

Riii

Revista
Internacional
Ingeniería
Industrial



Febrero 2022 / Agosto 2022
www.aacini.org



Número 1 (3) – febrero de 2022 / agosto de 2022

ISSN 2684-060X

Contenido

EDITORIAL: EL FUTURO DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL: RETOS Y OPORTUNIDADES EN UN CONTEXTO DE INFLEXIÓN GLOBAL - 2 -

DOSIER: EXPERIENCIAS DE INTERNACIONALIZACIÓN EN CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES - 3 -

ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA PARA EL USO DE COBOTS EN PYMES MANUFACTURERAS: UN CASO DE ESTUDIO - 5 -

ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR ALIMENTARIA DE MENÚ SALUDABLE ELABORADO EN PLANTA PILOTO DE FICA-UNSL MEDIANTE PROCESOS SUSTENTABLES Y CON MATERIAS PRIMAS REGIONALES - 21 -

SIX SIGMA Y COSTOS DE CALIDAD EN EL SECTOR VITIVINÍCOLA. EL CASO DE BODEGA CHANDON EN MENDOZA - 39 -

TECNOLOGÍA ANALÍTICA DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA 4.0: REVISIÓN DE ASPECTOS DE IMPORTACIÓN - 59 -

USO DE UN MARCO FORMAL PARA EL MODELADO Y ANÁLISIS DE ORGANIZACIONES - 69 -

Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial y Afines
www.aacini.org / San José 964, PB. A, Capital Federal
Tel: (011) 4304-7997/9960

AACINI – Revista Internacional de Ingeniería Industrial

Número 1 (3) – febrero de 2022 / agosto de 2022

Editor y Director:

Dr. Ing. Mario Lurbe (Universidad Tecnológica Nacional - FRSC - Argentina)

Editores asociados:

Mg. Ing. Antonio Morcela (Universidad Nacional de Mar del Plata - Argentina)

Ing. Juan Saenz (Universidad Tecnológica Nacional - FRSR - Argentina)

Editora invitada (Coordinadora EVI):

Lic. María Laura Gallego (Universidad Tecnológica Nacional – FR San Nicolás - Argentina)

Comité Editorial:

Esp. Ing. Miguel Ángel Risetto (Universidad Tecnológica Nacional - FRA - Argentina)

Dr. Ing. Fernando Salazar Arrieta (Pontificia Universidad Javeriana - Colombia)

Mg. Ing. Iván Baron (Universidad Tecnológica Nacional - FRSR - Argentina)

Dr. Ing. Kazuo Takaeyama (Sociedade Educacional de Santa Catarina - Brasil)

Dra. Ing. Gloria Esther Valdivia Camacho (Universidad Nacional de Ingeniería - Perú)

Mg. Ing. Alejandro Mohamad (Universidad Católica Argentina - Argentina)

MSc Mech Eng., MBA Sergio Oscar Rinland (Equipmake Ltd, UK)

Dr. Ing. Jorge Bauer (Technische Universität Wien - Austria)

Pares Evaluadores del presente número:

Alejandro Mohamad
Ariel Morbidelli
Edgardo Boschin
Guillermo Gutiérrez
Gustavo Ayero
Jacqueline Andrea Bounoure

Jorge Senn
José Ignacio Nicolao García
Luciana Tabone
María Alejandra Esteban
María Aramayo
María Betina Berardi

Editorial: el futuro de la ingeniería industrial: retos y oportunidades en un contexto de inflexión global

**XV COINI 2022 – UNMDP
del 7 al 12 de noviembre**

La AACINI tiene el orgullo de organizar este año el XV COINI en conjunto con la querida y reputada Universidad Nacional de Mar del Plata.

Este XV COINI será bi-modal, por lo que además de la modalidad virtual –tan exitosa en nuestros dos últimos eventos- tendremos la posibilidad de volver a la presencialidad y disfrutar de la afamada Ciudad balnearia de Mar del Plata, emblema turístico de nuestra costa atlántica.

El evento contará con tres ejes de trabajo que se relacionan simbióticamente con la Ingeniería Industrial y con la sede anfitriona. El primero de los ejes nos permitirá discutir estrategias de desarrollo territorial con la mirada puesta en el mar como recurso sustentable; el segundo eje nos propone mirar hacia las estrellas; y el tercer eje nos desafía a mirar el futuro con los pies sobre la tierra.

Además, se llevarán a cabo durante el XV COINI dos momentos de trabajo, uno será la tradicional Reunión de Directores de AACINI, que este año será recibida en el Centro y Colegio de Ingenieros de Mar del Plata; y también se concretará la primera reunión virtual de trabajo en conjunto entre Delegados de AArEII y autoridades de COINI.

Este año se desarrollará la III Jornada Internacional de la Mujer en la ingeniería – III JIM2022, que contará con referentes de la disciplina nacionales y extranjeras.

Una novedad adicional para esta edición de COINI, será el 1° Conversatorio entre Ingeniería Industrial e Informática – 1° CI3, que se desarrollará de manera virtual con acceso libre.

Invitamos a visitar la web del evento: <https://coiniarg.com/>

LIBRO DE MEMORIAS DEL XIV COINI 2021

Como es habitual, todos nuestros congresos cuentan con la publicación de los trabajos recibidos. Estos son revisados por un Comité Científico -integrado por más de cien investigadores nacionales e internacionales- y aprobados por el sistema “doble ciego”. Libro Memorias: XIV Congreso internacional de ingeniería industrial: ISBN: 978-987-4998-86-6

<https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/6524>



Dossier: Experiencias de Internacionalización en Carreras de Ingeniería Industrial y Afines

El Encuentro de Vinculación Internacional (EVI) de la AACINI, es una iniciativa que permite compartir experiencias con buenas prácticas para profundizar en la internacionalización de las currículas de Ingeniería Industrial.

En esta oportunidad se presentaron seis experiencias de internacionalización:

- Lucía Lladser / M. Loecelia Ruvalcaba (investigación Argentina - México)
- M. Angélica Viceconte (Países Bajos, HAN, ExUNS)
- Iván Barón (Argentina - España)
- Leticia Arcusin (UNL, FIQ, intercambio internacional, desde Croacia)
- Jorge Abet (Argentina - Brasil)
- Fernando Salazar Arieta (REDICECIA)

Asimismo, se abrió la posibilidad al debate de los más de 150 participantes, 15 países del mundo (Arabia Saudita, Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Guatemala, México, Panamá, Paraguay, Perú y Venezuela).

Entre los asistentes se contó con la presencia de 56 Directores y Coordinadores de Carrera de Ingeniería Industrial, y 25 autoridades de Universidad, Facultad o Instituto.

La coordinación general estuvo a cargo del vicepresidente de la AACINI, Ing. Jorge Mohamad y por la Lic. María Laura Gallegos (UTN-FRSN).



<https://youtu.be/IoN6zfUK7tI>

COMISIÓN DIRECTIVA AACINI – 2021

Presidente:	Miguel Ángel RISSETTO	UTN FRA/RECT
Vice-Presidente:	Jorge Alejandro MOHAMAD	UCA CABA
Secretario General:	Pedro Alejandro BASARA	UTN/UNDAV
Pro-Secretario:	Julián Edgardo VELA	UTN FRA
Tesorero:	León Natalio HOROWICZ	UBA
Pro-Tesorero:	Rubén Mario LURBE	UTN FRSC
1° Vocal Titular:	Eduardo Juan DE MARIA	UNLAM
2° Vocal Titular:	Adrián Guillermo HERZ	ITBA
4° Vocal Titular:	Federico MENDIZÁBAL	U MORÓN
1° Vocal Suplente:	Diego Gastón SERRA	UNLZ
2° Vocal Suplente:	Nora Lucía LLADSER	UNPSJB
3° Vocal Titular:	Jorge Eduardo ABET	UTN FRC
4° Vocal Suplente:	Rodolfo Iván BARÓN	UTN FRSR
Revisor de Cuentas Tit.:	Graciela Susana NOYA	UNPSJB
Revisor de Cuentas Supl.:	Estela Mónica LOPEZ SARDI	UP

DIRECTORES DE CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

Mg. Ing. Sebastián Mur	Ing. Miguel Benegas	Ing. Oscar Spada
Ing. Gustavo López Hermann	Ing. Gustavo Alberto Lores	Ing. Carmelo Caparelli
Ing. María de las Mercedes Augspach	Ing. Eduardo De María	Lic. Andrés Horacio Reale
Ing. Federico Walas	Ing. Juan González Montero	Ing. José Guillermo Valvano
Mg. Ing. Jorge Alejandro Mohaad	Ing. Lucía Lladser	Ing. Cesar Bustelo
Lic. Pablo Salvático	Ing. Gabriel Crespi	Lic. Jorge García
Esp. Ing. Manuel Luis Zambrano Exhenique	Ing. Luis Oscar Oviedo	Ing. Pablo Quantín
Ing. Macarena Rodríguez Campos	Ing. Marcelo Pelayo	Mg. Ing. Jorge Eduardo Abet
Ing. Alfredo Leiter	Ing. Héctor Martinek	Ing. Ricardo Bosco
Dr. Ing. Anibal Cofone	Ing. Carlos Vecchi	Lic. María Dolores Gómez
Ing. Carlos Papini	Mg. Ing. Antonio Morcela	Ing. Sergio Cortese
Ing. Patricio González Viescas	Ing. Mario Mantulak	Ing. Marcelo Gil
Ing. Federico Mendizabal	Ing. Luis Raúl Feraboli	Ing. David Espíndola
Ing. Oscar Waigold	Ing. Ricardo Jakulika	Ing. Víctor Cogno
Ing. Sergio Alberto Colombo	Mg. Ing. Inés María Ranea Vega	Dr. Ing. Mario Rubén Lurbe
Ing. Sebastián Bianchi	Ing. María Eugenia Rímini	Ing. Aníbal Vallejo
Ing. Enzo Judis	Ing. Pedro Juvenal Basualdo	Ing. Héctor Gallegos
Ing. Raúl Funes	Ing. Facundo Bianciotto	Mg. Ing. Rodolfo Iván Barón
Ing. Pablo De Simone	Ing. Nora Perotti	Ing. Carlos Alzamendi
	Ing. Franco Chiodi	Ing. Alberto Nilo Butler
	Dr. Ing. Diego Cafaro	
	Ing. Adrián Tomkovich	

Análisis de viabilidad técnica para el uso de Cobots en pymes manufactureras: un caso de estudio

Salimbeni, Sergio Duilio

sergio.salimbeni@usal.edu.ar

Universidad del Salvador (Argentina).

Fecha de recepción: 29/12/2021¹

Fecha de aprobación RIII: 26/02/2022

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un marco de referencia y metodología para el estudio de viabilidad técnica del uso de robots colaborativos en pymes manufactureras. De acuerdo con nuestro estudio anterior, el factor técnico es una de las cinco variables de evaluación para la toma de decisiones para la incorporación de Cobots en estaciones de trabajo, siendo ellas: el factor técnico, el ergonómico, la calidad, el económico-financiero y el regulatorio. Este trabajo se ha realizado en tres fases: (1) se realizó un análisis sistemático de literatura en lo referente a el uso de Cobots en pymes y su correspondiente evaluación técnica, (2) se seleccionó el método de evaluación, y (3) se aplicó a un caso de incorporación de un Cobots en una estación de trabajo de una pequeña empresa de manufactura de productos eléctricos en la Argentina. Esta metodología colaboró con la toma de decisiones de la alta gerencia para comprender si las actividades de alimentación, manipulación y montaje de piezas y componentes eléctricos podrían ser realizadas de manera eficiente y eficaz por medio de un brazo robótico.

Palabras Claves: 4^{ta} Revolución Industrial; Industria 4.0; pymes; Cobots; Producción.

¹ **Artículo Premiado** en el XIV COINI 2021

Technical feasibility analysis for the use of Cobots in manufacturing SMEs: a case study

ABSTRACT

The aim of this work was the development of a reference framework and methodology for the technical feasibility study of the use of collaborative robots in manufacturing SMEs. According to our previous study, the technical factor is one of the five evaluation variables for decision-making for the incorporation of Cobots in workstations, being them: the technical factor, the ergonomic factor, the quality, the economic-financial factor. and the regulatory one. This work has been carried out in three phases: (1) a systematic analysis of the literature regarding the use of Cobots in SMEs and its corresponding technical evaluation was carried out, (2) the evaluation method was selected, and (3) the applied to a case of incorporation of a Cobots in a workstation of a small company that manufactures electrical products in Argentina. This methodology collaborated with the decision-making of senior management to understand whether the activities of feeding, handling and assembling electrical parts and components could be carried out efficiently and effectively by means of a robotic arm.

