaciones tratan de alinear sus objetivos e intereses con los de otras compañías que componen la cadena de suministros, aunque no es una tarea fácil. Así surge la gerencia de la cadena de suministro que busca integrar los procesos claves de las diferentes firmas que componen la cadena de suministros, uno de los cuales es la toma de decisiones tanto a nivel estratégico como operativo.

Li y O'Brien (1999) reportan cuatro factores: utilidades, eficacia del tiempo de ciclo, rapidez de la entrega y eliminación del desperdicio. Lee (2002), a su vez, propone que se debe considerar la agilidad, lo adaptable y alienable para tener éxito. Al-Hawari *et al.* (2013) mencionan tres factores que afectan la eficacia de toda la cadena de suministros, estos son políticas de asignación, políticas de inventarios y patrones de la demanda.

Por su parte, Saygin y Hall (2012) analizan los efectos del factor compartir información entre los socios de la cadena de suministro vía simulación. De acuerdo con Donald y Bowersox (2007), la cadena de suministros involucra una red eficaz y eficiente de relaciones empresariales cuya finalidad es mejorar la eficiencia al eliminar trabajo improductivo. De hecho, afirman que genera un valor partiendo de la sinergia entre las empresas que integran la cadena de suministro con respecto a cinco flujos fundamentales: de información, de producto, de servicio, financiero y de conocimiento. Menciona Carreño Solís (2018) que el objetivo de la cadena de suministro es administrar integralmente los flujos de productos, información y capital que se dan a lo largo de la cadena para mejorar el servicio al cliente y aumentar los beneficios. Para Amaya *et al.* (2014) la cadena de suministros no solo se define en términos de los eslabones que la componen, sino que, además, se debe caracterizar de acuerdo a sus atributos de funcionamiento.

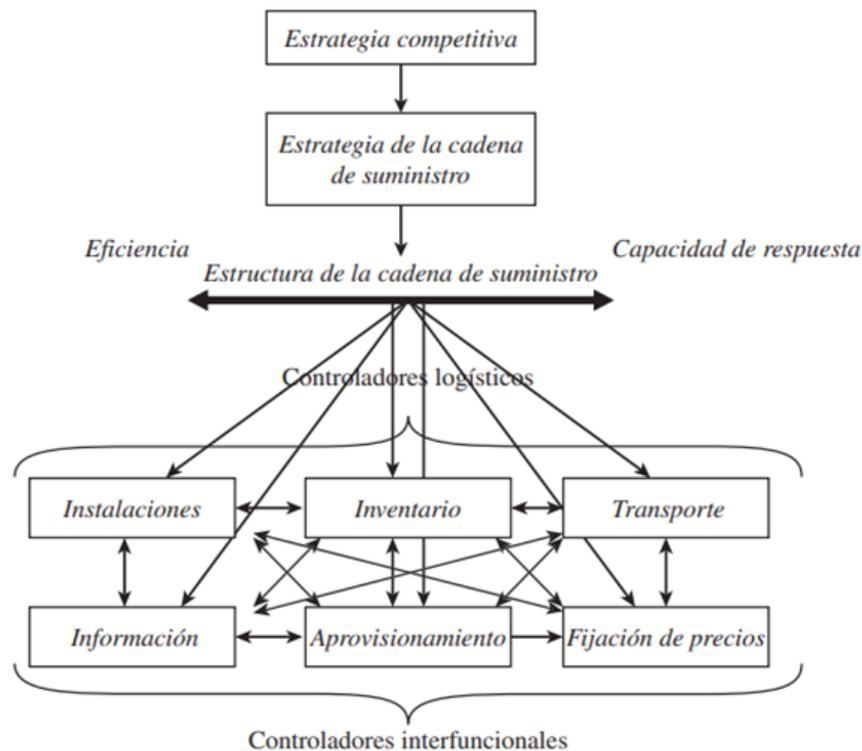
Otro aspecto del problema teórico es la estructura de la cadena, específicamente las prácticas de integración entre la cadena de suministros y sus socios. En este sentido, Romano y Formentini (2012) afirman que la intensificación de la competitividad y la demanda por mejorar el servicio al cliente han incrementado considerablemente la

necesidad de la integración entre compañías y, como consecuencia, las prácticas de integración de la cadena de suministros buscan coordinar los procesos a lo largo de toda la cadena de suministros, lo que es considerado importante para mantener la ventaja competitiva. Por esto, se considera que la integración de todos los miembros de la cadena de suministros es uno de los principales factores que afectan su eficacia (Donk *et al.*, 2007).

Chopra y Meindl (2013) mencionan que el objetivo de la estrategia de una cadena de suministro es procurar el equilibrio entre la capacidad de respuesta y la eficiencia que se ajusta a la estrategia competitiva. Explican que, para lograr este objetivo, una compañía debe estructurar la combinación correcta de los controladores logísticos y los tres controladores interfuncionales; su impacto combinado determina la capacidad de respuesta y las utilidades de toda la cadena de suministro. Continúan en su análisis comentando que la mayoría de las compañías comienzan con una estrategia competitiva y luego deciden la estrategia de su cadena de suministros, y así determinan cómo debe desempeñarse la cadena de suministro con respecto a eficiencia y capacidad de respuesta.

Los referidos autores afirman que la cadena de suministro debe utilizar los tres controladores logísticos y los tres controladores funcionales para lograr el nivel de desempeño que su estrategia dicta para maximizar sus utilidades. La figura 6 muestra el marco para la toma de decisiones relacionadas con la cadena de suministro. Asimismo, concluyen que el estudio de los seis controladores puede indicar la necesidad de cambiar la estrategia de la cadena de suministro e incluso la estrategia competitiva.

**Figura 6.** Marco para la toma de decisiones en la cadena de suministros



Fuente: Chopra y Meindl (2013)

Vaidya y Hudnurkar (2013) proponen la productividad, el tiempo en que se recupera la inversión, la calidad, el tiempo, la innovación, el precio, la flexibilidad, la adaptabilidad, la efectividad del proveedor, la medición del mercado y las habilidades de colaboración para medir la eficacia de la cadena de suministros en la industria química de la India.

Allesina *et al.* (2010), en su investigación mediante un modelo entrópico llamado *índice de entropía ecológico*, consideran los siguientes factores: salidas totales del sistema, promedio de información mutua, influencia, capacidad de desarrollo, gastos generales de entrada y gastos generales de salida en las exportaciones, gastos generales de disipación y redundancia para medir la eficacia de la cadena de suministros.

Beamon (1999) menciona que tres factores generales son los que miden la eficacia de la cadena de suministros: recursos (altos niveles de eficiencia), salidas (alto nivel de servicio al cliente) y flexibilidad (capacidad para responder a los cambios en el ambiente), en el desarrollo del esquema que le permita seleccionar el sistema de medición del desempeño.

Gunasekaran y Mcgaughey (2004), mediante la revisión de la literatura, desarrollan un esquema que les permite medir la eficacia de la cadena de suministros basándose en

cuatro principales actividades: planeación, origen, manufactura/ensamble y envío. Estos factores fueron clasificados en lo estratégico, táctico y operacional para clarificar el nivel administrativo de responsabilidad y autoridad. Adarme-Jaimes *et al.* (2012) miden la eficacia de la cadena de suministros en la industria naval centrada en un astillero con un modelo que integra los fundamentos del BSC (*balanced scorecard*) con la teoría de conjuntos difusos para el tratamiento de la imprecisión asociada a la gestión de la cadena de suministros. Así, consideran cuatro perspectivas en el desempeño global de la cadena de suministros: clientes, finanzas, procesos y aprendizaje y conocimiento. McCormack *et al.* (2008) demuestran una fuerte y positiva relación entre la madurez de la cadena de suministro y su eficacia.

Con su herramienta de toma de decisiones, Vaidya y Hudnurkar (2013) ayudan a las organizaciones a elegir prioridades y definen como factores de la eficacia de la cadena de suministros la productividad, tiempo de recuperación de la inversión, calidad, tiempo, innovación, precio, flexibilidad, adaptabilidad, efectividad del proveedor, medición del mercado y habilidad de colaboración. Por su parte, Allesina *et al.* (2010) abordan el análisis de la complejidad de la cadena de suministro a través de la evaluación de redes para determinar su eficacia y definen los siguientes factores de la eficacia de la cadena de suministro: salidas totales del sistema, promedio de información mutua, influencia, capacidad de desarrollo, gastos generales de entrada y de salida en las exportaciones, gastos generales, disipación y redundancia.

Yang (2013) demuestra que hay una fuerte relación entre compartir el conocimiento explícito y tácito y las capacidades de la cadena de suministro, tales como eficiencia en el costo e innovación, las cuales ejercen efectos en el mejoramiento de la eficacia de la cadena de suministro. En su modelo basado en un sistema dinámico, Agarwal y Shankar (2003) mencionan que el suyo provee un esquema efectivo para analizar las diferentes variables que afectan la eficacia de la cadena de suministro y señalan los siguientes factores: deficiencias en la satisfacción del cliente, minimización de los costos, reducción de los tiempos de espera, mejoras en el nivel de servicio y mejoras en la calidad.

Por meta análisis Wowak *et al.* (2013) determinan la relación existente entre el conocimiento que se tenga de la cadena de suministro y la eficacia de la empresa. Beamon (1999) comenta que los factores que determinan la eficacia de la cadena de suministro son recursos (altos niveles de eficiencia), salidas (alto nivel de servicio al cliente) y flexibilidad (capacidad para responder a los cambios). Kulwiec (2004) explora el transembarque (*crossdocking*) como estrategia para optimizar la cadena de suministros, promueve el flujo a través del conducto de la cadena de suministro reduciendo los pequeños acumulamientos y expidiendo órdenes de compra.

Gunasekaran y Mcgaughey (2004) reportan los factores que son aplicados en el contexto de las cuatro principales actividades de la cadena de suministro: planes, origen, manufactura/ensamble y envío/cliente. Mediante entrevistas y estudios empíricos, Cang *et al.* (2013) consideran que el abastecimiento contribuye al mejoramiento de la eficacia de la cadena de suministro a través de las relaciones entre los socios, compartiendo información y la integración de la cadena de suministro.

## **Futuras líneas de investigación**

Se recomienda, como siguiente paso de esta revisión, una investigación que evalúe la relación entre los factores de interés para construir un modelo de la efectividad de la cadena de suministro, el anterior a través de técnicas estadísticas, como el Modelado de ecuaciones estructurales - MEE, porque utiliza un enfoque confirmatorio para el análisis de teorías que presentan relaciones entre variables (ítems) y variables o factores latentes. El MEE ha sido utilizado en diferentes campos como son la Psicología del trabajo; en Medicina y Salud, y en Educación (), así como estudios en los sectores industrial y de servicios como en Filosofía Organizacional (Dávila Sotelo *et al.*, 2017), Resiliencia (Morales *et al.*, 2018); Manufactura (Noriega *et al.*, 2019); Inteligencia Competitiva (Poblano Ojinaga 2019, Poblano Ojinaga *et al.*, 2021), por mencionar algunos.

También se recomienda seguir el enfoque propuesto por Byrne (2010) que parte de la especificación del modelo, para la especificación del modelo Lomax & Schumacker (2012) recomienda la definición de relaciones con las variables del modelo teórico y para la determinación del mejor modelo, capaz de producir la matriz de covarianza muestral, continuar con la determinación de las diferencias entre el modelo real y los datos, todos los parámetros se consideran libres, restringidos o fijos y mediante su combinación la matriz implícita de covarianza- se construye la covarianza del modelo, y se concluye con la identificación, estimación, prueba y modificación (Lomax & Schumacker, 2012).

## Referencias

- Adarme-Jaimes, W. A., Arango, M. y Cogollo, J. (2012). Medición del desempeño para cadenas de abastecimiento en ambientes de imprecisión usando lógica difusa. *Ing. y Univ.*, 16(1), 95-115.
- Agarwal, A. S. and Shankar, R. (2003). On-line trust building in e-enabled supply chain. *An Internacional Journal*, 8(4), 324-334.
- Alderson, W. (1957). *Marketing Behaviour and Executive Action*. Homewood.
- Al-Hawari, T., Ahmed, A. and Khrais, S. (2013). Impact of assignment, inventory policies and demand patterns on supply chain performance. *International Journal of Simulation Modeling*, 12(3), 164-177.
- Allesina, S., Azzi, A., Battini, D. and Regattieri, A. (2010). Performance measurement in supply chains: new network analysis and entropic indexes. *International Journal of Production Research*, 48(8), 2297-2321. doi: 10.1080/00207540802647327
- Amaya Leal, J., Vilorio Nuñez, C., & Santander Mercado, A. (2014). *Diseño de cadena de suministros resilientes*. Universidad del Norte.
- Beamon, B. M. (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(3), 275-292.
- Bowersox, D. (1969). *Readings in Physical Distribution Management: The Logistics of Marketing*. Mcmillan.
- Britanica, E. (1994-1999). *Seccion de logística en la enciclopedia británica*. Enciclopedia Britanica.
- Byrne, B. (2010). *Structural Equation Modeling With AMOS: Basic Concepts, Applications, Programming*, 2nd edition.
- Carreño Solis, A. J. (2018). *Cadena de suministro y logística*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial.
- Cooper, M. y Ellram (1993). Características de la gestión de la cadena de suministro y implicaciones para la estrategia de compras y logística. *La Revista Internacional de Logística Gestión*, 42.
- Chopra, S. y Meindl, P. (2013). *Gestión de la cadena de suministros: estrategia, planificación y operación*. Pearson.
- Dávila Soltero, F., Noriega Morales, S., Máynez Guaderrama, A. I., Hernández Gómez, A., & Torres Arguelles, V. (2017). Modelo de factores críticos del éxito para el despliegue de programas de filosofía organizacional. *Nova scientia*, 9(18), 459-485.
- Noriega, A., Chávez, A., Sánchez, J., Subramanian, A., Aldape, A., & Chavez, E. C. (2010). Critical Success Factors of Cellular Manufacturing Production. *International Journal of Industrial Engineering*, Special Issue – Mexico Conference, 400-408, 2010. ISSN 10724761
- Díaz, J. y Pérez, D. (2012). Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministro. *Inventory Levels Optimization in a Supply Chain*, 33(2), 126-132.
- Donald, J. y Bowersox, D. C. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros*. Michigan University.
- Donk, R. A., Akkerman, R. and Vaart, T. (2007). Opportunities and realities of supply chain integration: The case of food manufacturers. *British Food Journal*, 110(2), 218-235.
- Drango, M. D., Serna, D., Pérez Ortega, G. y Arango Martínez, C. A. (2008). Toma de decisiones en la gestión de la cadena de suministro. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 5(2).
- Durant, W. (1994). *The Story of Civilization (Part III)*. Cesar and Christ.