Keywords: 4th Industrial Revolution; Industry 4.0; SME; Cobot; Production.

Análise de viabilidade técnica para o uso de Cobots em PMEs manufatureiras: um estudo de caso

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um framework de referência e metodologia para o estudo de viabilidade técnica do uso de robôs colaborativos em PMEs de manufatura. De acordo com nosso estudo anterior, o fator técnico é uma das cinco variáveis de avaliação para a tomada de decisão para incorporação de Cobots nos postos de trabalho, sendo eles: o fator técnico, o fator ergonômico, a qualidade, o fator econômico-financeiro e o regulatório. Este trabalho foi realizado em três fases: (1) foi realizada uma análise sistemática da literatura sobre o uso de Cobots em PMEs e sua correspondente avaliação técnica, (2) o método de avaliação foi selecionado, e (3) foi aplicado a um caso de incorporação de um Cobots em uma estação de trabalho de uma pequena empresa que manufatura produtos elétricos na Argentina. Essa metodologia colaborou com a tomada de decisão da alta administração para entender se as atividades de alimentação, manuseio e montagem de peças e componentes elétricos poderiam ser realizadas de forma eficiente e eficaz por meio de um braço robótico.

Palavras chave: 4^a Revolução Industrial; Indústria 4.0; PMEs. Cobots; Produção.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se propone el estudio del Factor Técnico en la Toma de Decisiones (TdD) para la incorporación de Robots Colaborativos (Cobots) en estaciones de trabajo, fundamentalmente para pymes manufactureras. Esto se realiza en el contexto de la Industria 4.0 (I4.0) y su estándar, la RAMI4.0 [1].

La metodología utilizada se basó en un enfoque mixto y desde la perspectiva de la ingeniería industrial. El alcance de la investigación fue descriptivo y prescriptivo. La metodología, para el marco teórico: búsqueda y gestión bibliográfica, fichas de lectura, método de mapeo y bibliometría. El resultado de esta investigación es el diseño de una simple herramienta de análisis para la TdD considerando, en este caso, solo el factor técnico. La misma se aplicó a un caso práctico en una pyme argentina de manufactura de productos eléctricos. La fundamentación de este trabajo se basa en que la demanda del mercado es cambiante y las empresas buscan agregar valor para diferenciarse. La I4.0 permite una gestión de extremo a extremo, desde el relevamiento de requerimientos de parte de los clientes, hasta la oferta de nuevos servicios de posventa, todo ello enmarcado dentro de la RAMI4.0.

Como instrumento estratégico, la inclusión de Cobots en celdas de trabajo brindan la flexibilidad y mejora de la calidad y desempeño para enfrentar estas nuevas demandas del mercado.

La I4.0 se basa en tres pilares: personas, procesos y tecnologías. Las nuevas tecnologías pueden aumentar la conectividad a lo largo de las cadenas de valor de fabricación, lo que resulta en una mayor calidad y reducción de costos. Específicamente, el Internet de las Cosas Industrial (IIoT) proporciona beneficios en términos de: optimización de la calidad de procesos y productos, mayor productividad, menor desperdicio y fallas, reducción de desperdicios y auto-optimización de líneas de producción [2] [3].

La necesidad de inversión, los modelos comerciales cambiantes, los problemas con la obtención y análisis de los datos distribuidos en toda la organización, las cuestiones legales de responsabilidad y propiedad intelectual, los estándares y desajustes de habilidades, se encuentran entre los desafíos que deben cumplirse si se quiere obtener beneficios a partir de la utilización de nuevas tecnologías industriales y de manufactura [4].

Estas tecnologías industriales y de manufactura se relacionan con la digitalización. La Transformación Digital (TD), no es sólo tecnología, sino que es el cambio asociado con la aplicación de dichas tecnologías digitales en todos los aspectos de la sociedad humana. El término Digital proviene de dígito, y se refiere al sistema binario, y la acción de la conversión a dicho sistema se denomina Digitalización [5]; de allí la expresión difundida como TD.

Es por ello que la digitalización no es una elección; se trata de una necesidad imperiosa para todas aquellas organizaciones que pretenden transitar el camino hacia la I4.0. Es tal su importancia, que la digitalización es considerada como una de las cinco dimensiones del índice de Economía y Sociedad Digital (DESI - Digital Economy and Society Index) que emplea la Comisión Europea para analizar la evolución de los estados miembros en materia de competitividad digital [6].

Las tecnologías digitales aumentan la productividad de los procesos de fabricación y proporcionan a los trabajadores nuevas habilidades. En la fabricación, la información digital es utilizada ampliamente: la información analógica se convierte en digital para facilitar la lectura de datos provisto por las máquinas; se utilizan bases de datos en la nube para recopilar y almacenarlos; se digitaliza la comunicación entre máquinas, bases de datos y productos y las interfaces gráficas de usuario presentan la información digital a los humanos [7].

Uno de los factores más destacados relacionados con la I4.0 son los denominados Sistemas Ciberfísicos (CPS). Los CPS son la integración de los procesos físicos con los procesos virtuales [8]. Los procesos físicos son monitoreados y controlados a través de computadoras, sensores, software y redes integrados. Estos dos sistemas se comunican y funcionan sincrónicamente entre sí. La capacidad de estos sistemas para interactuar con el mundo físico y expandir sus capacidades a través de la computación, la comunicación y el control, es crucial para futuros avances tecnológicos [9]. Con el continuo desarrollo de diferentes dominios tecnológicos, las aplicaciones CPS se han vuelto fundamentales, ya que logran conectar todos los dispositivos físicos a Internet, fusionando el mundo virtual y físico para lograr un producto y una producción inteligente [10]. El mundo físico, el ciberespacio y las redes de comunicación, son el núcleo de la estructura de la CPS. El mundo físico se refiere a los objetos, procesos y entornos físicos que se van a monitorear o controlar; el ciberespacio representa los sistemas de información como los servicios, aplicaciones y unidades de TdD, mientras que las redes de comunicación se refieren a aquellos componentes que logran vincular el ciberespacio con el mundo físico.

Sin lugar a duda, los robots son una pieza clave para resolver, en gran parte, los desafíos mencionados anteriormente. Es importante distinguir entre Robots Colaborativos (Cobots) y Robots industriales. Su diferencia radica en que el Cobot colabora con los humanos y se ubica en su mismo lugar de trabajo y los sistemas robóticos son colaborativos y cooperativos [11].

Un robot industrial está limitado por jaulas de seguridad y sensores que, a menudo, son costosos e impiden un acceso fácil; por su parte los Cobots son accesibles para operadores humanos, su mantenimiento es más simple, sus costos son menores y su seguridad es mayor [12].

Es muy importante tomar en consideración que gran parte del uso de Cobots, provendrán de estaciones de trabajo ya existentes en las pymes [13], y de allí la importancia de este estudio.

En base a la publicación “Marco de referencia para la incorporación de Cobots en líneas de manufactura” [14], se concluye que la decisión de incorporación de Cobots debe considerar los aspectos (i) técnicos, (ii) ergonómicos, (iii) de calidad, (iv) económicos y (v) de regulaciones laborales, higiene y seguridad. El objetivo del presente trabajo es profundizar el análisis del Factor Técnico.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada se basa en un enfoque mixto [15] y desde la perspectiva de la ingeniería industrial. El alcance de la investigación es exploratorio y descriptivo. El relevamiento de datos para la producción del estado de arte se ha desarrollado en el período febrero de 2020 a julio 2021. La metodología utilizada para la confección del marco teórico ha sido una “búsqueda sistemática de literatura” [16], con fichas de lectura, método de mapeo y técnicas bibliométricas.

Para tal efecto, se han utilizado las herramientas Mendeley™ y VOSviewer™ (Figura 1).

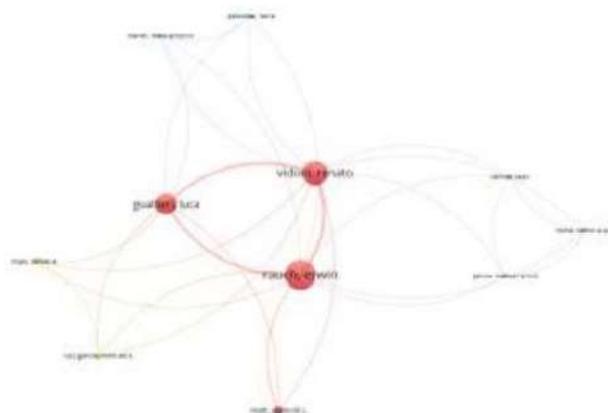


Figura 1. Bibliometría. Visualización en red de principales autores referenciados

El presente proyecto de investigación se ha realizado en tres fases (Figura 2): durante la Fase 1 se realizó una revisión sistemática de la literatura en lo referente a Cobots y métodos de selección para su aplicación en celdas de trabajo; durante la Fase 2 se profundizó el estudio de los factores técnicos a ser considerados para tal fin, generando un marco de referencia para la evaluación de su posible incorporación en estaciones de trabajo manufactureras y en la Fase 3 se aplicó la herramienta de evaluación a un caso práctico en una pyme industrial argentina.



Figura 2. Metodología

En la primera fase, se realizó un screening de 348 documentos de los cuales fueron seleccionados 73 para su análisis, estudiando 29 de ellos en particular. Dicho trabajo se realizó del siguiente modo: (1.1) en bases de datos académicas (Google Académico y Researchgate) con cadena de búsqueda a través de la combinación del operador “o” entre las palabras clave se recogieron las referencias que cumplían con los siguientes criterios: (1.2) fueron publicados en actas de congresos, artículos, revistas, series de libros y libros entre los años 2016 y 2021; (1.3) contenían, al menos, uno de los términos de búsqueda en el resumen, título y / o palabras clave. (1.4) Se eliminaron los duplicados. (1.5) Se descartaron los que no tenían a disposición textos completos. (1.6) Se excluyeron los documentos que definieron la evaluación técnica de Cobots fuera del alcance de este trabajo de investigación. (1.7) Se clasificaron conforme las preguntas de investigación. (1.8) se analizaron los documentos colectados y recopilaron los datos correspondientes de interés para las preguntas de investigación.

Durante la Fase 2 se desarrolló, fundamentalmente a partir de experiencias europeas, un instrumento de evaluación para la conveniencia de la incorporación de un Cobot en una estación de trabajo; y la Fase 3 consistió en la aplicación a un caso de incorporación de un Cobot en una estación de trabajo de una pequeña empresa de manufactura de productos eléctricos en la Argentina.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Cobots

En 2011, el grupo alemán de científicos Acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) presentó por primera vez el término “Industria 4.0” durante la Feria de Hannover, lo que se consideró como el inicio de la cuarta revolución industrial [17] [18] [19].

La I4.0 tiene como objetivo crear fábricas inteligentes, donde las tecnologías de fabricación se actualizan y transforman mediante sistemas ciberfísicos (CPS), Internet de las cosas (IoT) y computación en la nube [20]. Para ingresar a la Industria 4.0, las fábricas del futuro utilizarán tecnología de la información (TI) para digitalizar las operaciones de fabricación y utilizarán aplicaciones descentralizadas para el control de la producción [21].

Estas tecnologías tienen un gran potencial y han acarreado cambios significativos en todos los sectores empresariales. La I4.0 tiene pronosticado ingresos por USD 150 mil millones para el año 2024 [22]. En un trabajo realizado en Italia, el 74,8% de los encuestados, han respondido que consideran a la I4.0 como una oportunidad de cambio el cual revitalizará el sector manufacturero italiano [23].

Conforme estudios realizados, los especialistas [24] aseguran que existe una brecha entre las unidades de fabricación existentes y la necesaria para la I4.0. La introducción de estas nuevas tecnologías y la integración de otros habilitadores de la I4.0 están teniendo un importante impacto sociotécnico [25]. La I4.0, la cual comenzó como resultado de la era de la información y la tecnología, incluye sistemas que reciben, transmiten, evalúan y administran datos. Uno de los aspectos clave es que todos los movimientos de los dispositivos en dichos sistemas se controlan y monitorean en tiempo real [26].

El Cobot es clasificado como un tipo específico de Robot, y este último se encuentra encuadrado a su vez dentro de los denominados CPS. La palabra “Robot” fue introducida en la literatura en 1920 por Karel Čapek, nacido en lo que hoy es la República Checa, en su obra R.U.R. (Rossum's Universal Robots). Dicho término proviene de la palabra checa “robota”, que significa “labor forzada, servicio, esclavo”. Este nombre fue utilizado en el imperio austrohúngaro hasta 1848 [14]. Por su parte, la denominación de Cobot proviene de la contracción de los dos términos en el inglés: “Collaborative Robots”.

La tecnología robótica ha transformado la industria manufacturera desde que se puso en uso el primer robot industrial a principios de los años 1960. Por lo tanto, resulta de gran interés el desarrollo de varios aspectos de los sistemas de robots colaborativos en los que un humano puede hacerse cargo de partes de la tarea que son demasiado complejas o peligrosas, dejándolas para un robot. En consecuencia, en las nuevas configuraciones de fábrica, los humanos y los robots comparten el mismo espacio de trabajo y realizan diferentes tareas de manipulación de objetos de manera colaborativa [27]. La tecnología robótica está mejorando a tal nivel, que actualmente se puede lograr una estrecha colaboración entre humanos y robots. Esto genera nuevas oportunidades en diversas aplicaciones robóticas novedosas, donde personas y robots trabajan juntos y en equipo [28]. Si bien el Cobot es de gran ayuda para el operador, debe tenerse en cuenta que uno de los mayores riesgos entre un robot y su entorno son las colisiones inesperadas [11]. Las celdas de trabajo robóticas tradicionales, compuestas por múltiples robots cooperantes, son actualmente las más frecuentes. De hecho, a pesar de que son una solución más compleja de mantener y recuperar en caso de fallas, presentan varias ventajas, es decir, menos accesorios y tiempo de ciclo reducido; por lo tanto, es comprensible que se estudien sistemas de múltiples operadores y robots, en la medida que los Cobots y los operadores humanos puedan trabajar en colaboración [29]. En las fábricas modernas, una de las tareas principales es cómo garantizar la seguridad y la interacción eficiente del robot y el humano en un entorno dinámico e incierto [30]. Esto es analizado por el Factor Ergonómico del modelo. El desarrollo y la mejora de las tecnologías

utilizadas para el diseño de robots colaborativos, junto con la reducción de la inversión necesaria para su instalación, han propiciado una interesante difusión de estos sistemas cobóticos. Investigaciones recientes han demostrado cómo una programación adecuada de un Cobot puede ser crucial para garantizar un uso exitoso de dicho dispositivo [31].

En la tarea de seleccionar y evaluar la conveniencia de la incorporación de un Cobot en celdas de trabajo, se puede considerar la denominada "Arquitectura 5C" (A5C) definida anteriormente para los CPS. Dicha estructura, propuesta por el autor [32], posee 5 niveles; la misma proporciona una guía paso a paso para desarrollar e implementar un CPS para aplicaciones de manufactura. Sus capas abordan variables correspondientes a: (1) conexión inteligente, (2) conversión de los datos para obtención de información, (3) aplicaciones Cyber como Big Data y Analytics, (4) análisis cognitivo y (5) las autoconfiguraciones. Se observan las 5 capas y sus subcapas en la Figura 3.



Figura 3. Arquitectura 5C para implementaciones CPS

Figura 3. Arquitectura 5C para implementaciones CPS

Cabe destacar que la tecnología de los Cobots no está completamente madura y se encuentra aún evolucionando y es por ello que la estandarización del Cobot se encuentra en etapas incipientes. No obstante, ello, existen algunos estándares de Cobots y se adoptan algunos otros estándares de robótica industrial relevantes para una implementación exitosa y segura de los mismos [33]. El principal estándar internacional de Cobots es la ISO / TS 15066: una especificación de requisitos de seguridad para aplicaciones de robots colaborativos. Sin embargo, la ISO / TS 15066 no es independiente y es parte de una familia de normas ISO más amplia, como la ISO 10218- 2: Industrial Robots enmarcada por la ISO 11161: Sistemas de Manufactura Integrados [33] [34].

Evaluación para la incorporación de Cobots

Conforme el estudio del autor [35] se han identificado tres elementos principales para que un Cobot sea un compañero seguro del operador: (i) monitoreo del entorno, (ii) modelado de las tareas y (iii) planificación [36], pero un aspecto muy importante es el compromiso, el carácter y la motivación de los empleados durante los procesos de implementación de cobot [37].

El monitoreo del entorno requiere, de parte del Cobot, la capacidad de poder mirar, observar en tiempo real, qué es lo que está sucediendo a su alrededor [38]. Por su parte, la planificación y el modelado y simulación de las tareas es una actividad clave para el instrumentador de la solución. Por su parte, [39] asegura que un análisis cualitativo debe realizarse primeramente, considerando el Contexto interno, el externo y el tecnológico.

Se describe a continuación cuáles son los factores generales de evaluación para poder tomar una decisión sobre la conveniencia y viabilidad de instalar un Cobot como colaborador del operador en una estación de trabajo. Basándose en un estudio anterior [14], el cual detalla las variables a considerar al momento de la TdD para la incorporación de un Cobot, se definen los cinco factores clave; ellos son:

- (i) factores técnicos,
- (ii) factores ergonómicos,
- (iii) factores de calidad,
- (iv) factores económicos y
- (v) factores de regulaciones laborales, higiene y seguridad.

Como se cita en aquel estudio, la TdD se realizará con la utilización de cualquier método de TdD multicriterio.

Factor I: Evaluación Técnica.

El estudio de la viabilidad técnica para la introducción de un Cobot en una celda de trabajo, tiene como objetivo investigar si una tarea puede ser realizada por él de manera eficiente, considerando sus limitaciones técnicas de hardware y / o software.

En general, es necesario verificar si cierto tipo de Cobot, equipado con dispositivos estándar, puede realizar la alimentación, manipulación y / o montaje de los componentes involucrados en una celda de trabajo mediante el uso de recursos adecuados. Las mayores limitaciones, en general, no están en el “brazo” sino en los “grippers” (pinzas) del Cobot [40]. No sólo el brazo robótico y sus pinzas son la clave, sino el estudio de las rutas de movimiento que debe realizar [41].

Para esta evaluación técnica se describe el siguiente proceso de análisis [42] [43]: como primer paso se analizan dos aspectos generales: • estudiar si el componente y / o la secuencia de ensamble requieren dos manos para su manejo y • analizar si el componente y / o la secuencia de ensamble requiere habilidades humanas típicas (por ejemplo, percepción táctil, audición y capacidad de interpretar situaciones. Puntualizando el factor técnico, se tienen los siguientes factores y sub-factores:

Factor Técnico:

- Capacidad: Carga útil; Ejes; Alcance; Velocidad; Movilidad; Actuación
- Entrada de partes
- Operación: Alimentación de elemento; Manejo del elemento; Montaje del elemento
- Salida del sub-elaborado

Respecto de esta situación de análisis, el autor [34] considera que la Capacidad es la clave de la evaluación, mientras que el investigador [44], en su trabajo “Capability-based task allocation in human-robot collaboration” asegura que la clave está en el tipo de material a manipular, el autor [27] agrega que el factor crítico es en realidad el agarre. Si se consideraran sistemas de ensamblaje colaborativo multi-robot multi-operador, el conjunto Entrada Salida es particularmente importante [25].

Durante este análisis técnico, existen cuestiones críticas respecto de: (1) la alimentación, (2) el manejo y (3) el ensamble. Algunas de las más importantes según la investigación realizada en laboratorio [45], son las siguientes:

Alimentación:

- El componente es magnético o pegajoso.
- El componente es un nido o enredo.

Manejo:

- El componente no tiene eje de simetría.
- El componente es frágil o delicado.
- El componente es flexible.
- El componente es muy pequeño o grande (en referencia a una mano humana).
- El componente es liviano, por lo que la resistencia del aire crearía problemas en el transporte.
- El componente es resbaladizo.

Ensamble:

- Los componentes no tienen una "superficie de referencia" que simplifique el posicionamiento preciso durante el montaje.
- Los componentes no pueden orientarse fácilmente.
- Los componentes no incluyen características que permitan la auto-alineación durante el Montaje.

4. RESULTADOS

A partir del relevamiento sistemático de literatura y estudio de las diferentes variables a ser consideradas para la evaluación técnica del Cobot más adecuado para colaborar en una estación de trabajo, se ha estudiado el caso de un baño de estaño en una pieza clave de un elemento de protección eléctrico. Es el primer Cobot que esta pyme, situada en Buenos Aires, iba a incorporar, y deseaba comparar entre configuraciones posibles con 3 pinzas diferentes, las cuales fueron denominadas G1, G2 y G3. Se consideraron los 9 factores técnicos y se analizó un único escenario.

Alternativas (Evaluations)

1. Cobot G1
2. Cobot G2
3. Cobot G3

Criterios (Criterion) de evaluación para establecer el ranking de preferencia fueron los siguientes Factores Técnicos, a saber:

1. Carga útil
2. Ejes

3. Alcance
4. Velocidad
5. Movilidad
6. Actuación
7. Alimentación de elemento
8. Manejo del elemento
9. Montaje del elemento

Escenarios: solo 1 (Escenario1).

El software utilizado para la toma de decisión fue el Visual Promethee™, herramienta para análisis de decisiones multicriterio MDCA (Multicriteria Decision Analysis) por el método Promethee y Gaia. La colecta de datos fue por medio de entrevistas en profundidad al operador y al supervisor del área, y por observación directa. Esta observación se desarrolló durante junio de 2021. Se muestra a continuación la matriz de decisión y las características y Tipos de preferencia utilizados:

Tabla 1. Ejemplo de Tabla insertada en el Texto.

Scenario1	Carga	Eje	Alcance	Velocidad	Movilidad	Actuación	Alimenta...	Manejo	Montaje
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences									
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	1,00	2,00	5,00	7,00	10,00	5,00	1,00	10,00	1,00
Preference Fn.	V-shape	Usual	Usual	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q:	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	1,00	n/a	n/a	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics									
Minimum	10,00	10,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00	2,00	8,00
Maximum	10,00	10,00	10,00	5,00	8,00	8,00	8,00	10,00	8,00
Average	10,00	10,00	8,67	5,00	8,00	6,00	8,00	5,67	8,00
Standard Dev.	0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	1,41	0,00	3,30	0,00
Evaluations									
G1	10,00	10,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00
G2	10,00	10,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00	2,00	8,00
G3	10,00	10,00	10,00	5,00	8,00	8,00	8,00	10,00	8,00

Debido a que cada decisor asigna una importancia relativa diferente a cada uno de los criterios seleccionados de acuerdo con la estructura de preferencias, los pesos (weight), o sea, la importancia de cada criterio es asignada por el tomador de la decisión. Es por ello por lo que la solución de un problema multicriterio no depende sólo de la naturaleza de este, sino también del propio decisor. Este último es un aspecto muy importante en el proceso de decisión [46]

Tal como puede observarse en la Tabla 1, la movilidad y el montaje han sido los dos criterios más importantes para el tomador de decisión.

Se observan en la Figura 4 los resultados del análisis, donde se denota claramente que, conforme las preferencias y valoraciones de cada uno de los 9 criterios evaluados, el modelo de pinza G3 es el más adecuado para este tipo de tarea.