- Fawcett, S. E., Fawcett, A. M., Watson, B. J. y Magnan, G. M. (2012). Mirando dentro de la caja negra: hacia una comprensión de la dinámica de colaboración en la cadena de suministro. *Journal of Supply Chain Management*, 48(1), 44-72. doi:10.1111/j.1745-493X.2011.03241.x
- Forrester, J. (1958). Industrial Dynamics. A Major Breakthrough for Decision Makers. *Harvard Business Review*, 36, 37-66.
- Gunasekaran, C. P. and Mcgaughey, R. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *Int. J. Production Economics*, 87, 333–347.
- Habib, M. M. (2010). Supply chain management: theory and its future perspectives. *International Journal of Business, Management and Social Sciences*, 1(1).
- Habib, M. M. (2011). *Supply Chain Management Applications and Simulations*. InTech.
- Hanssmann, F. (1959). *Bullwhip effect in production-distribution systems*.
- Hax, A. C. and Meal, H. (1975). Hierarchical Integration of Production Planning and Scheduling. *In Studies in Management Sciences*, 1.
- Hernández, G. A., Noriega, M. S., Torres-Argüelles, V., Guaderrama, A. I. M., & Martínez, G. E. (2018). Validity and Reliability Evaluation of a Scale to Measure the Management of Total Productive Maintenance. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(1).
- Inman, J. H. and Hubler, J. (1992). Certify the process not just the product. *Production and Inventory Management Journal*, 33(4), 11-14.
- Kulwiec, R. (2004). *Crossdocking as a Supply Chain Strategy*.
- Lee, H. (1998). Preface to global supply chain and technology management. In H. Lee and S. Ng (eds), *Global supply chain and technology management*. Production and Operations Management Society.
- Lee, H. L. (2002). Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties. *Management Review*, 44(2), 105–119.
- Li, D. and O'Brien (1999). Integrated decision models of supply chain efficiency. *International Journal of Production Economics*, 59, 147-157.
- Lomax, R. G., & Schumacker, R. E. (2012). *A beginner's guide to structural equation modeling*. New York, NY: Routledge Academic. 3rd ed.
- Mangan, J. (2008). *Global logistics and supply chain management*. Velika Britanija.
- McCormack, K. B., Ladeira, M. and Valadares, M. (2008). Supply chain maturity and performance in Brazil. *An International Journal*, 13(4), 272–282.
- Morales, S. N., Martínez, L. R., Gómez, J. A. H., López, R. R., & Torres-Argüelles, V. (2019). Predictors of organizational resilience by factorial analysis. *International Journal of Engineering Business Management*, 11, 1847979019837046.
- Noriega, A., Chávez, A., Sánchez, J., Subramanian, A., Aldape, A., & Chavez, E. C. (2010). Critical Success Factors of Cellular Manufacturing Production. *International Journal of Industrial Engineering*, Special Issue – Mexico Conference, 400-408, 2010. ISSN 10724761
- Oliver, R. and Weber, M. (1982). *Supply Chain Management, Logistics catches up with strategy*. Chapman and Hall.
- Poblano Ojinaga, E. R. (2019). Effect of competitive intelligence on innovation capability: An exploratory study in Mexican companies. *Journal of Intelligence Studies in Business*, 9(3).
- Poblano Ojinaga, E. R. (2021). Competitive intelligence as a factor of the innovation capability in Mexican companies: A structural equations modeling approach. *Journal of Intelligence Studies in Business*, 11(2).

- Ramírez, S. A. y Peña, G. E. (2011). Análisis de comportamiento caótico en variables de la cadena de suministro. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 85-106.
- Romano, P. and Formentini, M. (2012). Designing and Implementing Open Book Accounting in Buyer-Supplier Dyads: Framework for Supplier Selection and Motivation. *Revista Internacional de Economía de la Producción*, 137, 68-83.
- Saad, M. P. and Patel (2006). An investigation of supply chain performance measurement in the Indian automotive sector. Benchmarking. *An International Journal*, 13(1/2), 36-53.
- Sánchez, G. (2008). *Cuantificación del valor en cadena de suministro extendida*. Del Banco Editores.
- Saygin, C. and Hall, D. (2012). Impact of information sharing on supply chain performance. *Int J Adv Manuf Technol*, 58, 397–409.
- Sociedad Americana de Producción y Control de Inventarios (1990). *American Production and Inventory Control Society*.
- Soin, S. (2004). *Critical Success Factors in Supply Chain Management at High Technology Companies* (tesis doctoral).
- Stadtler (2008). *Gestión de la cadena de suministros: una descripción general*. Stadtler H., Kilger C.
- Tyndall, G. C., Gopal, C. Partsch, W. and Kamauff, J. (1998). *Supercharging Supply Chains: New Ways to Increase Value Through Global Operational Excellence*. John Wiley & Sons.
- Vaidya, O. H. and Hudnurkar, M. (2013). Multi-criteria supply chain performance evaluation: An Indian chemical industry case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 62(3), 293-316.
- Wowak, K. D., Christopher, W., Craighead, G. and Hult, T. M. (2013). Supply Chain Knowledge and Performance: A Meta-Analysis. *Decision Sciences*, 44(5).
- Yang, J. (2013). A structural model of supply chain performance in an emerging economy. *International Journal of Production Research*, 50(14), 3895– 3903.

# **Modelado estadístico en pruebas aceleradas de confiabilidad en mantenimiento**

## **Statistical modeling on accelerated maintenance reliability models**

**Jorge Adolfo Pinto Santos**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

Jorge.ps@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-9614-2764>

**Joeovany Rafael Rodríguez Mejía**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México

jrodriguez@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4154-0778>

**Manuel Iván Rodríguez Borbón**

Industrial Engineering Department / New Mexico State University, USA

ivanrodr@nmsu.edu

<https://orcid.org/0000-0001-8405-4599>

## **Resumen**

Las organizaciones de clase mundial siempre se encuentran en la búsqueda de ser más competitivas, por lo que ofertan productos de gran calidad y además con un diseño que sea duradero de acuerdo con las expectativas del cliente. Evaluar la confiabilidad de un producto o componente para asegurar que cumpla con la durabilidad de diseño contribuye de forma vital a la aportación de la calidad y a la competitividad (Nelson, 2004). Se han desarrollado pruebas de vida aceleradas, que buscan provocar fallas más rápido que en usos normales; una de las más utilizadas son las pruebas de vida acelerada (ALT) y las pruebas de degradación acelerada (ADT) (Elsayed, 2012). En esta experimentación se aceleran los tiempos de falla, además, es posible analizar alguna característica de desempeño del producto y determinar la distribución de vida aun sin tener la presencia de fallas, con ello se extrapola la información a condiciones normales de operación. La aceleración de los tiempos de falla se realiza mediante variables denominadas de estrés (temperatura, voltaje, presión, etc.) para lograr los resultados del experimento en menores tiempos y a bajo costo. Los métodos no paramétricos son una opción

viable y económica para observar el comportamiento del deterioro de los herramientas utilizados en procesos tales como el de soldadura ultrasónica. Los rangos medianos son una técnica que emplea la aproximación de Benard para obtener la función acumulada de la distribución de probabilidad, y mediante cálculos del método de regresión de rango se obtienen los parámetros de una distribución adecuada a los datos. Existen diversos modelos para el análisis estadístico; este trabajo tiene el propósito de caracterizar el comportamiento del desgaste o pérdida de resistencia al jalón a través del método no paramétrico rangos medios, obteniendo la distribución acumulada de probabilidad Weibull, determinar los parámetros del comportamiento de la distribución de vida y evaluar la confiabilidad de la pieza para identificar el tiempo de cambio. Con la aplicación de la metodología se logran conocer las funciones que caracterizan el comportamiento de la herramienta analizada, por lo que se determina que el cambio de esta se halla en 270 piezas antes de que se produzcan fallas en el proceso.

**Palabras clave:** pruebas de vida, rangos medianos, confiabilidad, mantenimiento predictivo.

## **Abstract**

*World-class organizations are always looking to be more competitive, offering high-quality products with a design that meets customer expectations. Evaluating the reliability of a product is the component to ensure that it complies with the durability of the design, which is what makes a vital contribution to the contribution of quality and competitiveness (Nelson, 2004). Accelerated life problems have been developed, which seek to cause failures faster than in normal use, one of the most used are accelerated life problems (ALT) and accelerated degradation processes (ADT) (Elsayed, 2012). In this experiment, the times of failure are accelerated, in addition, it is possible to carry out the analysis of some characteristic of performance of the product and to determine the distribution of life without having the presence of failures, with the information being extrapolated to normal operating conditions. The acceleration of failure times is carried out using variables called stress (temperature, voltage, pressure, etc.), with which it is possible to have the results of the experiment in shorter times and at low cost. The non-parametric methods turn out to be a viable and economical option to observe the behavior of the deterioration of tools used in processes such as ultrasonic welding. The median ranks is a technique that uses the Benard approximation to obtain the accumulated function of the probability distribution and by means of calculations of the rank*

*regression method, the parameters of a distribution suitable for the data are obtained. There are several models for the statistical analysis, this work has the purpose of characterizing the wear behavior or the loss of resistance to jalon through the method in the parametric Rangos Medios, obtaining the Accumulated Distribution of Weibull Probability, determining the parameters of the behavior of the distribution of life and evaluating the reliability of the pieza to identify the time of change. With the application of the methodology, it is possible to determine the functions that characterize the behavior of the analyzed tool, determining the change of this in 270 pieces before failures occur in the process.*

**Keywords:** *Life expectancy, average ranks, reliability, predictive maintenance.*

## **Introducción**

Dentro de los procesos de innovación se diseñan productos competitivos, donde se introducen funciones nuevas, mejores materiales o se realizan cambios y/o mejoras en el proceso de manufactura, lo que tiene un impacto en su ciclo de vida (Roberto *et al.*, 2005; Sánchez y Pan, 2011). Asimismo, se requiere diseñar productos que aseguren tanto la funcionalidad como la confiabilidad para lograr un efecto positivo en la productividad (Ahmed, 1996; Meeker, 2010).

Por eso, el propósito de investigación de un proceso de manufactura, como lo es el de soldadura ultrasónica, consiste en evaluar el comportamiento de desgaste de la herramienta que se utiliza para unir los componentes y determinar el ciclo de vida. Considerando las técnicas estadísticas no paramétricas, las preguntas de la investigación responden a las posibilidades de modelar el comportamiento del desgaste o degradación. Por lo tanto, mejorar la confiabilidad de un producto es parte importante de la imagen más amplia de optimizar su calidad (Ahmed, 1996). La administración de las organizaciones, así como el área de ingeniería dedican sus esfuerzos a evaluar la confiabilidad, revisar nuevos diseños, cambios en los diseños y en la manufactura, identificar causas potenciales de falla, búsqueda de nuevos proveedores, materiales y métodos de fabricación. La toma de decisiones se complementa con datos de pruebas de vida de pocas piezas.

Por otro lado, una gran cantidad de productos tienen una alta duración, por lo que realizar pruebas de vida en condiciones de diseño son imprácticas. Analizar los datos del resultado de un experimento del ciclo de vida mediante una prueba acelerada requiere contar con la información de la vida del producto en las condiciones para las que

fue diseñado. Este tipo de pruebas contribuyen a ahorrar tiempo y recursos (Nelson, 2004).

La confiabilidad es uno de los elementos más importantes para lograr la calidad de los productos, ya que es un aspecto esencial para el diseño de los productos, así como del proceso (Evans y Lindsay, 2008). El punto relevante en los conceptos es que el entorno en el que opera un producto es un factor crítico en la evaluación de su confiabilidad (Meeker, 2001). Es así como se observa que para tener un panorama completo de la mejora en la calidad es primordial optimizar la confiabilidad del producto (Ahmed, 1996). Meeker (2010) cita a Condra (2001), quien señala a la confiabilidad como el rendimiento del producto a través del tiempo. Esto implica que lograr la calidad de un producto es necesario, aunque no lo es todo. Resalta la dificultad y el gran contraste que existe entre calidad y confiabilidad, ya que esta última solo puede ser evaluada directamente después de que el producto ha estado en operación durante algún tiempo, por lo que predecir la confiabilidad con exactitud presenta una serie de retos técnicos (Meeker, 2001).

De acuerdo con Elsayed (2012), el propósito fundamental de las pruebas de vida aceleradas es provocar que la falla o la degradación de los especímenes se presenten en menor tiempo para obtener datos de su comportamiento o de su degradación a través del tiempo y así determinar la estimación de la confiabilidad bajo condiciones de operación normal. Para calcular la confiabilidad, Elsayed (2012) señala que existen múltiples metodologías de prueba de confiabilidad. Estas contemplan experimentos que permiten identificar los posibles modos de falla, dentro de las cuales se tienen las siguientes pruebas: a) aceptación de confiabilidad, b) predicción de confiabilidad, c) vida acelerada (ALT), d) degradación acelerada (ADT), e) *Burn in*, de estrés de alta aceleración, entre otras. A continuación, la tabla 1.1 indica las pruebas de vida aceleradas, así como las fuentes donde se pueden consultar sus aplicaciones.

**Tabla 1.1** Pruebas aceleradas y aplicaciones

| Pruebas aceleradas                               | Aplicaciones en literatura                            |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| a) Pruebas de vida altamente aceleradas (HALT)   | (Xu <i>et al.</i> , 2011; Morris, 2017);              |
| b) Prueba de crecimiento de confiabilidad (RGT)  | (Awad, 2016);                                         |
| c) Prueba de estrés de alta aceleración (HASS)   | (Collins y Freels, 2013);                             |
| d) Prueba de demostración de confiabilidad (RDT) | (Guo y Liao, 2012);                                   |
| e) Prueba de aceptación de confiabilidad         | (Elsayed, 2012);                                      |
| f) Prueba de quemado ( <i>burn in</i> )          | (Huang y Pai, 2002; Ye <i>et al.</i> , 2012);         |
| g) Autoprueba incorporada (BIST)                 | (McCluskey, 1985; Shah y Hasler, 2017);               |
| h) Pruebas aceleradas de vida (ALT)              | (Choi <i>et al.</i> , 2011; Collins y Freels, 2013)   |
| i) Pruebas aceleradas de degradación (ADT)       | (Sun <i>et al.</i> , 2016; Tang <i>et al.</i> , 2004) |

Fuente: Pinto (2022)

Un modelo estadístico para pruebas de vida acelerada considera los siguientes componentes: la distribución de vida que representará la dispersión de la vida del producto y la relación vida-esfuerzo. Las distribuciones más usadas para estos modelos de pruebas de vida son los siguientes: exponencial, normal, *log* normal, Weibull y de valores extremos (Jiménez *et al.*, 2009). La tabla 1.2 refleja las distribuciones de probabilidad mayormente utilizadas en confiabilidad. Por otra parte, se requieren modelos que relacionen las variables de aceleración, temperatura, voltaje, presión con el tiempo de aceleración para interpretar los datos (Meeker *et al.*, 1998).

**Tabla 1.2** Distribuciones más aplicadas en confiabilidad

| Distribución de vida | Función de densidad de probabilidad $f(t)$                                                                                   | Función de probabilidad acumulada $F(t)$                                                                                     | Función de confiabilidad $R(t)$                              | Función de tasa de riesgo $\lambda(t)$                                                                                                                       |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Normal               | $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$                               | $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dx$                   | $1 - F(t)$                                                   | $\frac{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]}{\int_0^\infty \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dx}$ |
| Log normal           | $\frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right]$                       | $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dx$ | $1 - F(t)$                                                   | $\frac{f(t)}{1 - F(t)}$                                                                                                                                      |
| Weibull              | $\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$ | $1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$                                                             | $\exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$ | $\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$                                                                                            |
| Exponencial          | $\lambda \exp(-\lambda t)$                                                                                                   | $1 - \lambda \exp(-\lambda t)$                                                                                               | $\exp(-\lambda t)$                                           | $\lambda$                                                                                                                                                    |

Fuente: Pinto (2022)

En muchas situaciones, y por distintas razones, obtener datos en tiempos hasta la falla o datos de vida son muy difíciles de obtener y en ocasiones imposible. Dentro de las razones de esta dificultad se incluye una mayor durabilidad de los productos de la

actualidad, los periodos de tiempo entre el diseño y la producción y el reto de probar los productos que son empleados de forma continua bajo condiciones normales (Misra, 2008).