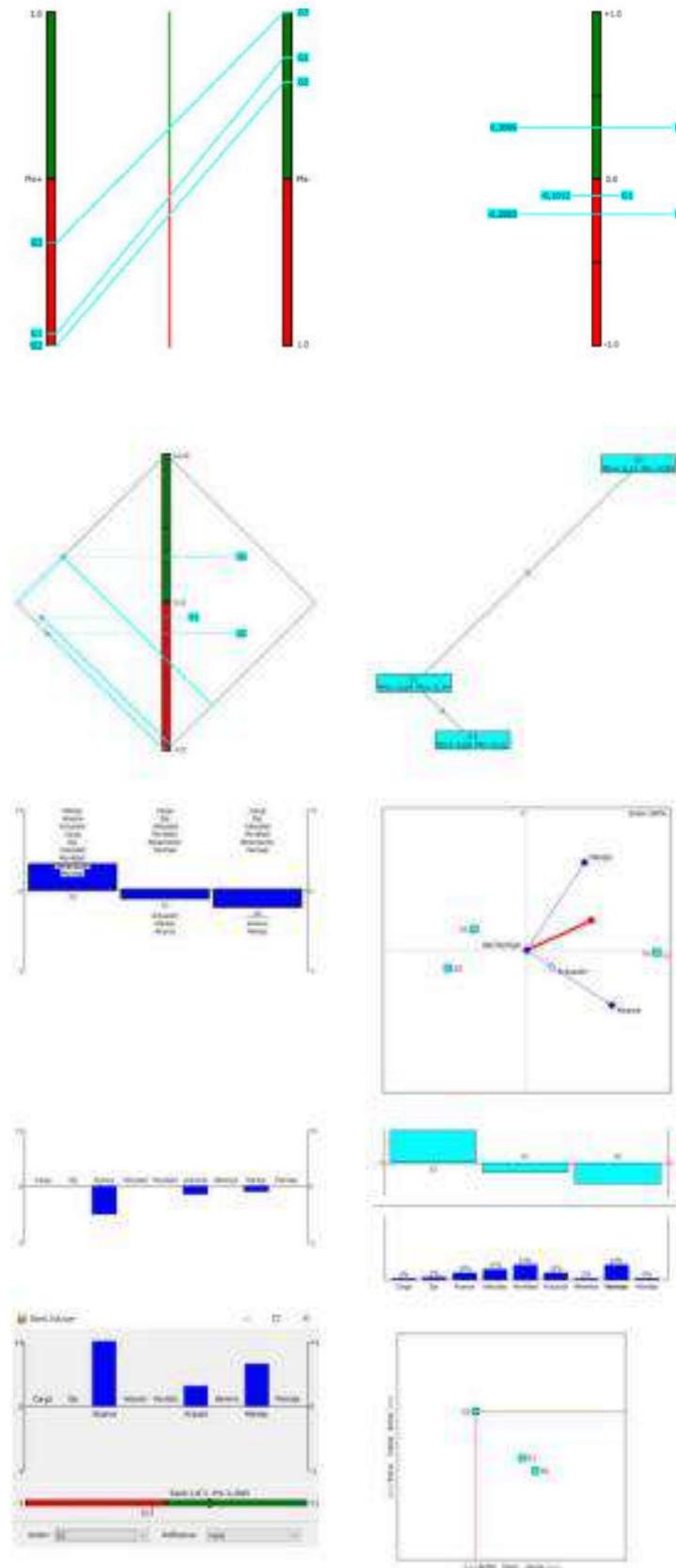


Figura 4. Resultado del análisis de ranking de preferencias

En los criterios de preferencia del tomador de decisión, la pinza G3 es la preferida, situándose claramente alejada de la segunda opción, la G1, y dejando como última alternativa la G2.

Se puede observar en la Figura 5, al robot colaborativo en su fase de testeo y ajuste final, tomando el elemento a tratar desde un soporte y llevándolo y sumergiéndolo en una pequeña cuba.



Figura 5. imágenes del Cobot en período de prueba

Luego de sucesivas pruebas se mejoró el diseño de la “pinza”. Esto fue posible gracias a la utilización de tecnología de la impresión aditiva, la cual permitió un rápido prototipado para las pinzas de prueba.

5. CONCLUSIONES, LIMITACIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

La demanda del mercado cambia rápidamente y las empresas buscan agregar valor para diferenciarse. La I4.0 y sus tecnologías habilitadoras ofrecen una serie de herramientas para adaptarse velozmente a estas nuevas demandas, brindando adaptabilidad, mejora de la calidad y desempeño. La producción flexible es una de ellas y la utilización de Cobots en estaciones de trabajo, fundamentalmente en las pymes, es de gran utilidad.

Los gestores deben evaluar diversos aspectos antes de tomar una decisión sobre la conveniencia, o no, de adquirir e instalar un Cobot en sus líneas de producción o en una celda de trabajo en particular. Cinco son los factores clave de evaluación: (i) factores técnicos, (ii) factores ergonómicos, (iii) factores de calidad, (iv) factores económicos y (v) factores de regulaciones laborales, higiene y seguridad. El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un marco de referencia y metodología para el análisis del Factor Técnico, con el fin de utilizar robots colaborativos en pymes manufactureras. Esta metodología colabora con la toma de decisiones de la alta gerencia para comprender si las actividades de alimentación, manipulación y montaje, Factores Técnicos, pueden ser realizadas de manera eficiente y eficaz por medio de un brazo robótico. Se analizaron 3 posibles pinzas (grippers) para el mejor desempeño de esta tarea en particular. Para facilitar la priorización y selección de la pinza más adecuada se utilizó el método de toma de decisiones multicriterio Promethee.

Las limitaciones encontradas en este trabajo de investigación fueron la falta de pruebas con otro tipo de elementos o partes semielaboradas, como así también la evaluación de tareas en otro tipo de industria manufacturera.

Se propone para investigaciones futuras la validación y utilidad de esta metodología, con sus 9 criterios de evaluación técnica para el uso de Cobots, en tareas de manipulación de objetos más complejos, desde el punto de vista geométrico, y con tareas de encastre.

REFERENCIAS

- [1] Schumacher, Andreas; Nemeth, Tanja and Sihn, Wilfried. (2019). 'Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises', *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 409–414, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.02.110.
- [2] Demartini, Matteo y Tonelli, Flavio. (2018). 'Quality management in the industry 4.0 era', *Proc. Summer Sch. Fr. Turco*, vol. 2018-Septe, pp. 8–14.
- [3] Alcácer, Vitor y Cruz-Machado, Virgilio. (2019). 'Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems', *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 22, no. 3, pp. 899–919, doi: 10.1016/j.jestch.2019.01.006.
- [4] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, 'German Standardsation Roadmap: Industrie 4.0', DIN e. V., p. 146. (2018). [Online]. Available: www.din.de.
- [5] Mittal, Sameer; Romero, David y Wuest Thorsten. (2018). 'Towards a smart manufacturing toolkit for SMEs', *IFIP Adv. Inf. Commun. Technol.*, vol. 540, no. August, pp. 476–487, doi: 10.1007/978-3-030-01614-2_44.
- [6] Sarachaga, Isabel; Burgos, Arantzazu; Iriondo, Nagore; Alvarez, María Luz y Marcos, Marga. (2019). 'INTEGRACIÓN END-TO-END A TRAVÉS DEL MODELO DEL PRODUCTO 4.0', pp. 155–161.
- [7] Zunk, Bernd y Omazic, Amalia. (2021). *European Professors of Industrial Engineering and Management IEM Teaching and Research at the Crossroads of Innovation , Digitalisation and Sustainability Proceedings of the, 1st ed.*, no. 26. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz Technikerstraße 4 8010 Graz Austria.
- [8] Leitão, Paulo; Colombo, Armando y Karnouskos,Stamatis. (2016). 'Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges', *Comput. Ind.*, doi: 10.1016/j.compind.2015.08.004.
- [9] Koçoğlu, Fatma Önay y Demirkol, Denizhan. (2020). *Data in the Context of Industry 4.0*, no. December.
- [10] Romeo, Laura; Petitti, Antonio; Marani, Roberto and Milella, Annalisa. (2020). 'Internet of Robotic Things in Industry 4.0: Applications, Issues and Challenges', *7th Int. Conf. Control. Decis. Inf. Technol. CoDIT 2020*, pp. 177–182, doi: 10.1109/CoDIT49905.2020.9263903.
- [11] Selvaggio, Mario; Cognetti, Marco, Nikolaidis, Stefanos; Ivaldi, Serena y Siciliano, Bruno. (2021). 'Autonomy in physical human-robot interaction: A brief survey', *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 6, no. 4, pp. 7989–7996, doi: 10.1109/LRA.2021.3100603.
- [12] Broum, Tomás y Simon, Michal. (2019). 'Preparation of collaborative robot implementation in the Czech Republic', *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, no. July, pp. 453–460.
- [13] Gualtieri, Luca; Rojas, Rafael; Ruiz Garcia, Manuel; Rauch, Erwin y Vidoni, Renato. (2020). *Implementation of a laboratory case study for intuitive collaboration between man and machine in sme assembly. 2020.*

- [14] Salimbeni, Sergio y Mamani, Daniel. (2020). 'Marco de referencia para la incorporación de Cobots en líneas de manufactura', Podium, vol. 38, no. 38, pp. 159–180, doi: 10.31095/podium.2020.38.10.
- [15] Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; Baptista, Lucio. (2019). Metodología de la Investigación, 5ta ed. México, D.F.: McGraw Hill, 2010.
- [16] Jos, Francisco. (2019). 'Metodología de revisión sistemática de literatura', no. June, doi: 10.5281/zenodo.3249429.
- [17] Matt, Dominik. (2020). Industry 4.0 for SMEs.
- [18] Sommer, Lutz. (2015). 'Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?', J. Ind. Eng. Manag., vol. 8, no. 5, pp. 1512–1532, doi: 10.3926/jiem.1470.
- [19] Rauch, Erwin. (2020). Industry 4.0+: The Next Level of Intelligent and Self-optimizing Factories. Springer International Publishing.
- [20] Zhong, Ray; Xu, Xun; Klotz, Eberhard y Newman, Stephen. (2017). 'Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review', Engineering, vol. 3, no. 5, pp. 616–630, doi: 10.1016/J.ENG.2017.05.015.
- [21] Mantravadi, Soujanya y Møller, Charles. (2019). 'An overview of next-generation manufacturing execution systems - How important is MES for industry 4.0', Procedia Manuf., vol. 30, pp. 588–595, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.083.
- [22] Ammar, Mohd; Haleem, Abid; Javaid, Mohd; Walia, Rinku y Bahl, Shashi. (2021). 'Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies', Mater. Today Proc., vol. 45, no. xxxx, pp. 5089–5096, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.585.
- [23] Bagnoli, Carlo; Bravin, Alessia; Massaro, Maurizio y Vignotto, Alessandra. (2018). Business Model 4.0 I modelli di business vincenti per le imprese italiane nella quarta rivoluzione industriale, 1st ed. Venezia: Edizioni Ca`Foscari.
- [24] Gadre, Monika y Deoskar, Aruna. (2020). 'Industry 4 . 0 – Digital Transformation , Challenges and Benefits', Int. J. Futur. Gener. Commun. Netw., vol. 13, no. 2, pp. 139–149.
- [25] Kadir, Bzhwen. (2020). 'Designing new ways of working in Industry 4.0'.
- [26] Ediz, Calga. (2021). 'Metin Madenciligi ile Endüstri 4 . 0 ' da Yeni Eğilimler', no. January, pp. 0–14, doi: 10.25272/j.2149-8539.2021.7.1.01.
- [27] Kragic, Danica; Gustafson, Joakim; Karaoguz, Hakan; Jensfelt, Patric y Krug, Robert. (2018). 'Interactive, collaborative robots: Challenges and opportunities', IJCAI Int. Jt. Conf. Artif. Intell., vol. 2018- July, pp. 18–25, doi: 10.24963/ijcai.2018/3.
- [28] Munzer, Thibaut; Toussaint, Marc y Lopes, Manuel. (2017). 'Preference learning on the execution of collaborative human-robot tasks', Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom., pp. 879–885, doi: 10.1109/ICRA.2017.7989108.

- [29] Boschetti, Giovanni; Bottin, Matteo; Faccio, Maurizio y Minto, Riccardo. (2021). 'Multi-robot multi-operator collaborative assembly systems: a performance evaluation model', *J. Intell. Manuf.*, vol. 32, no. 5, pp. 1455–1470, doi: 10.1007/s10845-020-01714-7.
- [30] Galin, Rinat y Meshcheryakov, Román. (2019). 'Automation and robotics in the context of Industry 4.0: The shift to collaborative robots', *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 537, no. 3, pp. 2–7, doi: 10.1088/1757-899X/537/3/032073.
- [31] Fager, Patrik; Calzavara, Martina y Sgarbossa, Fabio. (2020). 'Modelling time efficiency of cobot-supported kit preparation', *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 106, no. 5–6, pp. 2227–2241, doi: 10.1007/s00170-019-04679-x.
- [32] Lee, Jay; Bagheri, Behrad y Kao, Hung An. (2015). 'A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems', *Manuf. Lett.*, vol. 3, no. December, pp. 18–23, 2015, doi: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
- [33] Matthias, Björn y Reisinger, Thomas. (2016). 'Example application of ISO/TS 15066 to a collaborative assembly scenario', *47th Int. Symp. Robot. ISR 2016*, no. June, pp. 88–92.
- [34] Cohen, Yuval; Shoval, Shraga; Faccio, Maurizio y Minto, Riccardo. (2021). 'Deploying cobots in collaborative systems: major considerations and productivity analysis', *Int. J. Prod. Res.*, no. January, pp. 0–35, doi: 10.1080/00207543.2020.1870758.
- [35] Mark, Benedikt y Rauch, Erwin. (2021). *Implementing Industry 4.0 in SMEs*, no. May. 2021.
- [36] Modrák, Vladimír y Šoltysová, Zuzana. (2020). *Development of an Organizational Maturity Model in Terms of Mass Customization*.
- [37] Lambrechts, Wim; Klaver, Jessica; Koudijzer, Lennart y Semeijn, Janjaap. (2021). 'Human Factors Influencing the Implementation of Cobots in High Volume Distribution Centres', *Logistics*, vol. 5, no. 2, p. 32, doi: 10.3390/logistics5020032.
- [38] Galin, Rinat; Meshcheryakov, Roman; Kamesheva, Saniya y Samoshina, Anna. (2020). 'Cobots and the benefits of their implementation in intelligent manufacturing', *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 862, no. 3, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/862/3/032075.
- [39] Correia Simões, Ana; Soares, António y Barros, Ana. (2020). 'Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations', *J. Eng. Technol. Manag. - JET-M*, vol. 57, no. March 2019, p. 101574, doi: 10.1016/j.jengtecman.2020.101574.
- [40] Pauliková, Alena; Babelová, Zdenka y Ubárová, Monika. (2021). 'Analysis of the impact of human–cobot collaborative manufacturing implementation on the occupational health and safety and the quality requirements', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 4, pp. 1–15, doi: 10.3390/ijerph18041927.
- [41] Djuric, Ana; Rickli, J L y Urbanic, R J. (2016). 'A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems', *SAE Int. J. Mater. Manuf.*, vol. 9, no. 2, pp. 457–464, 2016, doi: 10.4271/2016-01-0337.

- [42] Rauch, Erwin; Matt, Dominik; Brown, Christopher; Towner, Walter; Vickery, Andrew y Santiteerakul, Salinee. (2018). 'Transfer of industry 4.0 to small and medium sized enterprises', *Adv. Transdiscipl. Eng.*, vol. 7, no. September, pp. 63–71, 2018, doi: 10.3233/978-1-61499-898-3-63.
- [43] Gualtieri, Luca; Rauch, Erwin; Rojas, Rafael; Vidoni, Renato y Matt, Dominik. (2018). 'Application of Axiomatic Design for the Design of a Safe Collaborative Human-Robot Assembly Workplace', *MATEC Web Conf.*, vol. 223, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201822301003.
- [44] Ranz, Fabiean; Hummel, Vera y Sihm, Wilfried. (2017). 'Capability-based Task Allocation in Human-robot Collaboration', *Procedia Manuf.*, vol. 9, pp. 182–189, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.04.011.
- [45] Gualtieri, Luca; Rauch, Erwin; Vidoni, Renato y Matt, Dominik. (2020). 'An evaluation methodology for the conversion of manual assembly systems into human-robot collaborative workcells', *Procedia Manuf.*, vol. 38, no. 2019, pp. 358–366, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.046.
- [46] Fernandez, Gabriela. (2002). 'Los Métodos PROMETHEE: una Metodología de Ayuda a la Toma de Decisiones Multicriterio Discretas', *Ser. Monográfica. Rev. Rect*, p. 17, 2002, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:LOS+M?TODOS+PROMETHEE+:+Una+Metodolog?a+de+Ayuda+a+la+Toma+de+Decisiones+Multicriterio+Discretas#1>.

Análisis de la cadena de valor alimentaria de menú saludable elaborado en Planta Piloto de FICA-UNSL mediante procesos sustentables y con materias primas regionales

Núñez, Sonia Carolina
sonynunez@gmail.com

Mantenegro, María Margarita
maritamontenegro@gmail.com

Grzona, Liliana Myriam
myriam.grzona@gmail.com

Soteras, Edgar Mario
mariosoteras@gmail.com

Díaz, Jorge
diaz.jorgeraul@gmail.com

Universidad Nacional de San Luis (Argentina)

Fecha de recepción: 28/12/2021²

Fecha de aprobación RIII: 24/04/2022

RESUMEN

El mercado de alimentos está experimentando fuertes desafíos para brindar propuestas saludables, nutritivas, sostenibles y amigables con el consumidor. Uno de los postulados del desarrollo sostenible es “hambre cero” y bajo ese desafío es que un grupo de investigadores de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias (FICA) de la Universidad Nacional de San Luis ha estado realizando investigación y desarrollo. Otro de los postulados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible es “energía asequible y no contaminante”, entonces, bajo estos criterios es que en la planta piloto de la FICA se ha trabajado en la producción de un menú saludable realizado en un proceso productivo que cuenta con un horno deshidratador solar. El desarrollo de este menú saludable, no sólo responde a la inquietud de encontrar una alternativa para el sistema de alimentación de familias con diferentes características, sino que se propone producirlo con materia prima que no tiene destino en el mercado minorista, realizando de esta forma un aprovechamiento de la misma, además mediante un proceso productivo sustentable. En el presente trabajo, se muestra un análisis de la cadena de valor del menú saludable de FICA, identificando cada una de las actividades primarias y las actividades de apoyo. También, se realiza la identificación de las ventajas competitivas que tiene la mencionada cadena de valor.

Palabras Claves: proceso sustentable, alimento saludable, cadena de valor.

² **Artículo Premiado** en el XIV COINI 2021

Analysis of the food value chain of healthy menu manufactured in the FICA-UNSL Pilot Plant through sustainable processes and with regional raw materials

ABSTRACT

The food market is experiencing strong challenges to provide healthy, nutritious, sustainable and consumer-friendly options. One of the postulates of sustainable development is "zero hunger" and under this challenge is that a group of researchers from the Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias (FICA) of the National University of San Luis has been conducting research and development. Another of the postulates in/of the Sustainable Development Goals is "affordable and non-polluting energy", then, under these criteria is that the FICA pilot plant has worked on the production of a healthy menu carried out in a production process with a solar dehydrator oven. The development of this healthy menu not only responds to the concern of finding an alternative for the food system of families with different requirements, but also aims to produce it with raw materials that are not destined for the retail market, thus making a use of it; and also with a sustainable production process. In this work, an analysis of the value chain of the healthy menu of FICA is presented, identifying each of the primary activities and the support activities. In addition, the competitive advantages of the aforementioned value chain are also identified.

Keywords: sustainable process, healthy food, value chain

Análisis de la cadena de valor alimentaria de menú saludable elaborado en Planta Piloto de FICA-UNSL mediante procesos sustentables y con materias primas regionales

RESUMO

O mercado de alimentos está enfrentando fortes desafios para fornecer propostas saudáveis, nutritivas, sustentáveis e favoráveis ao consumidor. Um dos postulados do desenvolvimento sustentável é a "fome zero" e sob esse desafio é que um grupo de pesquisadores da Faculdade de Engenharia e Ciências Agrícolas (FICA) da Universidade Nacional de San Luis vem realizando pesquisa e desenvolvimento. Outro dos postulados nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável é a "energia acessível e não poluente", então, sob esses critérios, sob esses critérios, a usina piloto do FICA tem trabalhado na produção de um cardápio saudável feito em um processo de produção que tenha um forno desidratador solar. O desenvolvimento desse cardápio saudável, não só responde à preocupação de encontrar uma alternativa para o sistema alimentar das famílias com características diferentes, mas também se propõe a produzi-lo com matéria-prima que não tem destino no mercado varejista, fazendo uso dele, também através de um processo de produção sustentável. No presente trabalho, é mostrada uma análise da cadeia de valor do cardápio saudável fica, identificando cada uma das atividades primárias e atividades de apoio. Além disso, é realizada a identificação das vantagens competitivas da referida cadeia de valor.

Palavras chave: processo sustentável, alimentos saudáveis, cadeia de valor

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro presente, año 2021, es alarmante la cantidad de personas que viven y se sostienen sin la ingesta suficiente y periódica de alimentos. Por otro lado, también podemos afirmar que esta situación se ha visto agravada por la pandemia producida por COVID-19. Es imperioso destacar que la seguridad alimentaria no estará garantizada, a menos que los gobiernos aseguren y mejoren considerablemente el acceso a los alimentos para las personas en situación de vulnerabilidad.

En el actual contexto, ante el compromiso de dar respuesta a una necesidad de la comunidad teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, se hace imperioso el desarrollo de un alimento con ciertas características nutricionales, sensoriales y funcionales recomendadas por los organismos internacionales.

“La desnutrición y el sobrepeso son realidades que coexisten. En base a los datos de la Encuesta Nacional de Nutrición y Salud, nuestro país Argentina es uno de aquellos con mayor prevalencia de sobrepeso y obesidad de la región, con un porcentaje total de personas con exceso de peso del 67,9%. Los grupos sociales de menores ingresos son los que más obesidad presentan, de allí la importancia de implementar políticas para mejorar los entornos alimentarios”. (Grzona & otros, 2019).

Es por esto que, desde la Universidad Nacional de San Luis, en su compromiso social con la comunidad, se trabaja en forma constante y permanente para brindar soluciones a diferentes problemáticas, entre las que se encuentra la alimentación saludable, y proporcionar alternativas concretas y posibles.

Con el fin de integrar la cadena de suministro regional, de fomentar la economía circular en la región, se tuvo en cuenta que las fuentes de los ingredientes fueran locales, incorporando a las operaciones de la cadena, la producción hortícola regional; además tiene especial importancia, la propuesta de un proceso productivo sustentable, utilizando energías alternativas y renovables.

La elaboración de un menú saludable, no es sólo en si un proceso técnico productivo, sino que es, desde el proveedor hasta el cliente, una suma de procesos que conforman una cadena de suministro, cuyas operaciones eficientes y efectivas son parte de una cadena de valor, en este caso agroalimentaria.

En la administración de operaciones, con la visión de cadenas de valor, resulta interesante identificar todas las actividades que forman parte; entre las que podemos destacar las actividades primarias, como lo son producción, logística, marketing de ventas y servicio de posventas, y las actividades secundarias o de apoyo como los son infraestructura, recursos humanos, desarrollo tecnológico y compras (abastecimiento), con la prioridad de que todas ellas se encuentren coordinadas e integradas (Porter, 1995). En la figura 1 se muestra gráficamente las actividades que se consideran en la cadena de valor alimentaria.

En esta situación de emergencia alimentaria, la Universidad de San Luis y en particular la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias (FICA), con un grupo de investigadores del Departamento de Ingeniería de Procesos, ha desarrollado un menú saludable producido en la planta piloto, mediante procesos sustentables y con materias primas regionales, destinados a poblaciones vulnerables.

En el presente trabajo se pretende determinar las ventajas competitivas del proceso de elaboración de este menú saludable, realizando un relevamiento de las actividades primarias y secundarias de la cadena de valor alimentaria. Se incluirá en el relevamiento de datos información regional de productos agrícolas, abastecimiento y distribución de producto terminado, como así también información técnica del proceso productivo.

El trabajo se plantea con una metodología de investigación exploratoria y descriptiva, cuantitativa y cualitativa. La información que se utilizará serán datos primarios y secundarios. Los datos primarios se obtendrán por observación y entrevistas de referentes de los procesos de abastecimiento, de producción, de distribución y de gestión, y los datos secundarios se obtendrán de base de datos disponibles para consulta. Se presenta como intención, que este análisis y relevamiento aporte información para el enfoque pertinente en las ventajas competitivas de la cadena de valor alimentaria del menú saludable.

“La sostenibilidad ambiental de una dieta se evalúa por la eficiencia y por el grado de impacto ambiental para producir los alimentos que la componen. La eficiencia es una medida del uso de los recursos naturales para obtener los alimentos y el impacto ambiental se mide por indicadores ambientales como el potencial de calentamiento global y de contaminación.” (Grzona & otros, 2020). La elaboración de un menú saludable mediante procesos sustentables y con materias primas regionales para dar solución a una problemática de un sector de la sociedad en estado vulnerable, responde a varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) planteados en el año 2015 y aprobados por las Naciones Unidas, que son parte de la agenda de todas las organizaciones con la visión al futuro 2030.