**Tabla 1.3** Relaciones vida-esfuerzo y factor de aceleración (Zhao y Elsayed, 2005)

| Relación               | Modelo                                                       | Factor de aceleración                                                                                              |
|------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Arrhenius              | $C \exp\left(\frac{B}{V}\right)$                             | $\exp\left(\frac{B}{V_0} - \frac{B}{V_s}\right)$                                                                   |
| Potencia Inversa       | $\frac{1}{KV^l}$                                             | $\left(\frac{V_s}{V_0}\right)^l$                                                                                   |
| Eyring                 | $\frac{1}{V} \exp\left(-\left(a - \frac{B}{V}\right)\right)$ | $\frac{V_s}{V_0} \exp\left(B\left(\frac{1}{V_0} - \frac{1}{V_s}\right)\right)$                                     |
| Temperatura – Humedad  | $A \exp\left(\frac{\varphi}{V} + \frac{b}{U}\right)$         | $\exp\left(\varphi\left(\frac{1}{V_0} - \frac{1}{V_s}\right) + b\left(\frac{1}{U_0} - \frac{1}{U_s}\right)\right)$ |
| Temperatura no Térmica | $\frac{C \exp\left(\frac{B}{V}\right)}{U^n}$                 | $\left(\frac{U_s}{U_0}\right)^n \exp\left(B\left(\frac{1}{V_0} - \frac{1}{V_s}\right)\right)$                      |

Fuente: Pinto (2022)

De acuerdo con Tang *et al.* (2004), con una prueba de degradación de vida acelerada, se identifica aquella característica de degradación que se correlaciona con la confiabilidad del producto y, por la cual, esta se irá degradando en el tiempo o tendrá una pérdida de su desempeño (Rodríguez-Picón *et al.*, 2017). Boulanger y Escobar (1994) señalan que los datos obtenidos en las pruebas implican la realización de extrapolación en dos dimensiones: la variable de estrés y el tiempo. La modelación relacionará las variables de aceleración (temperatura, voltaje, presión, etc.) con el tiempo de aceleración para estimar la confiabilidad (Meeker *et al.*, 1998). Las relaciones de vida-esfuerzo más comúnmente utilizadas, así como el factor de aceleración se pueden observar en la tabla 1.3.

### 1.1. Distribución Weibull

Tobías y Trindade (2012) señalan que, en ocasiones, no es factible analizar datos exponenciales y planificar experimentos de pruebas de vida, ya que estos se aplican solo bajo el supuesto de tasas de falla constante o cuando está presente la propiedad de la falta de memoria. Los casos donde se presenta claramente que la tasa de falla o fracaso disminuye o aumenta es una situación que fue abordada por Weibull (1951), quien desarrolló una distribución flexible con una amplia variedad de posibles formas de curvas de tasa de falla. Dado que la distribución Weibull se puede derivar como una de

valor extremo, sugiere su aplicación teórica cuando la falla se deba a un "eslabón más débil" de muchas probables ubicaciones donde se pueda presentar alguna.

Encontrar una función de distribución acumulativa (CDF) que tenga una amplia variedad de formas de tasa de falla, con la constante  $h(t) = \lambda$  como solo una posibilidad. Permitir cualquier forma polinomial del tipo  $h(t) = at^b$  para una función de tasa de falla logra este objetivo. Para derivar  $F(t)$  es más fácil comenzar con la función de riesgo acumulativa  $h(t) = \frac{dH(t)}{dt}$

$$\text{Si } H(t) = (\lambda t)^\beta, \text{ entonces tenemos } h(t) = \beta\lambda(\lambda t)^{\beta-1} \quad (1.1)$$

Esta forma nos da la tasa de falla constante exponencial cuando  $\beta = 1$  y una tasa de falla polinomial para otros valores de  $\beta$ .

$$\text{Ahora bien, si } F(t) = 1 - e^{-H(t)} = 1 - e^{-(\lambda t)^\beta}$$

Si hacemos que  $\alpha = 1/\lambda$  obtenemos

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\alpha)^\beta} \quad (1.2)$$

Al parámetro  $\alpha$  (alpha) se le llama *parámetro de escala* o *característica de vida* y el parámetro  $\beta$  (beta) es conocido como *parámetro de forma*; ambos deben ser positivos y la distribución es una de vida definida solo para un tiempo positivo, donde  $0 \leq t < \infty$ .

La función de densidad de probabilidad (PDF) es

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{t}\right) \left(\frac{t}{\alpha}\right) e^{-(t/\alpha)^\beta} \quad (1.3)$$

La tasa de riesgo es

$$h(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} = \left(\frac{\beta}{t}\right) \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad (1.4)$$

La tasa promedio de fallas (AFR) es

$$AFR(t_1, t_2) = \frac{\left(\frac{t_2}{\alpha}\right)^\beta - \left(\frac{t_1}{\alpha}\right)^\beta}{t_2 - t_1} \quad (1.5)$$

$$AFR(T) = \left(\frac{1}{\alpha}\right) \left(\frac{T}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (1.6)$$

## 1. 2. Métodos no paramétricos

### 1.2.1. Rango mediano

De acuerdo con O'Connor y Keyner (2012), el método de rango mediano se puede definir como el porcentaje acumulativo de la población representada por una muestra de datos en particular con 50 % de confianza. Los métodos más comunes para calcular el rango mediano incluyen binomio acumulativo y su aproximación algebraica.

### 1.2.2. Método binomial acumulativo para rango mediano

El rango mediano es posible calcularlo mediante la resolución de la distribución binomial acumulativa para  $Z$  (*rango para la  $j$ -ésima falla*) (Nelson, 1982):

$$P = \sum_{k=j}^N \binom{N}{k} Z^k (1 - Z)^{N-k} \quad (1.7)$$

donde  $N$  es el tamaño de la muestra y  $j$  es el número de orden.

El rango mediano se obtiene resolviendo la siguiente ecuación para  $Z$ :

$$0.50 = \sum_{k=j}^N \binom{N}{k} Z^k (1 - Z)^{N-k}$$

Así, se puede replicar esta metodología cambiando el valor de  $P$  de 0.50 (50 %) al nivel de confianza deseado. Por ejemplo, para  $P = 95$  %, se formularía la ecuación como:

$$0.95 = \sum_{k=j}^N \binom{N}{k} Z^k (1 - Z)^{N-k}$$

### 1.2.3. Aproximación algebraica del rango mediano

En el cálculo del rango mediano se utiliza la fórmula de aproximación, también conocida como *aproximación de Bernard*.

El valor de rango  $j$  es aproximado por

$$\text{Rango mediano } r_j = \frac{j - 0.3}{N + 0.4} \quad (1.8)$$

Donde:  $j$  = número de orden de falla y  $N$  = tamaño de la muestra.

#### 1.2.4. Aplicación de la distribución de Weibull

Utilizando la distribución de probabilidad de Weibull, se puede mostrar las técnicas de trazado de probabilidad y el análisis de datos de vida mediante el cálculo del rango mediano.

La función de distribución de fallas acumuladas  $F(t)$  es

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (1.9)$$

Donde  $t = \text{tiempo}$

$\beta = \text{parametro de forma}$

$\alpha = \text{Caracteristica de vida o parametro de escala}$

Rescribiendo la ecuación (27) se tiene:

$$\frac{1}{1 - F(t)} = \exp\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta$$

O bien tomando logaritmo natural, la ecuación toma la siguiente forma

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = \beta(\ln t) - (\beta \ln \alpha)$$

Se puede notar que la ecuación tiene la forma  $Y = \beta X + C$

Donde

$$X = \ln t$$

$$Y = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t)}$$

$$C = -\beta \ln \alpha$$

#### 1.3. Enfoques del mantenimiento

El mantenimiento es la actividad de combinar las acciones técnicas y administrativas, incluida la supervisión destinada a mantener un producto en un estado en el que pueda desempeñar la función para la que fue diseñado (Parida y Kumar, 2006). Las técnicas del mantenimiento en la actualidad se han mantenido en constante cambio gracias a los avances tecnológico como el internet de las cosas, la tecnología de detección, la inteligencia artificial, etc., desde donde se puede observar la transición de estrategias del mantenimiento correctivo hacia el preventivo y hacia lo predictivo (Ran *et al.*, 2019).

Susto *et al.*, (2015) mencionan que en la gestión del mantenimiento existen tres principales categorías:

1. **Run-to-Failure (R2F):** Es el enfoque más simple, sin embargo, es el menos efectivo debido a que el costo de la intervención y el tiempo de inactividad que se ocasionan después de ocurrir la falla llega a ser mucho más importante que aquellos que están asociados con las acciones correctivas planificadas.
2. **Mantenimiento preventivo (PvM):** De acuerdo con un cronograma planificado que se fundamenta en iteraciones de tiempo o proceso, son realizadas las actividades. Con este enfoque se evitan fallas, aunque se llegan a presentar acciones correctivas que no eran necesarias, lo que ocasiona una aplicación de recursos ineficiente y costos operativos altos.
3. **Mantenimiento predictivo (PdM):** Se realiza una estimación del estado de una pieza de equipo, lo que permite la detección anticipada de fallas y con ello realizar una intervención oportuna en los equipos antes de que ocurran las fallas.

El propósito del enfoque predictivo es realizar el mantenimiento necesario en la búsqueda de cambios en la condición física de los equipos para incrementar su vida útil y con ello disminuir el riesgo de presencia de falla. Según los métodos para detectar los síntomas de falla, el mantenimiento predictivo se clasifica en dos tipos: 1) basado en estadísticas y 2) basado en condiciones. El mantenimiento predictivo basado en estadísticas (SBM por sus siglas en inglés) se enfoca en crear modelos que puedan predecir fallas. Esto dependerá de la información que se obtenga registrando en los tiempos de paro de los productos y/o componentes en la planta. Por otra parte, el mantenimiento predictivo basado en condiciones (CBM por sus siglas en inglés) requiere de las condiciones del monitoreo continuo del equipo que permita detectar los síntomas de falla y tomar decisiones que conduzcan a realizar las actividades de mantenimiento (Wang, 2016).

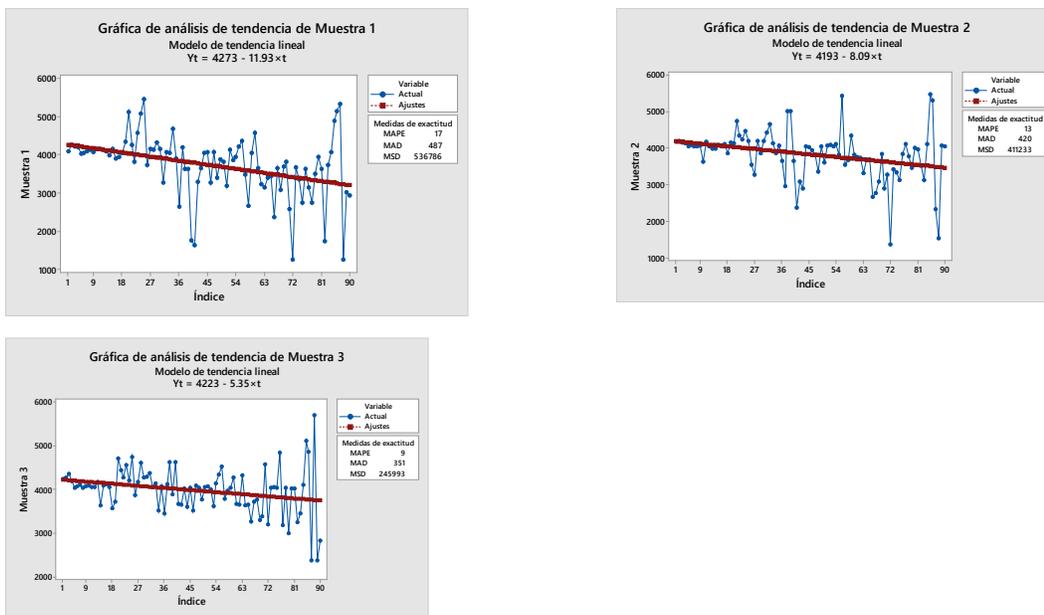
## **Metodología**

### **Materiales**

Dentro del proceso de soldar terminales en el cableado, se observa el comportamiento de la resistencia al jalón con el propósito de lograr determinar el momento de cambio oportuno de la herramienta utilizada, conocida como ANVIL. Los datos recabados para este análisis los ha proporcionado una industria del sector automotriz de

Ciudad Juárez, gracias a que se tuvo acceso a las mediciones de resistencia que serán utilizados para determinar el tiempo de cambio de la herramienta. Se establece en este estudio que la medida de la característica del desempeño del proceso es considerada como la degradación que se observa a través del uso de la herramienta de soldado perdido del desempeño. Este análisis se realiza mediante un análisis estadístico paramétrico y posteriormente con uno no paramétrico. Se efectúa el análisis gráfico de los datos recopilados para observar la tendencia que siguen estos. En las gráficas que se muestran en la figura 2.1 es posible observar la existencia de una tendencia descendente en cada una de las muestras.

**Figura 2.1** Análisis del comportamiento de tendencia de las muestras 1, 2 y 3



Además, el análisis de varianza se utiliza para validar la significancia de las variables *tiempo de soldadura* y *distancia absoluta* que se determinó podrían estar vinculadas con la variable de salida —resistencia al jalón—. En la tabla 2.2 se muestra solo parte de los datos recabados.

**Tabla 2.1** Datos de las variables predictoras y la variable de respuesta

|              | Y's                  | X's predictores     |                    |
|--------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| Muestra nro. | Resistencia al jalón | Tiempo de soldadura | Distancia absoluta |
| 1            | 4093                 | 69.28               | 82.7907            |
| 2            | 4257                 | 69.13               | 80.9641            |
| 3            | 4212                 | 69.23               | 79.8424            |
| 4            | 4184                 | 69.3                | 80.7047            |
| 5            | 4027                 | 69.39               | 81.8282            |
| 6            | 4051                 | 69.33               | 81.2974            |
| 7            | 4087                 | 69.37               | 81.5881            |
| 8            | 4136                 | 69.34               | 80.7134            |
| 9            | 4066                 | 69.37               | 82.7522            |
| f10          | 4180                 | 69.27               | 81.4091            |

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2.2 contiene el análisis de varianza obtenido mediante *software* Minitab donde se concluye que siendo el valor p menor al nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 5 %, las variables independientes *tiempo de soldadura*, *distancia absoluta* y la interacción entre ellas efectivamente tienen una relación lineal significativa con la variable de respuesta-resistencia al jalón.

**Tabla 2.2** Análisis de varianza

| Fuente de variación                     | Grados de libertad | Suma de cuadrados ajust. | Media de cuadrados ajust. | Valor F | Valor p |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------|---------|
| Regresión                               | 3                  | 42360152                 | 14120051                  | 37.83   | 0       |
| Tiempo de soldadura                     | 1                  | 2713169                  | 2713169                   | 7.27    | 0.007   |
| Distancia absoluta                      | 1                  | 2911199                  | 2911199                   | 7.8     | 0.006   |
| Tiempo de Soldadura *Distancia absoluta | 1                  | 2923671                  | 2923671                   | 7.83    | 0.006   |
| Error                                   | 266                | 99296297                 | 373294                    |         |         |
| Total                                   | 269                | 141656449                |                           |         |         |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.3 se muestra con detalle el resumen del modelo lineal de regresión, así como del ajuste del modelo mediante el coeficiente de determinación de los datos analizados. El coeficiente de determinación o  $R^2$  nos indica que la variabilidad que el modelo toma en cuenta es de 29.9 %.

**Tabla 2.3** Resumen del modelo lineal de regresión y coeficiente de determinación

| Término                                | Coefficiente                                                                                                                          | EE del coef. | Valor T            | Valor p        | VIF                |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|----------------|--------------------|
| Constante                              | -1096852                                                                                                                              | 409106       | -2.68              | 0.008          |                    |
| Tiempo de soldadura                    | 15799                                                                                                                                 | 5860         | 2.7                | 0.007          | 8604.31            |
| Distancia absoluta                     | 13914                                                                                                                                 | 4982         | 2.79               | 0.006          | 32042.38           |
| Tiempo de soldadura*Distancia absoluta | -199.7                                                                                                                                | 71.4         | -2.8               | 0.006          | 64760.7            |
| Resumen del modelo                     | S                                                                                                                                     | R-cuad       | R-cuad. (ajustado) | R-cuad. (pred) | Valor $p < \alpha$ |
|                                        | 610.978                                                                                                                               | 29.90%       | 29.11%             | 27.58%         |                    |
| Ecuación de regresión                  | Resistencia al jalón = -1096852 + 15799 tiempo de soldadura + 13914 Distancia Absoluta - 199.7 tiempo de soldadura*Distancia Absoluta |              |                    |                |                    |

Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Análisis mediante métodos no paramétricos

O'Connor y Keyner (2012) señalan que en primera instancia los datos deben ser ordenados con la finalidad de trazar la variable de interés (tiempo, millas, ciclos o alguna otra) que, en conjunto con el porcentaje de probabilidad acumulado, será posible obtener la probabilidad acumulada en cada uno de los datos. Si los datos no se comportan de acuerdo con una distribución normal, es posible hacer uso del método de rangos medianos. Se utiliza la ecuación 2.1 de aproximación de Benard para calcular los rangos medianos.

$$\hat{F}(x) = \frac{j - 0.3}{N + 0.4} \quad (2.1)$$

La estimación de los parámetros se obtiene haciendo los cálculos siguiendo el principio de los mínimos cuadrados del método de regresión de rango (*rank regression*). Con el modelo de regresión se obtiene el estimador para la función acumulada de falla

$F(x)$ . Este es un estimador no paramétrico basado en el orden de falla, lo que implica que los datos deben organizarse en forma ascendente. De acuerdo con Genschel y Meeker (2010), primero se ordena el conjunto de datos del valor más pequeño al más grande.