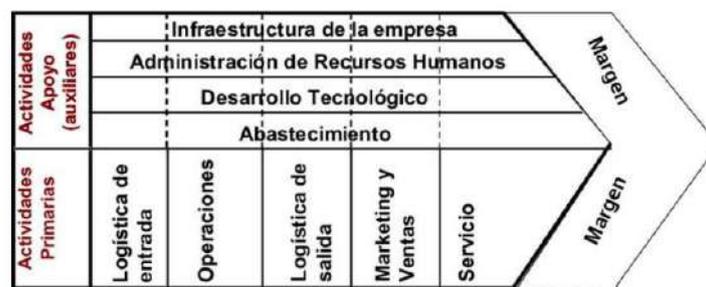


Figura 1 Cadena de Valor Agroalimentaria. Fuente, Porter 1995

Cuando nos referimos a cadena de valor, no podemos dejar de establecer las ventajas competitivas que éstas tienen, y refiriéndonos a las mismas podemos decir que se pueden diferenciar dos tipos básicos: ventajas competitivas por costos bajos y por diferenciación de producto. Si se combina el panorama de las actividades con las ventajas competitivas, se pueden establecer tres estrategias genéricas para lograr el desempeño: liderazgo de costo, diferenciación y enfoque. Las dos primeras buscan una ventaja competitiva en un rango amplio de industrias, mientras que el enfoque intenta lograr la ventaja en costos o en diferenciación, pero en un segmento estrecho.

Existen algunos factores a tener en cuenta que son importantes a la hora de impulsar las cadenas de valor, entre ellos podemos nombrar:

- Eficiencia del sistema: con este factor puesto en marcha se puede lograr reducción de costos,
- Calidad de producto: ante un mercado cambiante, es necesario que los productos cumplan con los requisitos del consumidor, los cuales son cambiantes y cada vez más exigentes,
- Diferenciación de producto: la diferenciación del producto ayuda a lograr una ventaja competitiva, pero en esta diferenciación debe participar toda la cadena, si esto se logra será mucho más difícil a los competidores copiar el producto porque ya no se trataría sólo de este sino de toda la cadena.
- Normas sociales y ambientales: bajo el marco de los objetivos de desarrollo sostenible, se hace necesario establecer la cadena de valor teniendo en cuenta éstos objetivos, los cuales son parte de la agenda hacia el 2030 para todas las organizaciones a nivel mundial.

- Entorno favorable: las cadenas de valor están integradas en un entorno donde participan diferentes organizaciones desde el punto de vista social, económico, político y cultural. Por lo tanto, la cadena de valor debe integrarse en este entorno.

La interrelación que debe poseer la cadena de valor alimentaria entre cada uno de los eslabones como parte de un mercado se puede ver en la Figura 2.

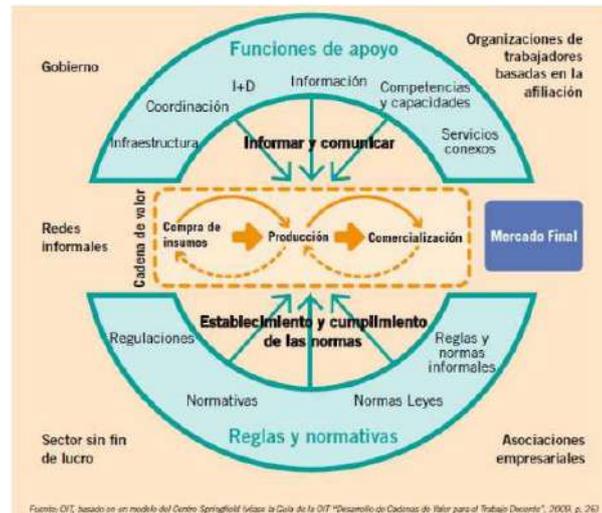


Figura 2 Cadena de Valor Alimentaria como parte de un mercado. Fuente, OIT 2009

El concepto de cadena de valor, popularizado por Porter en los años 80, introduce la visión del análisis estratégico, mediante el cual se puede comparar los costos por unidad de una compañía con los costos por unidad de los competidores claves, actividad por actividad, determinando de esta manera cuáles son las actividades claves para una ventaja o desventaja de costo. Este análisis no se realiza en este trabajo, sino que queda planteado para el futuro.

La cadena de valor de menú saludable, estaría enmarcada en las ventajas competitivas por enfoque buscando una diferenciación a través del producto.

2. DESARROLLO

En un mundo donde predomina la escasez de materias primas, en donde la seguridad alimentaria se ha visto quebrantada y los procesos deben ser más eficientes y colaborativos, el análisis metodológico de las cadenas de valor alimentaria y el estudio de las relaciones funcionales entre sus eslabones, es clave para conseguir un proceso efectivo y eficiente aspirando a la soberanía alimentaria.

El tratamiento de los problemas del sistema alimentario, no merecen un análisis parcial, debe realizarse un análisis global para lograr una visualización más integrada. La cadena de valor alimentaria lleva una serie de actividades, que tratan de satisfacer al consumidor a través de una serie de funciones, no solamente productivas, sino también con otras que podemos llamar de apoyo. Esta cadena de valor deber ser útil al consumidor y por lo tanto crear valor, un valor que el consumidor esté dispuesto a pagar

En el análisis de la cadena de valor alimentaria, se puede dar un enfoque lineal de una sola cadena, en el que se incluirían todos los eslabones desde el productor hasta el consumidor, o dar un enfoque transversal de un solo eslabón o un análisis global de la red de cadenas. En el presente trabajo se pretende analizar la cadena de valor alimentaria del menú saludable elaborado en una planta piloto de la FICA, y el enfoque tomado es mediante un análisis lineal de toda la cadena.

2.1. Planta piloto

La universidad Nacional de San Luis, cuenta con un Centro Universitario en la ciudad de Villa Mercedes que está situado en ruta provincial 55 extremo norte, en el que se realizan tareas de docencia e investigación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. La Planta Piloto, perteneciente a la FICA y se encuentra ubicada en este centro universitario.

La construcción de esta planta se empezó a realizar aproximadamente en el año 1985, desde ese momento se gestionó la compra de equipos, maquinarias y la construcción de la infraestructura con la que se cuenta hasta la fecha. Años posteriores, se realizaron algunas ampliaciones y mejoras.

En un principio, el trabajo que se realizaba se basaba en lo siguiente: “procurar un ámbito académico y de práctica para los alumnos, con la provisión de los servicios necesarios para la realización de diferentes procesos”. Luego con en tiempo y ante la búsqueda de un espacio versátil e interdisciplinario, se fueron adquiriendo equipos, instrumentos de medición y/o control, así como también material de laboratorio.

Aproximadamente en el año 1998, se inició la puesta en marcha y a partir de ese inicio, se trabajó constantemente con el mejoramiento de las condiciones edilicias, compra de equipamiento, distribución general de servicios, etc.

Esta planta piloto tiene un potencial interesante tanto para la realización de trabajos de investigación, nuevos desarrollos, estudios de optimización de procesos, así como también la elaboración de productos y servicios destinados a dar soluciones a problemáticas sociales, de forma tal que la Universidad sea un actor importante en la comunidad estableciendo una vinculación real y activa.

En la siguiente figura 3, se muestra la localización del Centro Universitario Villa Mercedes, en la ciudad de Villa Mercedes, provincia de San Luis.



Figura 3 Vista satelital FICA-UNSL. Fuente, Google Maps.

Actualmente, la planta cuenta con instalaciones y equipamiento de diferente envergadura. La componen las siguientes áreas:

- Área de producción,
- área de laboratorio,
- área de almacenamiento de producto fresco y seco,
- área de servicio,
- y área de baños y vestuarios.

2.2. El menú saludable

La situación actual del país demanda productos alimenticios fáciles de preparar, almacenar y consumir. La experiencia y la realidad indican situaciones de malnutrición, provocada por bajo consumos de granos, legumbres, hortalizas y frutas; lácteos y carnes y altos consumos de harinas, panificados, azúcares, dulces y bebidas azucaradas con diversas consecuencias adversas en la salud de las personas.

Considerando esta situación de emergencia, un grupo de investigadores de la FICA, ha desarrollado un alimento con ciertas características nutricionales, sensoriales y funcionales recomendadas por los organismos internacionales, teniendo en cuenta que las fuentes de los ingredientes fuesen locales, pensando de este modo, integrar la producción hortícola de la zona.

Unas de las premisas en la que se trabajó, fue que debía ser sabroso, aceptable y ajustarse a los hábitos alimentarios, fácil de distribuir y de conservar, tal como lo son las preparaciones secas, pensando que este alimento puede ser consumido por adultos, jóvenes y niños en edad escolar.

En el proceso de desarrollo, se seleccionaron ingredientes considerando las fuentes de proteínas y combinaciones de vegetales más adecuadas, por ejemplo, los cereales y las legumbres que son alimentos ricos en carbohidratos, fibras y micronutrientes.

La sostenibilidad ambiental de una dieta se evalúa por la eficiencia y por el grado de impacto ambiental para producir los alimentos que la componen. La eficiencia es una medida del uso de los recursos naturales para obtener los alimentos y el impacto ambiental se mide por indicadores ambientales como el potencial de calentamiento global y de contaminación. Los factores determinantes identificados para una dieta sustentable son los siguientes: (1) Un aumento en la proporción de alimentos de origen vegetal en su composición, (2) Una menor proporción de alimentos con alto grado de procesamiento, (3) Una mayor ingesta de alimentos estacionales o que no requieran el transporte por largas distancias, (4) Una producción más eficiente, que generen una menor proporción de pérdidas y desperdicios.

El producto desarrollado es un alimento fabricado a base de proteínas vegetales, tratándose de una mezcla de cereales, legumbres, vegetales deshidratados (cebolla, tomate, zanahoria, zapallo y papa) y condimentos. El producto alimenticio es rico en fibras y con adecuado contenido de proteínas y demostrando una excelente aceptabilidad desde el punto de vista sensorial.

El menú saludable, concretamente, es un guiso vegetal deshidratado, fácil de preparar que requiere sólo el agregado de agua y posterior cocción. Los ingredientes en la formulación son los siguientes: arroz, lentejas, proteína de soja texturizada, zapallo deshidratado, zanahoria deshidratada, papa deshidratada, cebolla deshidratada, tomate deshidratado y condimentos (pimentón, orégano deshidratado y sal). El arroz, lenteja y proteína de soja texturiza se compran en el mercado local. Las hortalizas se adquieren de familias de horticultores de la zona de Villa Mercedes (San Luis).

En la figura 4, se puede ver una imagen del menú saludable desarrollado por el equipo de investigadores.



Figura 4 Menú saludable desarrollado en FICA-UNSL. Fuente, Producción propia

El tiempo de vida útil de la mezcla deshidratada es de 12 meses y por sus características físicas y químicas es poco susceptible de mal manejo durante las etapas. El contenido empacado contiene alrededor de 10% de humedad, dependiendo de la proporción de los ingredientes.

Las características del envase y las condiciones de almacenamiento afectan el tiempo de vida en anaquel. Se prefieren envases con buenas propiedades de barrera para oxígeno, vapor de agua y luz de forma que se obtenga una vida útil máxima. El producto se envasa de bolsas de polipropileno, sellándolas para evitar el ingreso de humedad.

2.3. El proceso productivo

La elaboración del menú saludable se propone mediante un proceso productivo realizado en la planta piloto de FICA, esencialmente el proceso consta de varias etapas, entre las que se encuentran: recepción de las hortalizas, lavado y selección, pelado, cortado, pretratamiento, enfriado, escurrido, deshidratado, almacenamiento en cámara de frío, pesado de ingredientes, mezclado, envasado, sellado, etiquetado y almacenamiento de producto terminado. En la figura 5 se puede ver un diagrama de flujo de las etapas del proceso productivo.