En los cálculos del método no paramétrico de rangos medianos se determina hacer uso de la distribución Weibull de dos parámetros, siendo el análisis de la distribución de probabilidad acumulada  $F(t)$ .

$$F(t) = 1 - \exp \left[ \left( -\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad t \geq 0 \quad (2.2)$$

Linealizando esta función, se obtiene

$$\ln \ln \left[ \frac{1}{1 - F(t)} \right] = \beta \ln(t) - \beta \ln \alpha \quad (2.3)$$

la cual es una ecuación lineal de la forma

$$y = \beta x + b \quad (2.4)$$

donde

$$y = \ln \ln \left[ \frac{1}{1 - F(t)} \right] \quad (2.5)$$

$$x = \ln(t) \quad (2.6)$$

y

$$b = -\beta \ln(\alpha) \quad (2.7)$$

Para obtener la confiabilidad del análisis se obtiene mediante

$$R(t) = \exp \left[ \left( -\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right], \quad t \geq 0 \quad (2.8)$$

Se hace uso del *software* estadístico Minitab y Rstudio para llevar a cabo el análisis de los datos de degradación obtenidos para mostrar el método y presentar los resultados en la siguiente sección. La serie de códigos utilizados en el análisis se muestran en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Resumen del código de *software* Rstudio

| Descripción                                    | Código en Rstudio                                                                |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Datos ordenados de menor a mayor               | Datord<- order(Datos, decreasing = FALSE)                                        |
| Etiquetar en una variable Y                    | Y<- Datos[Datord]                                                                |
| Presentación de los datos en un histograma     | hist(Datos)                                                                      |
| Método de los rangos medianos                  | r<-1:270<br>n<-length(r)<br>F<-(r-0.3)/(n+0.4)                                   |
| Presentación de tabla con información obtenida | Tabla<-data.frame(Y,r,n,F)                                                       |
| Modelo de regresión                            | y<- log(log((1/(1-F))))<br>x<-log(Datos)<br>Mod1<- lm(y ~ x)<br>Mod2<- lm(x ~ y) |

Fuente: Elaboración propia

## Resultados

Los datos analizados en este trabajo son el resultado de mediciones de resistencia a la tensión (o jalón) de un proceso de soldadura de contacto, donde el electrodo (la herramienta) sufre un proceso de degradación, lo que genera con su uso una disminución en la resistencia a la tensión de las piezas soldadas. El análisis de la información se lleva a cabo utilizando un método no paramétrico. La tabla 3.1 contiene una muestra de los datos de la variable de respuesta que se define como la resistencia a la tensión o jalón.

**Tabla 3.1** Datos de la prueba de resistencia a la tensión (fuerza)

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4093 | 4257 | 4212 | 4184 | 4027 | 4051 | 4087 | 4136 | 4066 | 4180 | 4202 | 4156 | 4140 | 4042 | 4094 |
| 4046 | 4051 | 4068 | 4240 | 4274 | 4351 | 4187 | 4042 | 4070 | 4107 | 4037 | 4073 | 4158 | 3634 | 4076 |
| 4148 | 4167 | 4048 | 4130 | 4052 | 4050 | 4098 | 3973 | 4160 | 3991 | 3988 | 3624 | 4149 | 4091 | 4091 |
| 3891 | 4052 | 4116 | 3936 | 4106 | 4050 | 4046 | 3858 | 3567 | 4341 | 4160 | 4712 | 5115 | 4120 | 4706 |
| 4264 | 4746 | 4441 | 4811 | 4340 | 4270 | 4570 | 4245 | 4561 | 5072 | 4472 | 4194 | 5458 | 4187 | 4743 |
| 3730 | 3533 | 3860 | 4147 | 3278 | 4160 | 4132 | 4197 | 4604 | 4320 | 3860 | 4270 | 4153 | 4202 | 4289 |
| 3266 | 4416 | 4373 | 4076 | 4665 | 4053 | 4044 | 4124 | 4128 | 4676 | 3856 | 3507 | 3895 | 4076 | 4065 |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2636 | 3656 | 3445 | 4184 | 2949 | 4116 | 3619 | 5013 | 4630 | 3619 | 5013 | 3875 | 1759 | 3647 | 4630 |
| 1625 | 2356 | 3658 | 3281 | 3082 | 3641 | 3645 | 2884 | 4025 | 4040 | 4037 | 3600 | 4067 | 4030 | 4033 |
| 3268 | 3947 | 3518 | 4060 | 3805 | 4076 | 3388 | 3344 | 4036 | 3876 | 4036 | 3761 | 3824 | 3610 | 4052 |
| 3182 | 4075 | 4059 | 4132 | 4084 | 2003 | 3853 | 4055 | 3610 | 3951 | 4101 | 4131 | 4209 | 3810 | 4333 |

Fuente: Elaboración propia

### 3.1 Aplicación del método de rangos medianos

Se desarrolla la aplicación del método estadístico no paramétricos, donde se utiliza el método de rangos medianos para obtener la distribución de probabilidad acumulada  $F(x)$ . Los cálculos se realizan mediante códigos de programación del *software* R en su versión 3.6.3. A continuación, se muestran los pasos que se siguen para la obtención de información del análisis de los datos.

1. Introducción de los datos de falla (tabla 3.1).

```
datos <- c(4093, 4257, 4212, ..., ..., 2830)
```

2. Generación de secuencias.

```
r <- 1:270
```

3. Obtención de la longitud del vector.

```
n <- length(r)
```

4. Cálculo de los rangos medianos ( $\hat{F}$ ).

```
 $\hat{F} <- (r - 0.3) / (n + 0.4)$ 
```

5. Cálculo del vector  $x$ .

Asumiendo que los datos de degradación siguen una distribución Weibull, se tiene que la distribución de probabilidad acumulada es:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right], t \geq 0$$

de donde se obtiene

$$\ln \ln \left[ \frac{1}{1 - F(t)} \right] = \beta \ln(t) - \beta \ln \alpha$$

Si se considera el modelo general de regresión lineal, la ecuación lineal tiene la forma

$$y = ax + b$$

donde

$$y = \ln \ln \left[ \frac{1}{1 - F(t)} \right], x = \ln(t), b = -\beta \ln(\alpha)$$

El vector graficado en el eje de las  $x$  será

$$x < -\ln \ln \left[ \frac{1}{1 - F(t)} \right]$$

6. Formación del cuadro de información con los datos (Y, r, n F)  
 Siguiendo el código en el *software* R Studio con datos ordenados de forma ascendente, se obtiene la información del rango mediano. En la tabla 3.2 se observa una muestra de los datos obtenidos.

**Tabla 3.2** Muestra de los valores F calculados

| N.º | Y    | R  | N   | F          | N.º | Y    | r  | n   | F          |
|-----|------|----|-----|------------|-----|------|----|-----|------------|
| 1   | 2106 | 1  | 270 | 0.00258876 | 18  | 2427 | 18 | 270 | 0.06545858 |
| 2   | 2106 | 2  | 270 | 0.00628698 | 19  | 2480 | 19 | 270 | 0.06915681 |
| 3   | 2136 | 3  | 270 | 0.00998521 | 20  | 2532 | 20 | 270 | 0.07285503 |
| 4   | 2137 | 4  | 270 | 0.01368343 | 21  | 2569 | 21 | 270 | 0.07655325 |
| 5   | 2139 | 5  | 270 | 0.01738166 | 22  | 2625 | 22 | 270 | 0.08025148 |
| 6   | 2168 | 6  | 270 | 0.02107988 | 23  | 2636 | 23 | 270 | 0.0839497  |
| 7   | 2201 | 7  | 270 | 0.02477811 | 24  | 2658 | 24 | 270 | 0.08764793 |
| 8   | 2206 | 8  | 270 | 0.02847633 | 25  | 2670 | 25 | 270 | 0.09134615 |
| 9   | 2252 | 9  | 270 | 0.03217456 | 26  | 2689 | 26 | 270 | 0.09504438 |
| 10  | 2265 | 10 | 270 | 0.03587278 | 27  | 2740 | 27 | 270 | 0.0987426  |
| 11  | 2309 | 11 | 270 | 0.03957101 | 28  | 2743 | 28 | 270 | 0.10244083 |
| 12  | 2319 | 12 | 270 | 0.04326923 | 29  | 2759 | 29 | 270 | 0.10613905 |
| 13  | 2321 | 13 | 270 | 0.04696746 | 30  | 2774 | 30 | 270 | 0.10983728 |
| 14  | 2356 | 14 | 270 | 0.05066568 | 31  | 2830 | 31 | 270 | 0.1135355  |
| 15  | 2364 | 15 | 270 | 0.05436391 | 32  | 2837 | 32 | 270 | 0.11723373 |
| 16  | 2365 | 16 | 270 | 0.05806213 | 33  | 2884 | 33 | 270 | 0.12093195 |
| 17  | 2369 | 17 | 270 | 0.06176036 | 34  | 2899 | 34 | 270 | 0.12463018 |

Fuente: Elaboración propia

7. Obtención de los parámetros de la función de densidad de probabilidad.

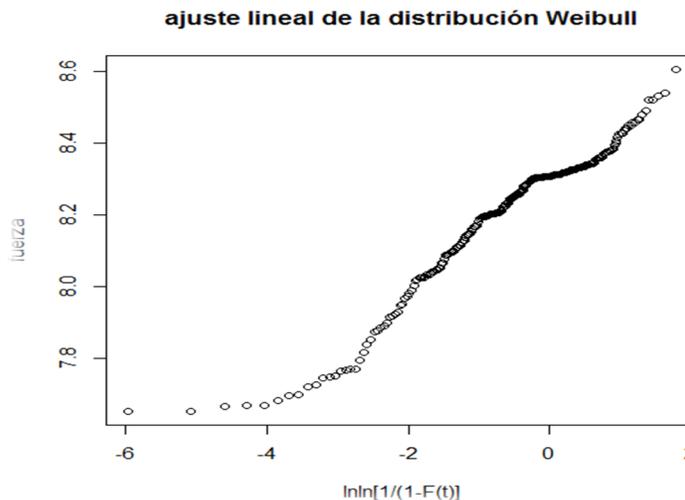
En la tabla 3.3 se encuentran los resultados del modelo lineal realizado mediante el *software* R Studio. En él se obtienen sus coeficientes, que son utilizados para la obtención de los parámetros de forma ( $\beta$ ) y de escala ( $\alpha$ ) de la distribución Weibull. En la gráfica 3.1 se observa el análisis lineal del ajuste de los datos obtenidos previamente mediante el método de rangos medianos, linealizando la CFD Weibull.

**Tabla 3.3** Resultados del modelo de regresión.

| Coeficientes                                                       |            | Residuales     |          |            |                                                               |         |
|--------------------------------------------------------------------|------------|----------------|----------|------------|---------------------------------------------------------------|---------|
|                                                                    |            | Min.           | 1Q       | Mediana    | 3Q                                                            | Max.    |
|                                                                    |            | -1.78622       | -0.18879 | -0.02537   | 0.17898                                                       | 0.65484 |
| Variable                                                           | Estimación | Error Estándar | Valor t  | Pr(> t )   | Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |         |
| (Intercepto)                                                       | 53.68500   | -0.64641       | -83.05   | <2e-16 *** |                                                               |         |
| X                                                                  | 6.47052    | 0.07873        | 82.19    | <2e-16 *** |                                                               |         |
| Error estándar residual: 0.2474 con 268 grados de libertad.        |            |                |          |            |                                                               |         |
| R <sup>2</sup> Múltiple: 0.9618, R <sup>2</sup> , Ajustada: 0.9617 |            |                |          |            |                                                               |         |
| Estadístico F: 6755 con 1 y 268 g.l., valor -p: < 2.2e-16          |            |                |          |            |                                                               |         |

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.1** Ajuste lineal de la distribución Weibull



De los resultados mostrados en la tabla 3.3, el valor del intercepto es  $b = -53.685$  y el valor de la pendiente  $\beta = 6.471$ . Con estos valores de los coeficientes se realizan los cálculos para obtener los parámetros de la distribución Weibull:

$$\ln\alpha = b$$

$$\beta=53.6856.471$$

$\ln \alpha = \frac{b}{\beta} = \frac{53.685}{6.471} = 8.296$ , por lo tanto, el parámetro de escala  $\alpha$  es

$$\alpha = e^{8.296} = 4007.8$$

La función de densidad de probabilidad de la distribución Weibull —ecuación (4)— es:

$$f(x) = 0.001615 \left(\frac{x}{4007.8}\right)^{6.471} e^{-\left(\frac{x}{4007.8}\right)^{6.471}}$$

La función de confiabilidad es:

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x}{4007.8}\right)^{6.471}}$$

La tasa de riesgo o función de riesgo se puede ser escrita como sigue:

$$h(x) = 0.001615 \left(\frac{x}{4007.8}\right)^{6.471}$$

El valor esperado será

$$E(x) = 4007.8 \Gamma\left(1 + \frac{1}{6.471}\right) = 4007.8(0.9298) = 3726.45 N$$

La varianza estará dada aproximadamente por

$$\sigma^2 = (4007.8)^2 \left\{ \Gamma(1.31) - (\Gamma(1.15))^2 \right\} = (4007.8)^2 \{ (0.896) - (0.9298)^2 \} = 505517.125$$

con  $\sigma = 711.0 N$

Como se puede observar, se obtiene un tiempo promedio para la falla (MTTF) o valor esperado de 3726.45 N.

## Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

En la industria maquiladora de Cd. Juárez, brinda mantenimiento a equipos siguiendo la filosofía del mantenimiento productivo total, que consiste en mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Sin embargo, la mayoría de las acciones de los departamentos van dirigidos hacia el correctivo. La industria programa el preventivo en función del personal con que cuenta. El mantenimiento predictivo requiere de la

aplicación de conceptos distintos a lo tradicional, ya que el enfoque primordial es anticiparse a la falla de los equipos. Inicialmente se necesitará conocer el comportamiento de los tiempos de falla para definir la función de densidad de probabilidad y obtener el valor esperado-MTTF y la tasa de riesgo para modelar el comportamiento y realizar la predicción de las fallas. El propósito es determinar el momento oportuno de cambio de la herramienta (ANVIL) para asegurar que las piezas soldadas cumplan con el valor especificado de resistencia hacia el jalón, de esa manera se anticipa a la falla. Para evaluar la confiabilidad de los equipos se recurre al análisis de los datos como un comportamiento de la trayectoria de degradación o pérdida del rendimiento.

Es posible obtener la función de densidad de probabilidad mediante un *software* como Minitab® o Weibull++ de Reliasoft, sin embargo, se consideró hacer uso de un método estadístico alternativo como lo es uno no paramétrico, en conjunto con el paramétrico, el cual utiliza una ordenación de los rangos para obtener la función acumulada de falla.

La caracterización de la función de densidad de probabilidad se logra con el análisis de datos de la degradación del ANVIL, obteniendo una función que permite observar el comportamiento de la resistencia a la tensión y determinar el cambio oportuno de la herramienta antes de provocar fallas en los productos soldados. El modelo estadístico que permite caracterizar la confiabilidad de la herramienta se determina a través de la distribución Weibull, donde se obtiene que el parámetro de escala es de 4007.8 y el parámetro de forma es 6.471. El comportamiento de la distribución de la resistencia a la tensión muestra que la herramienta debe retirarse antes de las 270 piezas soldadas sin riesgo de que aparezcan resistencias menores al límite inferior especificado de 2000 lbs/plg<sup>2</sup>. El valor esperado fue de 3726.45 N con una desviación estándar de 711 N.

El uso de esta metodología contribuye a la implementación de acciones de mantenimiento industrial, específicamente en los cambios de la herramienta usada para la soldadura de las terminales en los cables, y se plantea como una alternativa del mantenimiento predictivo que permitirá tomar decisiones acertadas en los procesos de manufactura antes de que se generen productos con defecto.

#### **4.2. Recomendaciones y futuras líneas de investigación**

Se recomienda extender esta investigación a otros procesos productivos donde se pueda evaluar la efectividad de los resultados. Asimismo, otras áreas del conocimiento que sería recomendable explorar son las redes bayesianas, los modelos de degradación con procesos estocásticos y la aplicación algoritmos de *machine learning* para la predicción de eventos de falla. Otras líneas de investigación para el futuro es realizar

trabajo sobre el mantenimiento centrado en confiabilidad aplicando distintas técnicas estadísticas.

En este trabajo no se consideran los planes de prueba, sin embargo, sería recomendable realizar el diseño de una prueba de vida controlada para obtener nuevos datos y hacer comparaciones con los resultados del análisis presentado.

## Referencias

- Ahmed, J. U. (1996). Modern approaches to product reliability improvement. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 13(3), 27–41. <https://doi.org/10.1108/02656719610116063>
- Awad, M. (2016). Economic allocation of reliability growth testing using Weibull distributions. *Reliability Engineering and System Safety*, 152, 273–280. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.03.012>
- Boulanger, M., & Escobar, L. A. (1994). Experimental design for a class of accelerated degradation tests. *Technometrics*, 36(3), 260-272.
- Choi, H. S., Seo, W. S. and Choi, D. K. (2011). Prediction of reliability on thermoelectric module through accelerated life test and Physics-of-failure. *Electronic Materials Letters*, 7(3), 271–275. <https://doi.org/10.1007/s13391-011-0917-x>
- Collins, D. and Freels, J. (2013). Accelerated Test Methods for Reliability Prediction. *Journal of Quality Technology*, 45(3), 244–259.
- Condra, L. (2001). *Reliability Improvement with Design of Experiment*. CPD.
- Elsayed, E. A. (2012). Overview of reliability testing. *IEEE Transactions on Reliability*, 61(2), 282–291. <https://doi.org/10.1109/TR.2012.2194190>
- Evans, J. and Lindsay, W. (2008). *Administración y control de la calidad*. Cengage Learning.
- Genschel, U. and Meeker, W. Q. (2010). A Comparison of Maximum Likelihood and Median-Rank Regression for Weibull Estimation. *Quality Engineering*, 22, 236–255. <https://doi.org/10.1080/08982112.2010.503447>
- Guo, H. and Liao, H. (2012). Methods of reliability demonstration testing and their relationships. *IEEE Transactions on Reliability*, 61(1), 231–237. <https://doi.org/10.1109/TR.2011.2167782>
- Huang, S.-J. and Pai, F.-S. (2002). Design and Operation of Burn-In Test System for. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 49(1), 256–263.
- Jiménez, J., Alamilla López N. E. y López Cerino, M. (2009). Pruebas de vida acelerada en confiabilidad. *Ciencia y Tecnología*, 13, 33–37.
- McCluskey, E. J. (1985). Built-In Self-Test Techniques. *IEEE Design and Test of Computers*, 2(2), 21–28. <https://doi.org/10.1109/MDT.1985.294856>
- Meeker, W. Q., Escobar, L. a, & Lu, C. J. (1998). Accelerated Degradation Tests: Modeling and Analysis. *Technometrics*, 40(2), 89–99. <https://doi.org/10.1080/00401706.1998.10485191>
- Meeker, W. Q. (2001). Reliability : the other dimension of quality. W . J . Youden Memorial Address. *Asq Statistics Division Newsletter*, 21(2).

- Meeker, W. Q. (2010). Trends in the Statistical Assessment of Reliability. *Advances in Degradation Modeling*, 3–16. [https://doi.org/10.1007/978-0-8176-4924-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-0-8176-4924-1_1)
- Misra, K. B. (2008). Reliability Engineering: A Perspective. *Handbook of Perfor Mability Engineering, October*, 253–289.
- Morris, G. K. (2017). Taking the (Emotional) Stress Out of HALT. *Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/RAM.2017.7889745>
- Nelson, W. B. (2004). *Accelerated Testing- Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis*. John Wiley & Sons, Inc.
- O’Connor, P. and Keyner, A. (2012). *Practical Reliability Engineering* (5<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- Parida, A. and Kumar, U. (2006). Maintenance performance measurement (MPM): Issues and challenges. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 239–251. <https://doi.org/10.1108/13552510610685084>
- Ran, Y., Zhou, X., Lin, P., Wen, Y. and Deng, R. (2019). A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 1-36.
- Rodríguez-Picón, Luis Alberto, Flores-Ochoa, V. H., Méndez-González, L. C., & Rodríguez-Medina, M. A. (2017). Bivariate degradation modelling with marginal heterogeneous stochastic processes. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 87(11), 2207–2226. <https://doi.org/10.1080/00949655.2017.1324858>
- Roberto, J., Reza, D., Iván, M., Borbón, R., David, R. y Arredondo, M. (2005). *Ingeniería industrial patrones desarrollo de un plan de prueba para pruebas de vida acelerada en el sensor knock Introducción*. 55.
- Sánchez, L. M. and Pan, R. (2011). An Enhanced Parenting Process: Predicting Reliability in Product’s Design Phase. *Quality Engineering*, 23(4), 378–387. <https://doi.org/10.1080/08982112.2011.603110>
- Shah, S. and Hasler, J. (2017). Tuning of Multiple Parameters With a BIST System. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 64(7).
- Sun, F., Liu, L., Li, X. and Liao, H. (2016). Stochastic Modeling and Analysis of Multiple Nonlinear Accelerated Degradation Processes through Information Fusion. *Sensors*, 16(8), 1242. <https://doi.org/10.3390/s16081242>
- Susto, G. A., Schirru, A., Pampuri, S., McLoone, S. and Beghi, A. (2015). Machine Learning for Predictive Maintenance : A Multiple Classifiers Queen ’ s University Belfast - *Research Portal Machine Learning for Predictive Maintenance : A Multiple Classifiers Approach*. 11, 812–820.
- Pinto, J. A. (2022). *Caracterización de una función de densidad de probabilidad mediante un análisis de degradación usando estadísticos no paramétricos* (tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Tang, L. C., Yang, G. Y. and Xie, M. (2004). Planning of step-stress accelerated degradation test. *Annual Symposium Reliability and Maintainability, 2004 - RAMS*, 287–292. <https://doi.org/10.1109/RAMS.2004.1285462>
- Tobías, P. A. and Trindade, D. (2012). *Weibull distribution. Applied reliability*. CRC Press.
- Wang, K. (2016). Intelligent Predictive Maintenance ( IPdM ) System – Industry 4.0 Scenario. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 113, 259-268. <https://doi.org/10.2495/IWAMA150301>

- Xu, D., Chen, Y. and Kang, R. (2011). Study of accelerated stability test method for quartz flexible accelerometer. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 11(1), 148–156. <https://doi.org/10.1109/TDMR.2010.2102025>
- Ye, Z.-S., Xie, M., Tang, L.-C. and Shen, Y. (2012). Degradation-Based Burn-In Planning Under Competing Risks. *Technometrics*, 54(2), 159–168. <https://doi.org/10.1080/00401706.2012.676946>
- Zhao, W. and Elsayed, E. (2005). A general accelerated life model for step-stress testing. *IIE Transactions*, 37(11), 1059–1069. <https://doi.org/10.1080/07408170500232396>

# **Resolución de un plan de distribución a través del razonamiento basado en casos y redes bayesianas**

**Resolution of a distribution plan through reasoning based on cases and Bayesian networks**

**Adrián Francisco Loera Castro**

Tecnológico Nacional de México/ IT de Ciudad Juárez, México  
aloera@itcj.edu.mx  
<https://orcid.org/0000-0003-1694-6792>

**Perla Ivette Gómez Zepeda**

Tecnológico Nacional de México/ IT de Ciudad Juárez, México  
perla.gz@cdjuarez.tecnm.mx  
<https://orcid.org/0000-0002-1767-5982>

**Lizette Alvarado Tarango**

Tecnológico Nacional de México/ IT de Ciudad Juárez, México  
lalvarado@itcj.edu.mx  
<https://orcid.org/0000-0001-7934-8330>

## **Resumen**

Un sistema de expertos ayuda a los interesados a gestionar las operaciones de planeación de la distribución de bienes y servicios, en especial de productos de consumo final de una forma eficaz y rentable. Los sistemas expertos están preparados para utilizar técnicas de razonamiento dentro de la inteligencia artificial, utilizando un razonamiento basado en casos (CBR). A partir de la revisión de la literatura sobre la evolución de la logística y cadena de suministros de la logística 1.0 a la 4.0, se determina una brecha donde el área necesita la asistencia de tecnologías avanzadas para impulsar la productividad de los procesos la planeación de la distribución de bienes y servicios, para asignar diversos recursos de forma razonable. Por lo tanto, un sistema experto es beneficioso debido a que puede utilizar la cantidad explosiva de datos de la demanda de los productos, capacidades de almacenamiento y fabricación, así como costos asociados a estos, y transferir estos datos a un conocimiento práctico para gestionar las operaciones logísticas. Se demostró la brecha existente de la falta de sistema experto basados en la optimización y en el razonamiento en el área, por lo que se concluye que el enfoque

basado en el razonamiento, en particular el enfoque CBR, y del CBR integrado con una red Bayesiana es adecuado para construir un sistema experto para problemas de planeación de la distribución de bienes y servicios. El sistema experto es un importante habilitador para ayudar a los interesados en gestionar las operaciones de planeación de la distribución de forma eficaz y rentable.

**Palabras clave:** inteligencia artificial, sistema de expertos, CBR, redes bayesianas, cadena de suministros.

## **Abstract**

*A system of experts helps stakeholders to manage planning operations for the distribution of goods and services, especially final consumer products, in an efficient and profitable manner. Expert systems are prepared to use reasoning techniques within artificial intelligence, using Case Based Reasoning (CBR). From the review of the literature on the evolution of logistics and supply chain from logistics 1.0 to 4.0, a gap is determined where the area needs the assistance of advanced technologies to boost the productivity of the processes, the planning of the distribution of goods and services, to allocate various resources in a reasonable way. Therefore, an expert system is beneficial because it can use the exploding amount of data on product demand, storage and manufacturing capacities, as well as costs associated with these, and translate this data into actionable knowledge to manage Logistic operations. The existing gap of the lack of an expert system based on optimization and reasoning in the area was demonstrated, so it is concluded that the reasoning-based approach, in particular the CBR approach, and the CBR integrated with a Bayesian network it is suitable for building an expert system for problems of planning the distribution of goods and services. The expert system is an important enabler to help stakeholders manage distribution planning operations efficiently and profitably.*

**Keywords:** artificial intelligence, expert system, CBR, bayesian networks, supply chains,

## Introducción

La clave de las empresas para sobrevivir en el mundo es tener una ventaja competitiva, para lo cual es necesario mejorar el rendimiento para competir en el mercado (Jain *et al.*, 2010; Kazemkhanlou *et al.*, 2014; Shakerian *et al.*, 2016). Por eso, en esta investigación se aborda una revisión sistemática de literatura sobre la implementación de un modelo inteligente, cuyo proceso de aprendizaje soluciona nuevos problemas basándose en hallazgos anteriores en torno a la distribución de bienes en un segmento de la cadena de suministros (CS).

El diseño de un modelo inteligente sirve para mitigar desde la insuficiencia de datos necesarios para hacer un análisis que sirva para atender la problemática inherente al complejo proceso de toma de decisiones en una CS (Negnevitsky, 2005), así como la dependencia en sus directivos para evaluar las opciones de acción propuestas y la dificultad para la formación y desarrollo de ellos, lo que puede generar pérdida de nuevos conocimientos para la organización. Todo esto se traduce en incertidumbre y factores dinámicos que existen en la CS, aunque pocos sistemas expertos los tienen en cuenta.

En general, la incertidumbre y los factores dinámicos provienen de las condiciones cambiantes, donde la logística tiene una gran influencia en la planeación de la distribución. Los sistemas expertos deberían tener en cuenta la incertidumbre y los factores dinámicos para ofrecer a los involucrados en el sistema un apoyo preciso a la hora de tomar decisiones; manejar la incertidumbre y los factores dinámicos de los efectos económicos del mercado. Un ejemplo claro es el precio de un producto, el cual puede verse afectado por varios factores como la producción total, la logística, las existencias en los almacenes locales, la demanda de los consumidores, entre otros. En tal sentido, cualquier cambio en un solo elemento puede provocar una reacción en cadena.

Algunos investigadores pretenden desarrollar sistemas expertos que resuelvan problemas complejos de forma autónoma sin ninguna intervención humana (Lofaro, 2017; Zhang *et al.*, 2019); lamentablemente, los sistemas expertos existentes no han alcanzado todavía ese nivel de inteligencia debido a la limitación de la capacidad de cálculo y la complejidad de los problemas en la CS. De hecho, los sistemas expertos a veces pueden proporcionar sugerencias erróneas para la toma de decisiones, por lo que se espera que los conocimientos logísticos de los expertos experimentados sirvan para validar la viabilidad de las estrategias dadas y corregir los errores en las soluciones generadas (Kamali *et al.*, 2017). Los sistemas de ayuda a la toma de decisiones deben ofrecer una interfaz interactiva que permita a los expertos expresar sus conocimientos y

opiniones; al comprobar las soluciones generadas antes de su ejecución, los sistemas expertos pueden reducir la posibilidad de cometer errores.

Sin embargo, los sistemas expertos existentes rara vez analizan la información histórica, la cual sirve para comparar los datos en tiempo real y generar soluciones para las misiones actuales mediante algoritmos inteligentes como el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo y los algoritmos bioinspirados (Ali *et al.*, 2018). Se pueden reconocer y emparejar patrones similares entre los conjuntos de datos históricos y los nuevos; las experiencias exitosas en casos pasados pueden usarse como referencias para realizar las actividades logísticas actuales, mientras que los sistemas expertos pueden abandonar las estrategias inútiles juzgando a partir de los fracasos en casos pasados. Además, al aprender de la información histórica se pueden extraer patrones regulares y utilizarlos para predecir circunstancias futuras (Ghorbani *et al.*, 2019).

Los procesos de planificación, tradicionalmente desarrollados en un contexto de empresa única, deben realizarse en un nuevo contexto correspondiente a CS. La función de planificación, que se realizaba de una forma centralizada y atendiendo a los objetivos de una única empresa, ahora deberán desarrollarse simultáneamente teniendo en cuenta los objetivos de varias empresas separadas y de diferentes características. Debido a la complejidad inherente del proceso de toma de decisiones en las CS, existe una necesidad creciente de metodologías de modelado (Biswas y Narahari, 2004, Chan y Vikas, 2009; Narahari, 2010) que puedan ayudar a identificar e implementar estrategias en general para problemáticas en las CS.

Algunas razones importantes de la complejidad del proceso de toma de decisiones son la naturaleza a gran escala de la cadena de suministro, la estructura jerárquica de las decisiones, la aleatoriedad de diversos insumos y operaciones, y la naturaleza dinámica de las interacciones entre los elementos de la cadena de suministro (Elhadi-Bounif y Bourahla, 2013). La optimización se ha convertido en una técnica altamente utilizada en la planificación y gestión de la cadena de suministro (Carlsson y Ronnqvist, 2005, Chan y Vikas, 2009; Li y Amini, 2012).

## **Revisión de la literatura**

### **Sistemas de expertos**

Gunasekaran *et al.* (2001) mencionan que la distribución, por su propia naturaleza, funciona en un entorno dinámico y en continuo cambio, lo que dificulta el análisis y el plan para la posterior mejora de un sistema de distribución. Por consiguiente, no es una

tarea fácil apreciar cómo afectará al sistema el cambio de uno de los principales elementos de una estructura de distribución. Una de las formas de superar este problema es adoptar la visión total del sistema para comprender y medir el rendimiento de este, así como en relación con las partes constituyentes del sistema.