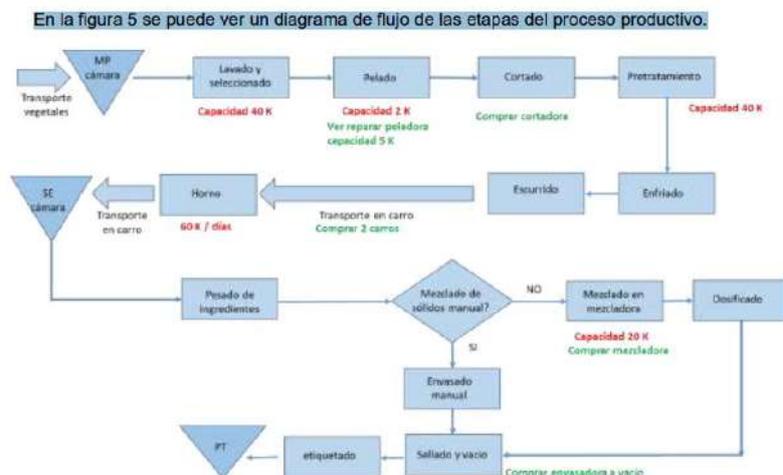


Figura 5 Diagrama de flujo proceso productivo menú saludable FICA-UNSL. Fuente, Producción propia

Una de las etapas claves en el proceso de elaboración, es la deshidratación de hortalizas, esta actividad se realiza en un horno solar mixto, proporcionando al proceso un gran aporte a la sustentabilidad. La sostenibilidad, como forma de gestión en la producción de alimentos es un concepto clave sobre todo en esta propuesta.

Actualmente se pueden elaborar un promedio de tres producciones mensuales de 20 kg cada una. Una de las limitaciones en la producción, se basa en que durante las estaciones de otoño/invierno, se obtienen valores bajos de radiación solar. Esto permite alcanzar valores de temperatura en el interior de la cámara de secado menores a 30°C y ralentiza la etapa de secado.

Considerando que cada porción del alimento es de 80 gramos, en este momento se pueden abastecer 750 porciones por mes. Se proyecta duplicar la capacidad de producción con la incorporación de otro horno deshidratador eléctrico que pueda operar dentro de la planta y algún equipo menor que disminuya los tiempos de procesamiento.

2.4. La cadena de valor

Es necesario que cada región pueda potenciar las ventajas comparativas con que cuenta en los procesos de agroalimentos y desarrolle las ventajas competitivas que luego se deriven en factores como tecnología, conocimiento, desarrollo de competencias e integración. Así como también desarrollar las ventajas competitivas tales como la generación de alianzas, vinculación, diferenciación del producto, incursión de nuevas variedades.

El análisis de la cadena de valor en los procesos es relevante, porque nos sirve como un instrumento para avanzar en el desarrollo de competencias claves de manera equitativa y sostenible estableciendo interrelación y empoderamiento a los eslabones de la propia cadena.

La cadena de valor alimentaria, se refiere a un conjunto de actores que se relacionan en función de un alimento, de forma tal que agregan o aumentan su valor a lo largo de los eslabones, que se interpretan como procesos, desde la etapa de producción hasta el consumo.

Se puede definir a la cadena de valor, como un conjunto de actividades que una organización debe desarrollar para llevar el producto desde el productor hasta el consumidor en un sistema de negocios (Porter, 1995).

Se puede encarar dos formas de representar una cadena de valor, una forma cualitativa y otra forma cuantitativa. En la forma cualitativa se describen los actores presentes en cada uno de los eslabones, los procesos de transacciones e interacciones que existe a lo largo de la cadena. En la forma cuantitativa se profundiza sobre cómo y cuándo el valor final de un producto se genera en cada una de las distintas etapas de la cadena. En este trabajo, describiremos la cadena de valor del menú saludable de FICA de una forma cualitativa, este análisis nos permitirá identificar las restricciones y cuellos de botellas, así como también los desafíos y oportunidades para el crecimiento de la cadena.

Con este enfoque, es importante tener en cuenta que las relaciones que se pretenden fomentar desde la visión de cadena de valor, difieren del enfoque tradicional. En el enfoque de cadena de valor el flujo de información es amplio y conocido por todos los eslabones de la cadena, prevalece la confianza y cooperación. Desde el punto de vista del objetivo, en la cadena de valor, el objetivo principal es lograr el incremento de valor en los productos, siendo este más importante que el de maximizar las ganancias solamente. En la cadena de valor, la estructura organizacional prioriza la alianza y vínculos con organizaciones para trabajar en forma conjunta. La filosofía de la cadena de valor es proporcionar una ventaja competitiva en el mercado y la oportunidad de mantener esa ventaja. Cabe destacar que bajo el

enfoque de cadenas de valor se potencia la posibilidad de lograr estrategias de diferenciación de productos y de innovación cómo es el caso del menú saludable de FICA, de forma tal de lograr ventajas competitivas sostenibles.

En la cadena de valor alimentaria, hay funciones y roles que son claves, que pueden afectar la calidad del producto, el tiempo de entrega y el flujo de información.

En el análisis de cadena de valor, podemos mostrar el conjunto de actividades y funciones entrelazadas que se realizan internamente. Esta cadena comienza con el abastecimiento de materia prima y continúa con la producción y luego con la distribución hasta llegar al usuario final. Toda cadena de valor contiene tres elementos básicos:

- Las actividades primarias: son las que tienen que ver con producción del producto, su logística y su comercialización, así como también el servicio de posventa.
- Las actividades secundarias: estas actividades se componen por la administración de los recursos humanos, compra de bienes y servicios, desarrollo tecnológico, infraestructura.
- El margen: se considera al margen como la diferencia entre el valor total y los costos totales incurridos por la organización para realizar las actividades.

De acuerdo a lo presentado por Porter, se pueden definir las actividades primarias de la cadena de valor como tales: a) Logística de entrada: recepción, almacenamiento, manipulación de materiales, inventarios, devoluciones, etc. b) Operaciones: transformación de materias primas en producto final, c) Logística de salida: almacenamiento de producto final, manipulación y distribución. d) Comercialización, ventas y postventa: publicidad, promoción y ventas.

Las actividades secundarias o de apoyo, también pueden definirse de la siguiente manera: a) Compras: son las actividades de adquisición de materias primas, materiales auxiliares, o insumos para servicios como por ejemplo combustible. b) Desarrollo tecnológico: son aquellas actividades que involucran el desarrollo de equipamiento o de productos como consecuencia de capacidades adquiridas o conocimiento de profesionales idóneos. c) Dirección de recursos humanos: esta actividad se refiere a la identificación de las competencias necesarias para el personal que intervenga en la cadena de valor. Además de la identificación de las competencias necesarias, también se refiere a la selección de las personas que formarán parte de la cadena de valor. d) Infraestructura institucional: estas actividades se refieren a aquellas de dirección general, planificación, sistemas de información, contabilidad, finanzas y dirección de calidad.

En la cadena de valor del menú saludable de FICA, se puede identificar las siguientes actividades primarias que forman parte de la cadena de valor:

Logística de entrada:

- Recepción: el abastecimiento de los insumos hortícolas se realiza desde el cordón hortícola hasta la planta productiva mediante transporte privado de los investigadores y vinculadores que son personal perteneciente a la FICA. El costo afrontado de este transporte es en forma particular con recursos propios de los investigadores. Es importante destacar, que la realización de un menú saludable en FICA, es un proceso que proporciona a la producción local hortícola un agregado de valor en origen, impulsando de esta manera el desarrollo territorial regional.
- Almacenamiento: el almacenamiento de los productos hortícolas se realiza en el cámara de frío que posee la planta piloto de la FICA, la capacidad de almacenamiento de esta cámara es suficiente para el proceso productivo establecido hasta el momento, ya que por ahora el cuello de botella del proceso se encuentra en el horno para el deshidratado de las verduras. Las materias primas

se retiran de las quintas de los proveedores locales y son transportadas hasta la cámara de frío de la planta piloto, si las materias primas no se procesan en el mismo día, serán almacenadas en la cámara, si se procesaran en el mismo día de llegada pasarían a la actividad de operaciones.

Operaciones:

- **Manufactura:** el proceso productivo de manufactura, es decir, la transformación de materias primas en productos comercialmente requeridos, se realiza en la planta piloto de FICA, se describió anteriormente las características de esta planta y la disponibilidad de recursos para esta actividad. En el proceso productivo se ha establecido como cuello de botella el horno solar, debido a dos motivos fundamentales, el primero es respecto de su capacidad, el horno cuenta con bandejas para el soporte de los alimentos a deshidratar y éstas bandejas son fijas, sin posibilidad de modificar la cantidad que pueden entrar en el horno por batch. Segundo, el clima; el proceso está sujeto a las condiciones climáticas debido a que este equipo funciona principalmente con energía alternativa (solar), transformándolo en sustentable. Las operaciones que cuenta este proceso son las siguientes:
 - Luego del almacenamiento en cámara de frío si fuera necesaria, las materias primas son seleccionadas de acuerdo a especificaciones estrictas de calidad para garantizar la inocuidad del producto y sus especificaciones finales, posteriormente se lavan,
 - Una vez lavadas, las hortalizas son peladas, este proceso es manual, por lo tanto, se necesita mano de obra para realizarlo, es una actividad dentro de la cadena de valor que requiere alto costo para ejecutarla, pero que el cliente no percibe en el producto final, por lo tanto, es una actividad que sería interesante automatizarla para reducir los costos.
 - Luego del pelado, las hortalizas, pasan a un proceso de cortado, proceso que también es manual y que eleva los costos de esta actividad, por lo que sería también interesante automatizarla.
 - Una vez que las hortalizas están lavadas y peladas, se les realiza un pretratamiento para mejorar la textura y acelerar el proceso de secado, así como también garantizar el mantenimiento de color. Los pretratamientos pueden ser diferentes de acuerdo al tipo de hortaliza, generalmente son pretratamientos térmicos, como el escaldado, o pretratamiento combinados, como escaldado y/o por adición de productos químicos.
 - Luego de pretratamiento las hortalizas son escurridas,
 - Teniendo las hortalizas escurridas son depositadas en las bandejas del horno, se pueden colocar en el horno diferentes hortalizas y se realiza el deshidratado mediante un proceso batch, el proceso termina cuando se determina el porcentaje de humedad requerido para el producto final. Como el horno no cuenta con mecanismos electrónicos para monitorear temperatura ni humedad, la determinación del estado final del producto se realiza en forma manual realizando pesaje en diferentes oportunidades,
 - Cuando el producto final llega a las especificaciones requeridas, son almacenados en cámara de frío si fuera necesario, sino son pesados y mezclados. El mezclado es manual, pero puede realizarse un mezclado automático si se tuviera el equipamiento necesario,
 - Luego del pesado se realiza el envasado y posterior sellado a vacío,
 - Cuando las bolsas estén con el gramaje correspondiente se realiza el etiquetado.
- **Aseguramiento de calidad:** las operaciones de manufactura realizadas en la planta piloto, se deben realizar teniendo en cuenta de garantizar la inocuidad del producto en cada una de las etapas del proceso.

Logística de salida:

- Distribución: la distribución del producto terminado no requiere cadena de frío, por lo que puede hacerse en un ambiente con adecuadas condiciones para productos alimenticios cumpliendo con las buenas prácticas de manufactura. La distribución y entrega a los clientes se realiza por medios propios de los investigadores.

Comercialización, venta y PostVenta:

- Comercialización: actualmente el producto desarrollado está destinado a solucionar una problemática en organizaciones que trabajan en asistencia a comunidades vulnerables, por el momento se ha entablado un vínculo con muchas posibilidades a desarrollar e intensificar con organizaciones gubernamentales para proporcionar una cantidad acordada. La post venta es personal y directa con las organizaciones hasta ahora vinculadas.