El conocimiento es una comprensión teórica o práctica de un tema o un dominio es la suma de lo que se sabe actualmente, en donde aparentemente el conocimiento es poder (Negnevitsky, 2005). Los que poseen conocimientos se llaman expertos, pero cualquiera puede ser considerado así en un ámbito si tiene un conocimiento profundo (tanto de los hechos como de las reglas) y una gran experiencia práctica en un ámbito concreto, aunque el área del dominio puede ser restringida. En general, un experto humano es una persona con ciertas habilidades y destrezas que le permiten hacer cosas que otras no pueden. Por lo general, el pensamiento de un experto inicia como un proceso mental y complejo para ser representado como un algoritmo. Sin embargo, la mayoría de los expertos son capaces de expresar sus conocimientos en forma de reglas para la resolución de problemas.

En este sentido, los conocimientos se pueden formular con afirmaciones sencillas para la inteligencia artificial (IA): “SI” o “IF” y “ENTONCES” o “THEN”, el término *regla* en IA, que es el tipo de representación del conocimiento más utilizado de representación del conocimiento, puede definirse como una estructura IF-THEN que relaciona información o hechos dados en la parte IF con alguna acción en la parte THEN. Una regla proporciona una descripción de cómo resolver un problema. Las reglas son relativamente fáciles de crear y comprender.

Las reglas de producción modernas se consideran como un subconjunto de reglas de acción de condiciones de eventos o reglas de evento-condición-acción (ECA). Se trata de un atajo para referirse a la estructura de las reglas activas en arquitectura activada por eventos y sistemas activos de bases de datos. Las ECA son un candidato natural para el soporte de la funcionalidad reactiva en repositorios XML. Tradicionalmente, esa regla constaba de tres partes:

- La parte de evento especifica la señal que desencadena la invocación de la regla.
- La parte de condición es una prueba lógica que, si se cumple o se evalúa como verdadera, hace que la acción se lleve a cabo.
- La parte de acción consiste en actualizaciones o invocaciones en los datos locales.

Esta estructura fue utilizada por las primeras investigaciones en bases de datos activas que comenzaron a usar el término ECA, en donde los motores de búsqueda se

consideraban como de última generación, pero con variaciones en la estructura de reglas. La condición de parte de ECA que se destacó más en las normas de producción tradicionales es la siguiente:

“Si la condición A está satisfecha, entonces haga B. La porción 'A' de la regla se llama antecedente o lado izquierdo (LHS) de la regla. La parte 'B' de la regla se llama lado consecuente o derecho (RHS) de la regla. Si A es verdadero (es decir, todas sus condiciones se satisfacen con datos y hechos en la base de hechos) y se ejecutan las acciones especificadas en B, entonces se dice que la regla fue 'disparada’”.

“La condición 'A' puede ser una conjunción de las condiciones A1, A2,... A (n), que deben cumplirse para disparar cualquier acción estipulada por B. Cualquier componente de esta conjunción puede implicar un negativo". "Del mismo modo, 'B' puede ser una secuencia de acciones B1, B2 ... B (k), todas las cuales se tomarán si se cumple la parte condicional de la regla y se dispara la regla". "La relación entre la regla base y la base de hechos es bastante simple. Si hay un hecho en la base de hechos como 'Var1 = n' y hay una regla en la base de reglas que establece que 'Si Var1 = n luego B', entonces esta regla se considera para ejecución (o disparo)’”.

Puede haber varias reglas que son candidatas para disparar en función del estado de la base de hechos. Depende del mecanismo de inferencia resolver cualquier conflicto y determinar la secuencia de disparo apropiada.

El motor de inferencia (mecanismo) es la parte del núcleo del sistema experto que soporta el razonamiento sobre el entorno mediante la manipulación adecuada de sus reglas y bases de hechos. Establece el estado actual del entorno a partir de su base de hechos y utiliza esa información de estado para identificar el conjunto de reglas cuyas partes condicionales se satisfacen por el estado del entorno. Determina cuáles reglas en la base de datos son posibles candidatos para disparar en función de la circunstancia de que la parte condicional de las reglas se satisfaga con hechos en la base de hechos. Estos hechos proporcionan una imagen actualizada del entorno para el sistema experto (Pomykalski *et al.*, 1999, p.13).

Se anticipa que los enfoques basados en el conocimiento tienen una ventaja sobre los tradicionales en la gestión y optimización de la cadena de suministro a través de las siguientes propiedades:

- Se puede agregar una gran experiencia en la gestión de la cadena de suministro a las bases de datos del sistema.

- La evaluación continua de reglas (razonamiento de cadena directa) emula la supervisión de sistemas impulsados por eventos altamente paralelos.
- La evaluación de reglas impulsadas por objetivos (razonamiento de cadena inversa) permite la optimización inteligente y el control de retroalimentación (razonamiento hacia adelante y hacia atrás).
- Monitoreo complejo y lógica de decisión guardada en un lugar; fácil de mover y actualizar.

Una de las características comunes de la información disponible para los expertos humanos es su imperfección. La información puede ser incompleta, inconsistente, incierta o las tres cosas a la vez. En otras palabras, puede ser inadecuada para resolver un problema. Sin embargo, un experto puede hacer frente a estos defectos y, por lo general, puede emitir juicios correctos y tomar decisiones acertadas. Los sistemas expertos también tienen que ser capaces de manejar la incertidumbre y sacar conclusiones válidas. La incertidumbre puede definirse como la falta de un conocimiento exacto que permita llegar a una conclusión perfectamente fiable (Stephanou y Sage, 1987). La lógica clásica solo permite el razonamiento exacto. Supone que siempre existe un conocimiento perfecto y que siempre se puede aplicar la ley del medio excluido:

- SI                            A es verdadero
- ENTONCES            A no es falso y
- SI                            B es falso
- ENTONCES            B no es cierto

Lamentablemente, la mayoría de los problemas del mundo real en los que se podrían utilizar sistemas expertos no proporcionan un conocimiento tan claro. La información disponible a menudo contiene datos inexactos, incompletos o incluso no medibles. Por tal razón, se propone un complemento a estos a través de la implementación de las redes bayesianas.

### **Razonamiento con redes bayesianas**

Darwiche (2011) comenta que el interés por el razonamiento automatizado se remonta a los inicios de la inteligencia artificial (IA) cuando se comenzaron muchos de los trabajos para desarrollar programas informáticos para resolver problemas que requerían un alto grado de inteligencia. Holmes *et al.* (2009) mencionan que las redes bayesianas no hacen referencia a la causalidad, y no se exige que los enlaces representen un impacto causal. Es decir, al construir la estructura de un modelo de red bayesiana no se necesita insistir en que los enlaces vayan en una dirección causal. Sin embargo, se deben comprobar las propiedades de separación-*d* del modelo y asegurarse que

correspondan con nuestra percepción de las propiedades de independencia condicional del mundo real. El modelo no debe incluir independencias condicionales que no se den en el mundo real.

Por otra parte, Korb y Nicholson (2011) mencionan que cuando se observa el valor de alguna variable se quiere condicionar a la nueva información. El proceso de condicionamiento (también llamado *propagación de la probabilidad o inferencia o actualización de la creencia*) se realiza mediante un “flujo de información” a través de la red. Nótese que este flujo de información no se limita a las direcciones de los arcos. En el sistema probabilístico, esto se convierte en la tarea de calcular la distribución de probabilidad posterior para un conjunto de nodos de consulta, dados los valores de algunos nodos de evidencia (u observación). Las redes bayesianas proporcionan representaciones completas de las distribuciones de probabilidad sobre sus variables. Esto implica que pueden condicionarse a cualquier subconjunto de sus variables, soportando cualquier dirección de razonamiento.

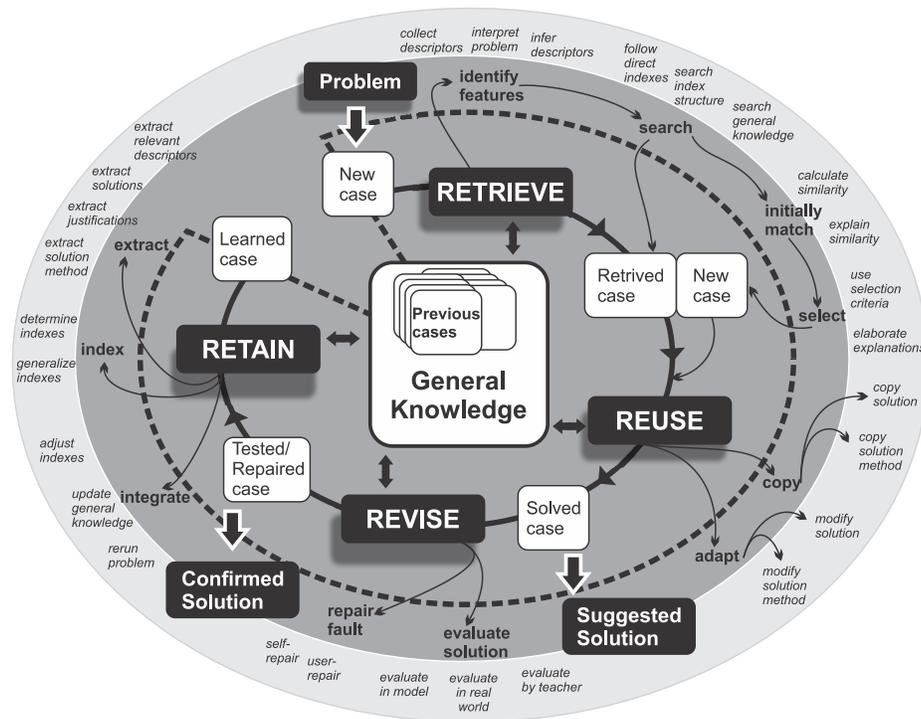
### **Razonamiento basado en el caso**

La mayor parte de esta sección se basa Jiang *et al.* (2019) y Zhai *et al.* (2020), donde la representación de casos en la CBR hace uso de formalismos de representación de conocimientos familiares de la IA para representar la experiencia contenida en los casos con fines de razonamiento. La representación de los casos y la recuperación de estos son los pasos principales y más importantes de la CBR. La eficiencia del algoritmo de recuperación de casos se determina y se ve afectada directamente por el método de representación de casos utilizado. Por consiguiente, es más lógico introducir métodos de recuperación de casos después de estudiar los métodos de representación para vincularlos entre sí. Un caso es un conocimiento contextualizado que representa una experiencia que enseña una lección fundamental para lograr los objetivos del razonador y se caracteriza por lo siguiente:

- Un caso representa un conocimiento específico vinculado a un contexto. Registra el conocimiento a nivel operacional.
- Los casos pueden presentarse de muchas formas y tamaños diferentes, abarcando grandes o pequeñas porciones de tiempo, asociando soluciones con problemas, resultados con situaciones o ambos.
- Un caso registra experiencias que son diferentes de lo que se espera. Sin embargo, no es importante registrar todas las diferencias. Los casos dignos de ser registrados como casos enseñan una lección útil.
- Las lecciones útiles son las que tienen el potencial de ayudar a un razonador a lograr un objetivo o un conjunto de objetivos con mayor facilidad en el

futuro o que advierten sobre la posibilidad de un fracaso o señalan un problema imprevisto.

**Figura 1.** Una visión orientada al proceso del ciclo de adaptación del CBR



Fuente: Basada en Aamodt y Plaza (1994) y Loera *et al.* (2019)

En la figura 1, las tareas se muestran con los nombres de los nodos en negrita, mientras que los métodos están en cursiva. El extremo de la imagen encarna varias descomposiciones de la tarea en cuestión; por ejemplo, la tarea de aprendizaje y resolución de problemas de nivel superior se divide en cuatro tareas, que corresponden a los cuatro procesos de búsqueda, reutilización, control y almacenamiento. Para lograr el nivel más alto de meta se deben completar las cuatro tareas. En cambio, la tarea de búsqueda se divide en tareas de identificación, búsqueda, recopilación y selección. Los métodos de cada tarea se refieren a diferentes formas de realizarla. Un método que define un algoritmo que identifica y controla la ejecución de una subtarea, utilizando el conocimiento y la información necesarios. Por ejemplo, en el caso de la tarea asignada por el jefe (recuerde que se trata de resolver problemas y aprender de la experiencia), la forma de lograrlo es pensar con base en la situación.

## **CBR en una cadena de suministro**

Lei y Su (2018) mencionan que cualquier modo típico de distribución de, contiene elementos como el canal de entregas, la programación del vehículo y la ubicación del almacén juegan un papel importante en el rendimiento de la entrega. La toma de decisiones eficaz en la cadena de suministro requiere dos tipos de modelos matemáticos: los descriptivos y los de optimización. Los primeros tienen por objeto lograr una mejor comprensión de las relaciones funcionales en una empresa. Los descriptivos de ejemplo incluyen modelos de previsión, relaciones de costos, relaciones de utilización de recursos y modelos de simulación. Los modelos de optimización ayudan a los directivos a tomar mejores decisiones. Estos modelos examinan interacciones complejas para generar las pautas que hacen que una cadena de suministro sea viable. Este tipo de modelo matemático se utiliza para optimizar diversos aspectos de una empresa, como la programación de la producción y distribución, la planificación de la producción, la logística y los procesos tácticos y estratégicos.

Se adopta un enfoque basado en la CBR por varias razones. En primer lugar, permite resolver problemas sin tener que crear soluciones desde cero cada vez. No es necesario definir todas las variables y sus limitaciones, y sus relaciones cada vez que necesitamos ejecutar los modelos para las soluciones. En segundo lugar, el CBR es flexible en el manejo de la incertidumbre de la demanda y la oferta. En tercer lugar, la CBR aprovecha los conocimientos de una empresa, es decir, los casos históricos, que aportan una ventaja competitiva a las empresas de una cadena de suministro. Según la visión de la empresa basada en los recursos, los modelos de optimización son recursos directos e indirectos. La CBR ayuda a los administradores de la cadena de suministro a aprovechar los conocimientos organizativos únicos incorporados en cada caso histórico al tiempo que adoptan decisiones operacionales y estratégicas.

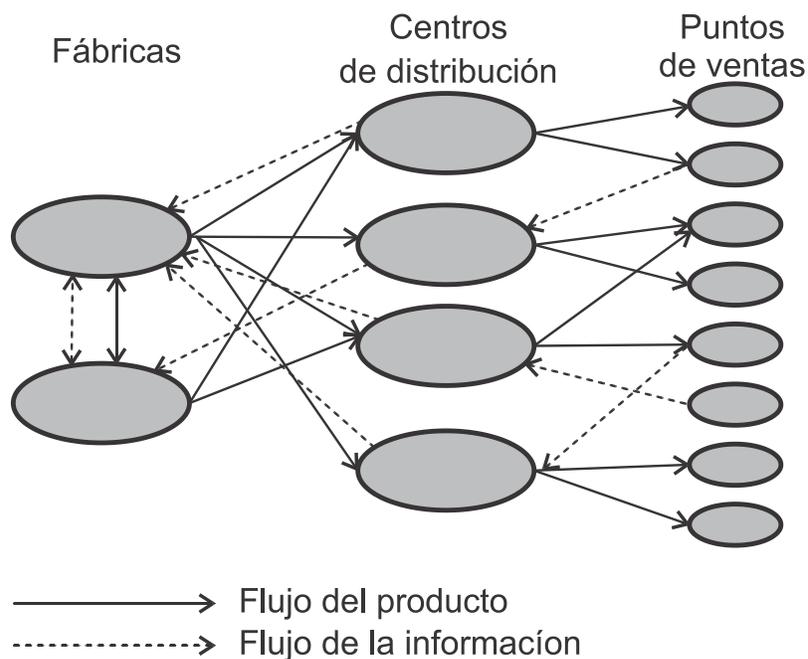
## **CBR aplicado a la toma de decisiones de distribución**

Los intereses en los modelos de cadenas de suministro han estado presentes durante muchos decenios debido a su papel esencial para facilitar las actividades comerciales de una empresa, ya sean operacionales o estratégicas. Los modelos de cadenas de suministro, en primer lugar, son elementos necesarios para apoyar la adopción de decisiones basadas en hechos para el diseño y el funcionamiento de las cadenas de suministro. La adopción de decisiones basada en hechos se sustenta en modelos de datos para analizar los problemas de planificación de la cadena de suministro. En segundo lugar, las empresas emplean modelos de cadenas de suministro para integrar las decisiones entre las funciones, entre los distintos servicios de la cadena de suministro y a lo largo

del tiempo. Las dimensiones de la integración funcional incluyen las actividades de adquisición, fabricación y distribución en una cadena de suministro.

Los modelos de la cadena de suministro son también un recurso directo porque permiten tomar decisiones de alta calidad que posteriormente generan una ventaja operacional y estratégica para la empresa. A medida que los administradores de la cadena de suministro apliquen esos modelos a diversos problemas, la calidad y la precisión de estos irán mejorando gradualmente. En la figura 2, se muestra el modelo básico de distribución para un supermercado o cadena de suministro escalonada.

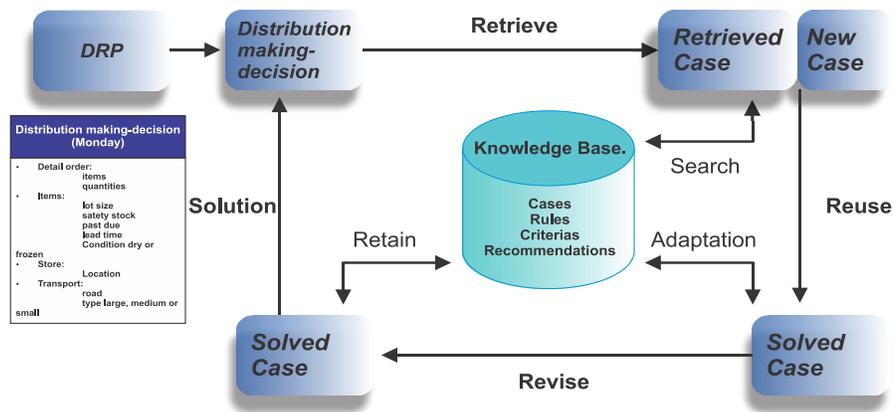
**Figura 2.** Canal de distribución para los supermercados



Fuente: Elaboración propia

El CBR propuesto considera como partida un plan de requerimiento de distribución (DRP) que contenga la previsión de la demanda por tienda, los niveles de inventario actuales tanto del almacén o centro de distribución como los de las diferentes tiendas, así como los inventarios de seguridad, las recomendaciones para la reposición y el plazo de entrega. También incluye información sobre la ubicación de la tienda y el tipo de transporte para optimizar la entrega de los suministros.

**Figura 3.** Esquema de CBR adaptado a la decisión de distribución



Fuente: Extraído de Loera *et al.* (2019)

Dentro de las etapas de CBR adaptado a la decisión de distribución se tiene lo siguiente (figura 3):

- Caso de representación
  - La representación de los casos se basa en los elementos de DRP para cada día de la semana. Para este caso, se incluyen detalles del pedido, como los artículos y las cantidades requeridas por las tiendas, así como las características propiamente dichas, como el tamaño del lote, las existencias de seguridad, el plazo de entrega y las condiciones inherentes al artículo: si se trata de una carga seca o de cadena de frío. En la representación del caso también se estipula la ubicación del almacén, el tipo de transporte y la limitación de la capacidad, es decir, el número de trabajadores y el transporte disponible.
- Caso de indización
  - Es necesario que la aplicación utilice índices en cada caso para elegir fácilmente el más adecuado. Para este escenario, el detalle del orden y las limitaciones de capacidad se utilizaron para clasificar los casos de toma de decisiones de distribución.
- Caso recuperado
  - Para recuperar un caso se utilizó un modelo de clasificación: los K vecinos más cercanos o K-NN (por sus siglas en inglés, *K nearest neighbours*) que compare los índices del nuevo caso con otros, es decir, toma las características de la orden y las limitaciones de capacidad. Una vez tomados los

posibles casos, se comparan los vectores de respuesta de los casos similares con el caso actual y se eligen los más similares.

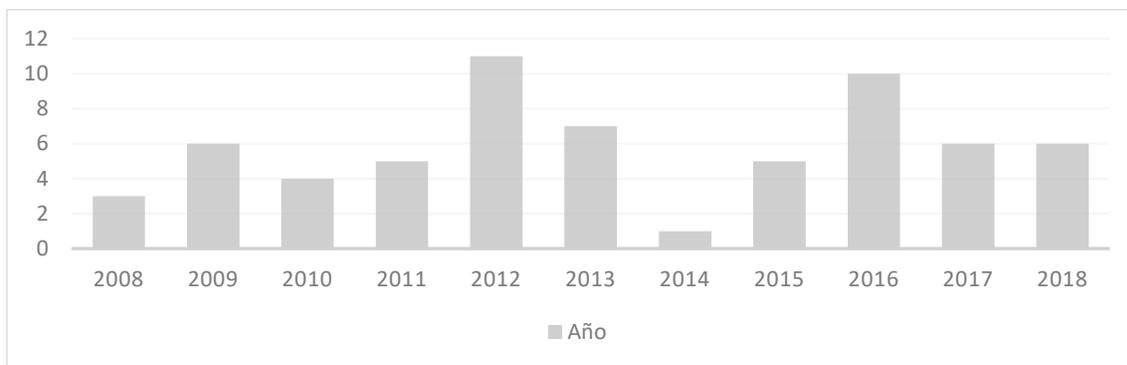
- Reutilización y adaptación del caso
  - Una vez obtenidos los casos más apropiados o similares, se analizan los criterios y recomendaciones de estos. De acuerdo con estos criterios, las recomendaciones reales se asignarán al caso actual.
- Caso de revisión y retención
  - Se analiza el nuevo caso y, de acuerdo con las recomendaciones, se decide si se almacenará en el caso base. Si es diferente de otro, entonces se almacena; de lo contrario, se descarta.

## **Materiales y métodos**

Este apartado presenta los materiales y métodos seleccionados para esta investigación. La teoría expuesta tiene tópicos de sistemas expertos y bases de conocimiento, sistemas de razonamiento sustentados en casos aplicados a la gestión de la cadena de suministro, concretamente a la planeación de la distribución en una cadena de suministros escalonada, para mejorar el proceso de la toma de decisiones. Para este estudio, las cadenas de búsqueda incluyeron “DRP” o “planeación de requerimientos de distribución”, “inteligencia artificial” y “palabras clave”. Las palabras clave utilizadas fueron “cadena de suministro”, “distribución”, “comercialización” y “logística”, que se extrajeron de la definición exhaustiva de CS de Boyer y Stock (2009).

La selección y evaluación de las fuentes fueron relativamente amplias para asegurar que se identificaran los documentos que adoptaran diferentes taxonomías. Teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión de la búsqueda piloto, se identificaron 758 artículos. Se incluyeron criterios de selección como los siguientes: 1) el artículo está escrito en inglés, 2) emplea la IA como herramienta/perspectiva/enfoque principal, y 3) contribuye al campo del CS y la distribución de bienes de consumo.

**Figura 4.** Distribución de las investigaciones en el tiempo



Fuente: Elaboración propia

El periodo de tiempo de la revisión fue de 2008 a 2018, y la bibliografía se obtuvo de revistas y actas de conferencias revisadas por homólogos mediante una búsqueda en la base de datos. En la tabla 1 se muestran las técnicas de inteligencia encontradas en los 64 artículos.

**Tabla 1.** Frecuencias totales de las técnicas IA

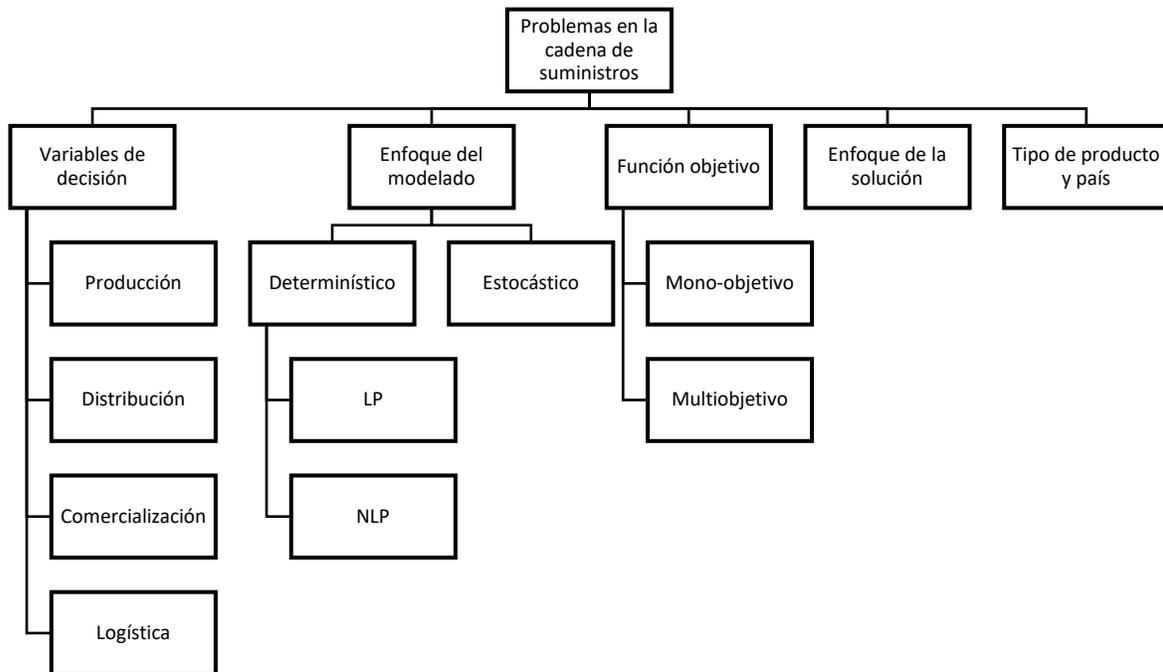
| Técnicas IA                                 | Frecuencia |
|---------------------------------------------|------------|
| Redes neuronales artificiales               | 18         |
| Modelos de lógica difusa                    | 12         |
| Sistemas basados en agente/multiagentes     | 9          |
| Algoritmos genéticos                        | 7          |
| Formas generales de inteligencia artificial | 7          |
| Minería de datos                            | 4          |
| Razonamiento basado en casos                | 4          |
| Inteligencia de enjambre                    | 3          |
| Templado simulado                           | 2          |
| Support vector machine                      | 2          |
| Planeación automática                       | 2          |
| Arboles de decisión                         | 2          |
| Reglas de asociación                        | 1          |
| Modelo de árbol                             | 1          |
| Hill climbing                               | 1          |
| Clustering de k-medios                      | 1          |
| Heurística                                  | 1          |
| Sistemas expertos                           | 1          |
| Simulación estocástica                      | 1          |
| Programación de robots                      | 1          |
| Redes bayesianas                            | 1          |
| Modelos gaussianos                          | 1          |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Razonamiento basado en reglas | 1 |
| Modelo de Físarum             | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Para la realización del análisis de los datos relacionados con los modelos de programación lineal entera mixta (MILP) se clarificó el tratado de la revisión de la literatura considerando una adaptación de una estructura de clasificación de los problemas de la cadena de suministro propuesta por Paam *et al.* (2016) en relaciona con estos modelos (figura 5).

**Figura 5.** Estructura de clasificación de los problemas de la cadena de suministro. LP, programación lineal; MILP, programación lineal entera-mixta



Fuente: Adaptada de Paam *et al.* (2016)

Se rastrearon documentos desde 1997 al 2018, con lo cual se obtuvieron los resultados de la tabla 2:

**Tabla 2.** Modelos y enfoques de solución aplicados por los problemas de la cadena de suministro de 1997 al 2018

| Autor                   | Año   | Enfoques de modelización determinístico |      | Soluciones propuestas                                        |
|-------------------------|-------|-----------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------|
|                         |       | LP                                      | MILP |                                                              |
| Maia <i>et al.</i>      | 1997  |                                         | ✓    | Branch and Bound algorithm-Lindo solver                      |
| Miller <i>et al.</i>    | 1997  | ✓                                       |      | Zimmerman's approach                                         |
| Vitoriano <i>et al.</i> | 2003  | ✓                                       |      | CPLEX solver                                                 |
| Blanco <i>et al.</i>    | 2005  |                                         | ✓    | GAMS                                                         |
| Caixeta-Filho           | 2006  | ✓                                       |      | GAMS                                                         |
| Li <i>et al.</i>        | 2006  | ✓                                       |      | Dynamic simulation                                           |
| Cholette                | 2007  |                                         | ✓    | GAMS, GLPK solver                                            |
| Osvald y Stirn          | 2008  |                                         | ✓    | Tabu search algorithm                                        |
| Ferrer <i>et al.</i>    | 2008  |                                         | ✓    | AMPEL-CPLEX and GLPK solver                                  |
| Arnaout y Maatouk       | 2010  | ✓                                       |      | Branch and bound algorithm-Lingo solver/ Heuristic algorithm |
| Ahumada y Villalobos    | 2011a |                                         | ✓    | Branch and bound algorithm-CPLEX solver                      |
| Ahumada y Villalobos    | 2011b |                                         | ✓    | AMPEL-CPLEX solver                                           |
| Rong <i>et al.</i>      | 2011  |                                         | ✓    | CPLEX solver                                                 |
| Zamarripa <i>et al.</i> | 2012a |                                         | ✓    | Genetic algorithm (GA)                                       |
| Zamarripa <i>et al.</i> | 2012b |                                         | ✓    | Games Theory                                                 |
| Banaeian <i>et al.</i>  | 2012  | ✓                                       |      | Data envelopment analysis (DEA) methodology                  |
| Catalá <i>et al.</i>    | 2013  |                                         | ✓    | GAMS-CPLEX solver                                            |
| Munhoz y Morabito       | 2014  | ✓                                       |      | GAMS-CPLEX solver                                            |
| Govindan <i>et al.</i>  | 2014  |                                         | ✓    | Robust multi-objective metaheuristic                         |
| Keizer <i>et al.</i>    | 2015  |                                         | ✓    | Discrete Event SIM/ CPLEX solver                             |
| Ghezavati <i>et al.</i> | 2015  |                                         | ✓    | Benders' decomposition algorithm/ GAMSCPLEX solver           |

|                             |      |          |           |                                                                                               |
|-----------------------------|------|----------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ghatrehsamani <i>et al.</i> | 2016 | ✓        |           | Ordinary Least Square method (OLS)/ marginal physical productivity (MPP) method               |
| Varsei y Polyakovskiy       | 2016 |          | ✓         | The analytic hierarchy process (AHP)/Augmented $\epsilon$ -constraint method/<br>CPLEX solver |
| Catalá <i>et al.</i>        | 2016 |          | ✓         | GAMS-CPLEX solver                                                                             |
| Wladimir <i>et al.</i>      | 2017 |          | ✓         | CPLEX solver                                                                                  |
| Rafiei <i>et al.</i>        | 2018 |          | ✓         | GAMS-CPLEX solver                                                                             |
| Total                       |      | <b>8</b> | <b>18</b> |                                                                                               |

Fuente: Elaboración propia

## Resultados y discusión

Para lograr un nivel aceptable de precisión en la aplicación de los criterios de selección, se revisó una muestra inicial de 50 resúmenes por dos revisores, con lo que se verificó la fiabilidad de la intercalación a lo largo del proceso. La selección de los artículos se concretó en función de los criterios: se compararon y discutieron los resultados y se resolvieron las cuestiones en caso de desacuerdo (Toorajipour *et al.*, 2021). La aplicación de estos criterios redujo a 64 el número de artículos elegidos para su análisis y síntesis. Este proceso se destaca en la tabla 3. Los números sin paréntesis muestran los resultados iniciales después de la búsqueda en la base de datos y la aplicación de los criterios de inclusión/exclusión de la búsqueda piloto, mientras que los números entre paréntesis son los artículos seleccionados después de aplicar el segundo conjunto de criterios.

**Tabla 3.** Resultados de la investigación

|                       | Science direct | Esmerald insight               | JSTOR    | Wiley on-line library | Taylor & Francis |              |
|-----------------------|----------------|--------------------------------|----------|-----------------------|------------------|--------------|
| Subcampos             | <b>DRP</b>     | <b>Inteligencia artificial</b> |          |                       |                  | <b>Total</b> |
| Cadena de suministros | 209→ (14)      | 23→ (6)                        | 94→ (1)  | 112→ (0)              | 5→ (2)           | 50→ (20)     |
| Producción            | 25→ (15)       | 5→ (2)                         | 15→ (1)  | 1→ (0)                | 4→ (2)           | 50→ (20)     |
| Comercialización      | 16→ (10)       | 22→ (1)                        | 75→ (1)  | 44→ (1)               | 3→ (2)           | 160→ (15)    |
| Logística             | 44→ (3)        | 5→ (2)                         | 41→ (0)  | 13→ (0)               | 2→ (1)           | 105→ (6)     |
| Total                 | 294→ (42)      | 55→ (11)                       | 225→ (3) | 170→ (1)              | 14→ (7)          | 758→ (64)    |

Fuente: Elaboración propia

De los 64 artículos identificados para su revisión, 14 contribuyen a la comercialización, 6 a la logística, 23 a la producción y 21 al ámbito general de la cadena de suministro. Para analizar los 64 artículos se desglosan en partes constitutivas basadas en el siguiente conjunto específico de características: el campo de la CS y planeación de la distribución del estudio (es decir, la cadena de suministro, la producción, la comercialización y la logística); el (los) subcampo(s) respectivo(s) del estudio; la (las) técnica(s) de IA utilizada(s); los resultados y conclusiones; y la planeación de la distribución que el estudio pretende mejorar. Para la síntesis, el esfuerzo se enfocó por identificar y describir las asociaciones de las diferentes características. En la tabla 4 se puede observar que la literatura tiene una orientación experimental/práctica, ya que la mayoría de los resultados adoptan formas similares; por la misma razón, se considera que la logística tiene una orientación experimental/práctica. Además, mientras que aproximadamente 25 % de la literatura de producción produjo resultados conceptuales/filosóficos, el grueso de los resultados en este campo son experimentales/prácticos. Por último, el CS, con menos de 25 % de los resultados conceptuales/filosóficos, se considera experimental/práctico.

**Tabla 4.** Resultados según el ámbito o aplicación

| Campo            | Resultado        | Frecuencia | %    |
|------------------|------------------|------------|------|
| Comercialización | Modelo           | 4          | 28.6 |
|                  | Enfoque          | 3          | 21.4 |
|                  | Sistema          | 2          | 14.2 |
|                  | Metodología      | 2          | 14.2 |
|                  | Marco de trabajo | 1          | 7.1  |

|                      |                           |   |      |
|----------------------|---------------------------|---|------|
|                      | Método                    | 1 | 7.1  |
|                      | Revisión de la literatura | 1 | 7.1  |
| Logística            | Sistema                   | 4 | 57.1 |
|                      | Enfoque                   | 2 | 28.6 |
|                      | Marco de trabajo          | 1 | 14.3 |
| Producción           | Enfoque                   | 6 | 26.1 |
|                      | Sistema                   | 4 | 17.4 |
|                      | Metodología               | 2 | 8.7  |
|                      | Marco de trabajo          | 2 | 8.7  |
|                      | Aplicación y comparación  | 1 | 4.3  |
|                      | Escenario de aplicación   | 1 | 4.3  |
|                      | Aplicaciones y ejemplos   | 1 | 4.3  |
|                      | Arquitectura              | 1 | 4.3  |
|                      | Modelo                    | 1 | 4.3  |
|                      | Concepto                  | 1 | 4.3  |
|                      | Concepto y aplicaciones   | 1 | 4.3  |
|                      | Herramienta de evaluación | 1 | 4.3  |
|                      | Estudio comparativo       | 1 | 4.3  |
| Cadena de suministro | Modelo                    | 6 | 30.0 |
|                      | Sistema                   | 4 | 20.0 |
|                      | Método                    | 3 | 15.0 |
|                      | Algoritmo                 | 2 | 10.0 |
|                      | Pronostico                | 1 | 5.0  |
|                      | Ontología                 | 1 | 5.0  |
|                      | Revisión de la literatura | 1 | 5.0  |
|                      | Exploración               | 1 | 5.0  |
|                      | Marco de trabajo          | 1 | 5.0  |

Fuente: Elaboración propia

Un problema de planificación, y sobre todo de planificación de la distribución de productos de consumo, es un inconveniente de naturaleza MILP, donde hay un número finito de centros de fabricación, que suministra un número finito de espacios de distribución y de estos se proveen sus productos a un número finito de centros de ventas; el número de variables enteras (o binarias, es decir, 1 si el nodo está abierto, y 0 si el nodo está cerrando la instalación) es grande, por lo que enfrentamos un gran problema combinatorio, y de acuerdo con un análisis de complejidad, encontramos que es tiempo polinomial no determinista (NP) completo. Por otro lado, las variables continuas se utilizan para describir las condiciones de la demanda de los productos de los clientes finales hacia los centros de distribución, así como las distancias entre las instalaciones y los costos asociados con ellas.

En la última década se ha observado que la demanda de bienes de consumo continúa aumentando y esta tendencia no cambiará (Tarallo *et al.*, 2019), por lo que la distribución de estos seguirá la misma tendencia. La tabla 5 muestra el resumen de varias aplicaciones MILP de problemas de planificación encontrados en la literatura: Pan *et al.* (2019) y Paam *et al.* (2016) mencionan que MILP es un enfoque dominante para modelar y optimizar la planificación. La razón de esto es la capacidad de MILP para modelar y resolver problemas del mundo real.

**Tabla 5.** Aplicaciones MILP a problemas de planificación

| Año  | Tópico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Referencia                     |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 2013 | Montagna <i>et al.</i> proposed an efficient approach of MILP for short-term planning of the operations of mixing and distribution of refined products                                                                                                                                                                                                                                       | Montagna <i>et al.</i> (2013)  |
| 2013 | Catalá <i>et al.</i> addressed strategic planning in a pome fruit farm, including different planting densities with a focus on farm restructuring.                                                                                                                                                                                                                                           | Catalá <i>et al.</i> (2013)    |
| 2016 | Varsei and Polyakovskiy (2016) presented a multi-objective programming model of mixed integers for sustainable development of the wine industry supply chain in Australia with three objective functions of minimizing fixed and variable costs, minimizing the total greenhouse gas emissions due to transport activities and maximization of the social sustainability of the supply chain | Varsei y Polyakovskiy (2016)   |
| 2016 | Bortolini <i>et al.</i> presented a three-objective function linear model for distribution of fresh food with different modes of transport.                                                                                                                                                                                                                                                  | Bortolini <i>et al.</i> (2016) |
| 2016 | Paam <i>et al.</i> proposed Planning Models to Optimize the Agri-Fresh Food Supply Chain for Loss Minimization and mentions that the reason for this is LP's ability to model and solve real-world problems.                                                                                                                                                                                 | Paam <i>et al.</i> (2016)      |

Fuente: Elaboración propia

A partir de la revisión de la evolución de la logística y cadena de suministros se han descubierto carencias en el área donde se necesitan tecnologías avanzadas para optimizar los procesos de distribución de bienes y servicios y asignar los recursos de forma razonable. Por lo tanto, un sistema experto es beneficioso debido a que puede utilizar la cantidad masiva de datos de la demanda de los productos, capacidades de almacenamiento y fabricación, así como costos asociados a estos, y transferir estos datos a un conocimiento práctico para gestionar las operaciones logísticas. Se demostró la brecha existente de la falta de sistema experto basados en la optimización y en el razonamiento en el área, por lo que se concluye que el enfoque basado en el razonamiento, en particular el enfoque CBR, y del CBR integrado con BN, es adecuado para construir un sistema experto para problemas de planeación de la distribución de bienes y servicios.

## Referencias

- Aamodt, A. and Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications. IOS Press*, 7(1), 39-59
- Ali, M., Deo, R. C., Downs, N. J. and Maraseni, T. (2018). Multi-stage committee based Extreme Learning Machine model incorporating the influence of climate parameters and seasonality on drought forecasting. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 149-165. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.013>
- Biswas, S. and Narahari, Y. (2004). Object Oriented Modeling and Decision Support for Supply Chains. *European Journal of Operational Research*, 153(4), 704–726.
- Bortolini, M., Faccio, M., Ferrari, E., Gamberi, M. and Pilati, F. (2016). Fresh food sustainable distribution: cost, delivery time and carbon footprint three-objective optimization. *J. Food Eng.*, 174, 56–67.
- Catalá, L. P., Moreno, M. S., Blanco, A. M. and Bandoni, J. A. (2016). A bi-objective optimization model for tactical planning in the pome fruit industry supply chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 130.
- Catalá, L. P., Durand, G. A., Blanco, A. M. and Alberto, B. J. (2013). Mathematical model for strategic planning optimization in the pome fruit industry. *Agric. Syst.*, 115, 63-71.
- Carlsson, D. and Ronnqvist, M. (2005). Supply chain management in forestry – Case studies at Sodra Cell AB. *European Journal of Operational Research*, 163, 589–616.
- Chan, F. and Vikas, K. (2009). Performance optimization of a leagility inspired supply chain model: a CFGTSA algorithm-based approach. *International Journal of Production Research*, 47(3), 777–799.
- Darwiche, A. (2011). *Modeling and reasoning with Bayesian networks*. Cambridge University Press.
- Elhadi-Bounif, M. and Bourahla, M. (2013). Decision Support Technique for Supply Chain Management. *Journal of Computing and Information Technology - CIT 21, Journal*, 4, 255–268. doi:10.2498/cit.1002172
- Ghorbani, M. A., Deo, R. C., Karimi, V., Kashani, M. H. and Ghorbani, S. (2019). Design and implementation of a hybrid MLP-GSA model with multi-layer Perceptron-gravitational search algorithm for monthly lake water level forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 33(1), 125–147. <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1630-1>
- Gunasekaran, A., Patel, C. and Tirtiroglu, E. (2001). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations y Production Management*, 21(1/2): 71–87.
- Holmes, D. E. and Jain, L. C. (2009). *Innovations in Bayesian networks: Theory and applications*. Springer.
- Jain, J., Dangayach, G. S. and Banerjee, S. (2010). Supply Chain Management: Literature Review and Some Issues. *Journal of Studies on Manufacturing*, 1(1), 11-25.
- Jiang, Z., Jiang, Y., Wang, Y. et al. (2019). A hybrid approach of rough set and case-based reasoning to remanufacturing process planning. *J Intell Manuf.*, 30(19). <https://doi.org/10.1007/s10845-016-1231-0>
- Kamali, F., Borges, J. A. R., Meuwissen, M. P. M., de Boer, I. J. M. and Oude Lansink, A. G. (2017). Sustainability Assessment of agricultural systems: The validity of expert opinion and

- robustness of a multi-criteria analysis. *Agricultural Systems*, 157, 118–128.  
<https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.07.013>
- Kazemkhanlou, H. and Reza Ahadi, H. (2014). Study of Performance Measurement Practices in Supply Chain Management. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7-9*.
- Korb, K. B and Ann Nicholson, E. (2011). *Bayesian Artificial Intelligence* (2<sup>th</sup> ed.). CRC Press Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b10391>
- Lei, Z. and Su, W. (2018). Rough case-based reasoning system for continues casting. *Tenth International Conference on Machine Vision (ICMV 2017)*. <https://doi.org/10.1117/12.2309438>
- Li, H. and Amini, M. (2012). A Hybrid Optimization Approach to Configure Supply Chain for New Product Diffusion: A Case Study of Multiple-Sourcing Strategy. *International Journal of Production Research*, 50, 3152–3171.
- Loera, A., Ochoa-Zezzati, A., Sanchez, J. and Garcia, H. (2019). Quantification of uncertainty in the planning of the distribution of consumer goods using a Bayesian network. *International Congress on Logistics & Supply Chain (CiLOG), Guadalajara, Jalisco, México*.
- Lofaro, A. (2017). Decision support and autonomous decision systems using “Big data”. *IEEE 11<sup>th</sup> International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*. <https://doi.org/10.1109/icaict.2017.8686953>
- Montagna, Agustín F., Diego C. Cafaro, and Jaime Cerdá (2013). An Efficient MILP Approach for the Short-Term Planning of Refined Products Blending and Distribution Operations. *Computer Aided Chemical Engineering 23<sup>rd</sup> European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, 649–54. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63234-0.50109-3>
- Narahari, Y. and Biswas, S. (2010). *Supply Chain Management: Models and Decision Making*. Computer Science and Automation Indian Institute of Science Bangalore-560 012.  
<http://lcm.csa.iisc.ernet.in/scm/coimbatore/index.html>
- Negnevitsky, M. (2005). *Artificial Intelligence A Guide to Intelligent Systems* (2<sup>nd</sup> ed.). Pearson Education.
- Paam, P., Berretta, R., Heydar, M., Middleton, R. H., García-Flores, R. and Juliano, P. (2016). Planning Models to Optimize the Agri-Fresh Food Supply Chain for Loss Minimization: A Review. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21069-x>
- Pan, R., Dongjin, L., Petek, Y. and Sánchez, L. (2019). System Reliability Assessment Through Bayesian Network Modeling. *Advances in System Reliability Engineering*, 227–41.  
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815906-4.00009-9>
- Pomykalski, J. J., Truszkowski, W. F. and Brown, D. E. (1999). Expert systems. In J. Webster. (ed.), *Wiley Encyclopedia for Electrical and Electronics Engineering*.
- Rafiei, H., Safaei, F. and Rabbani, M. (2018). Integrated production-distribution planning problem in a competition-based four-echelon supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 119, 85–99.
- Shakerian, H., Dehghan Dehnavi, H. and Shateri, F. (2016). A framework for the implementation of knowledge management in supply chain management. *3rd International Conference on New Challenges in Management and Organization: Organization and Leadership*, 2 May 2016, Dubai UAE, Procedia-Social and Behavioral Sciences. doi: 10.1016/j.sbspro.2016.09.022

- Stephanou, H. E. and Sage, A. P. (1987). Perspectives on imperfect information processing. *IEEE Transactions on Systems, Man, & Cybernetics*, 17(5), 780–798.  
<https://doi.org/10.1109/TSMC.1987.6499284>
- Tarallo, E., Getúlio, K. Akabane, C., Shimabukuro, J. and Amancio, D. (2019). Machine Learning in Predicting Demand for Fast-Moving Consumer Goods: An Exploratory Research. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 737–42. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.203>
- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P. and Fischl, M. (2021). Artificial Intelligence in Supply Chain Management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>
- Varsei, M. and Polyakovskiy, S. (2016). *Sustainable Supply Chain Network Design: A Case of the Wine Industry in Australia*. Omega.
- Zamarripa, M., Silvente, J. and España, A. (2012). Supply Chain Planning under Uncertainty using Genetic Algorithms. *22<sup>nd</sup> European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, 457–461.
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Martínez, N. L. and Díaz, V. H. (2020). Applying case-based reasoning and a learning-based adaptation strategy to irrigation scheduling in grape farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105741. doi:10.1016/j.compag.2020.105741
- Zhang, Z., Jiang, Q., Wang, R., Song, L., Zhang, Z., Wei, Y., Mei, T. and Yu, B. (2019). Research on management system of automatic driver decision-making knowledge base for unmanned vehicle. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 33(04), 1959013. <https://doi.org/10.1142/s0218001419590134>

**Modelos y metodologías para la solución  
de problemas de impacto social y productivo**

se termino de editar en noviembre de 2022 en los talleres de Editorial  
Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID A.C.  
Pompeya 2705 Colonia Providencia C.P. 55670 Guadalajara, Jalisco, México.  
Teléfono: 01 (33) 10618187.



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