Las actividades secundarias y de apoyo identificadas en la cadena de valor del menú saludable de FICA:

- Compra de insumos: la compra de los insumos principales que contiene el menú saludable se realizan en la zona agrícola en la región y establecida como cordón fruti-hortícola. Los productores hortícolas son residentes de la región de San Luis y emprendedores de huertas destinando sus productos al mercado local y realizando sus ventas en locales de comercio minorista y en puestos de venta del mercado artesanal. La materia prima utilizada en este proceso, es aquella que no tiene cabida en el mercado de frutas y verduras local, debido a característica de tamaño, forma y algunos defectos que hacen que las mismas no cumplan las especificaciones para venta minorista.
- Desarrollo tecnológico: El menú saludable es un producto desarrollado por investigadores de FICA en respuesta a una necesidad de una comunidad vulnerable, con la idea de que mediante un menú que se consume por plato de comida de almuerzo o cena se pueda incorporar los nutrientes necesarios para el organismo. El proceso de manufactura, también fue desarrollado por el equipo de investigación, determinando para cada caso de hortaliza cuál debería ser el proceso productivo correcto de acuerdo a las características biológicas de la materia prima y con la idea de mantener la calidad sensorial y nutricional de los alimentos.
- Dirección de Recursos Humanos: las competencias a desarrollar por los recursos humanos, identificadas en cada una de las actividades, son aquellas relacionadas con el conocimiento de tecnología de los alimentos, trabajo en equipo y comunicación efectiva, gestión de procesos de alimentos, solución de problemáticas, así como también competencias para diseño y desarrollo de proyectos y de productos, y competencias para utilizar de manera efectiva las técnicas y el equipamiento del proceso productivo. También se necesitan competencias claves para garantizar la inocuidad del producto mediante procesos productivos con aseguramiento de calidad y mejora continua.
- Infraestructura institucional: el equipo de investigadores de FICA que ha desarrollado el menú saludable, está constituido por profesionales de diferentes disciplinas, entre las que podemos nombrar, ingenieros/as en alimentos, ingenieros/as químicos/as, licenciadas en nutrición, ingeniero agrónomo, licenciado en química y personal especialistas en procesos productivos de la planta piloto. Si bien el equipo está dirigido por una Doctora en Ingeniería, la participación de cada uno de sus integrantes es permanente. Es un equipo de trabajo consolidado a lo largo de los años y con conocimientos específicos en ciencias de los alimentos y operaciones en la planta piloto. Este equipo de trabajo tiene colaboración en forma intermitente, de acuerdo a las necesidades, de asesores especialistas en contabilidad y finanzas para determinar la factibilidad

del proyecto. En general, el equipo de investigación está conformado por docentes investigadores de la Universidad Nacional de San Luis, por lo que los sistemas informáticos disponibles son los de esta institución. La planta piloto de FICA cuenta con el equipamiento y recursos edilicios para realizar la elaboración del producto, así como también para el almacenamiento de la materia prima y el producto terminado. La planta piloto de FICA cuenta con lo necesario para el suministro de servicios de agua y energía, así como también dispone de un laboratorio equipado para los ensayos de calidad. Hay que tener en cuenta en toda la cadena de valor alimentaria las herramientas de trabajo que nos permitirán realizar los procesos de manera de garantizar la inocuidad de los alimentos, como base de esas herramientas aquí mencionamos las buenas prácticas agrícolas, las buenas prácticas de manufactura y los procedimientos estandarizados de sanitización y la norma ISO 22000.

En la figura 6 se han identificado las funciones como actividades primarias de la cadena de valor del menú saludable de FICA, así como también las actividades de apoyo y los eslabones principales de la mencionada cadena. En la misma figura se identificaron las normativas que se tienen que tener en cuenta para operar en los diferentes procesos.

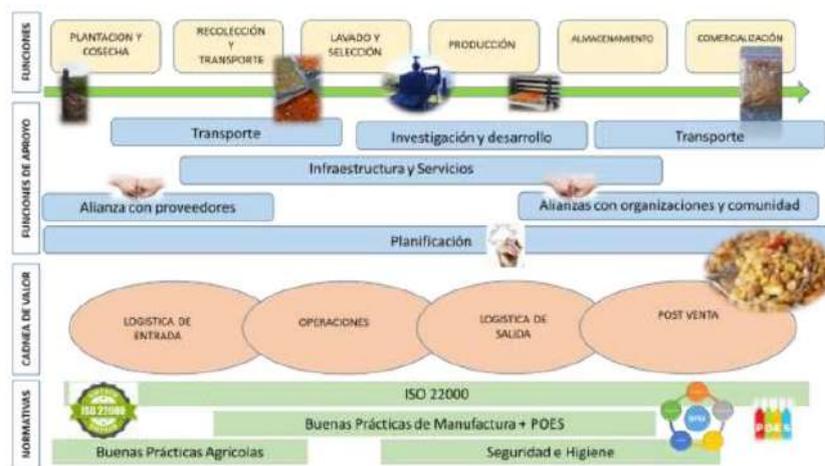


Figura 6 Diagrama cadena de valor menú saludable FICA-UNSL. Fuente, Producción propia

Un elemento más a trabajar en la cadena de valor alimentaria es el margen, teniendo en cuenta que éste se obtiene entre la diferencia de los costos totales y el valor monetario que el consumidor esté dispuesto a pagar. Para el caso de la cadena de valor del menú saludable de FICA, se ha trabajado con la propuesta de diferentes escenarios en cuanto al análisis de costos, esta propuesta básicamente está dada con la modificación de la mano de obra como parte del costo unitario del producto final. El costo unitario del producto final se construyó en diciembre del 2020 como un resultado de tres componentes: costo de materia prima, costo de mano de obra y costos indirectos de producción (CIP). Bajo este esquema, se analizó el precio final que podía tener el producto considerando un margen propuesto de veinte por ciento para industrias de alimentos, y con ese criterio se realizaron varias propuestas en las que fundamentalmente se consideraron diferentes opciones para la administración de mano de obra.

En el análisis de costo se consideró lo siguiente:

- Tres producciones mensuales de 20 kilogramos cada una,
- Se tomó como lista de ingeniería el desarrollo para un total de 10 kilogramos de producto final,

- Se consideraron dos opciones de presentación de producto final, una opción de 100 gramos y otra de 500 gramos, pensando que la primera opción como un menú individual para una persona y la segunda opción que podría ser el menú para un grupo familiar tipo de 4 personas.
- En cuanto a los CIP, se consideraron productos de limpieza, indumentaria para personal de industria de alimentos, habilitaciones para establecimientos de alimentos, elementos necesarios para la manipulación de los alimentos y transporte de materias primas hasta la planta piloto.
- Respecto de los escenarios planteados con diferentes propuestas de mano de obra se consideró: 1) Cuatro becarios más un supervisor técnico, 2) Cuatro personas colaboradoras sin remuneración más un supervisor técnico, 3) Cinco personas con sueldo de acuerdo al convenio colectivo de trabajo del sindicato de alimentos

En la figura 7 se pueden ver los resultados de cada una de estas alternativas.

OPCIÓN 1: 4 becarios más 1 supervisor técnico	
Costo Unitario MO 100 gr	\$ 86,68
Costo Unitario MO 500 gr	\$ 433,40
OPCIÓN 2: 4 personas en colaboración más 1 supervisor técnico	
Costo Unitario MO 100 gr	\$ 40,00
Costo Unitario MO 500 gr	\$ 200,00
OPCIÓN 3: 5 personas con remuneración de acuerdo a convenio	
Costo Unitario MO 100 gr	\$ 143,77
Costo Unitario MO 500 gr	\$ 718,85

Figura 7 Escenarios de costos para menú saludable FICA-UNSL (diciembre 2020). Fuente, Producción propia

Si bien es cierto que el margen está dado por las diferencias entre los costos productivos y el valor monetario que el cliente esté dispuesto a pagar, en estos escenarios planteados se ha hecho una simulación de cómo quedaría el precio en el mercado de nuestro menú saludable considerando un margen del veinte por ciento como un margen que suponemos que en general tiene la industria de alimentos. Esto no significa que el cliente esté dispuesto a pagar ese precio final que se determinó, pero sí nos da una idea de cuál sería la estructura de costos a considerar que debería tener la cadena de valor del menú saludable de FICA.

En la figura 8 se muestra propuestas similares que existen en mercado, si bien es cierto que no hay en el mercado un producto de iguales características, se pueden encontrar algunos similares y en la figura se puede observar el precio que éstos tienen en góndola.



Figura 8 Precios de productos comerciales similares a menú saludable FICA-UNSL (diciembre 2020). Fuente, Producción propia (foto en Walmart Argentina)

En la figura 9 se muestra una imagen del producto menú saludable de FICA, desarrollo de producto, empaque y diseño de etiqueta, este trabajo fue realizado por personal idóneo de la Universidad Nacional de San Luis.



Figura 9 Menú saludable FICA-UNSL (proyecto diciembre 2020). Fuente, Producción propia

3. CONCLUSIONES.

En el presente trabajo se ha realizado un análisis cualitativo de la cadena de valor de menú saludable desarrollada por un equipo de trabajo de docentes e investigadores de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis. Este menú saludable se produce en una planta piloto que pertenece a la mencionada facultad.

Al realizar el análisis de esta cadena, permite identificar las ventajas competitivas sobre las cuales se puede fundamentar posteriormente las propuestas de mejoras del proceso y sobre todo el posicionamiento del producto en el consumidor.

El menú saludable producido en la planta piloto es actualmente, un producto que no se ha desarrollado en el mercado comercial con iguales características, si bien es cierto existen productos similares, no hay en el mercado actual un producto que cumple con los valores nutricionales con los que cuenta este menú.

Por otro lado, este menú saludable está elaborado con materia prima regional, proporcionando de esta manera a la cadena de valor del alimento una ventaja competitiva relacionada con la alianza establecida con el proveedor de la materia prima hortícola. Esta alianza ha sido una construcción de la confianza entre las investigadoras y el productor primario, basado en lazos que se han ido estableciendo y fortaleciendo al largo de varios años. Resulta de interés, pensar que el agregado de valor en origen a los productos hortícolas es una ventaja competitiva que posiciona favorablemente al sistema productivo regional con respecto de otras regiones. Podemos proponer como tarea a futuro, intensificar el trabajo colaborativo entre diferentes instituciones tales como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad Nacional de San Luis con los productores para generar vínculos aún más fuertes y proyectos más desafiantes con la idea del agregado de valor en origen al sistema productivo hortícola regional.

El desarrollo de las competencias de los investigadores, en el campo del conocimiento de los alimentos, en el campo de la investigación científica, y competencias desarrolladas como trabajo en equipo y solución de problemáticas de interés social, es una ventaja competitiva claramente fuerte y significativa en la cadena de valor del menú saludable. Sumado a estas competencias desarrolladas en forma efectiva y eficiente por el grupo humano, se encuentra la tecnología disponible que tiene la planta piloto para el desarrollo de este menú. Si bien es cierto que, en cuanto a la tecnología, todavía existen en la actualidad muchas oportunidades de mejora, como la adquisición de equipamiento de control de variables de proceso que podrían incorporarse al horno deshidratador, para proporcionar al proceso de manufactura una ventaja aún más destacada.

El menú saludable desarrollado por FICA, es un producto que cuenta con varias ventajas competitivas relacionadas con su conservación y almacenamiento. Al ser un producto deshidratado, se puede establecer un lapso de vida útil de doce meses aproximadamente, pero la ventaja más destacada es que al ser un producto que sólo requiere como material de empaque un flexible, no tiene medio acuoso como soporte, es decir es un producto seco, el almacenamiento del mismo puede realizarse en un ambiente sin características especiales y su transporte no requiere equipos específicos, la relación entre las variables peso/volumen puede llegar a ser óptima. Otra de las ventajas que se puede destacar por ser un alimento deshidratado, es que justamente por esta característica, se conserva las propiedades de sus nutrientes.

El producto de menú saludable presenta una ventaja competitiva más, y es que es un alimento a base de verduras, condición importante sobre todo en la propuesta de modificación de la dieta actual, debido a la baja ingesta de verduras en la mayoría de las personas en la actualidad. Por otra parte, como es un alimento de fácil y rápida cocción, podría ser una alternativa a la hora de alimentar en hogares de familia numerosa o de hogares en donde los padres y madres de familia trabajan y no cuentan con tiempo para la elaboración de un menú saludable casero.

Este alimento saludable se concibe en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, proporcionando nutrientes de origen vegetal que aportan a la política de sustentabilidad con una dieta sostenible. Por otro lado, la propuesta de la elaboración de menú saludable de FICA, se realiza con la manufactura de materia prima que no tiene asidero en el mercado minorista local de frutas y verduras,

con lo cual se puede procesar, realizando las operaciones de manufactura que se describieron anteriormente y de esta forma logrando un aprovechamiento óptimo y agregando valor a las hortalizas que no puede comercializarse en el mercado minorista.

Como propuesta de mejora, se sugieren dos, en primer lugar, realizar alianzas con organismos gubernamentales o privados de forma tal de conseguir financiamiento para fortalecer el proceso productivo con equipamiento, y en segundo lugar, establecer alianzas más fuertes con el mercado local y regional para posicionar el producto en la mente del consumidor. Esta propuesta de elaboración de un menú saludable en respuesta a una problemática social, nos permite pensar a futuro en la posible vinculación con empresas del ámbito privado que junto con la Universidad Nacional de San Luis puedan realizar alianzas y concretar actividades en el marco de Empresas con Base Tecnológica (EBT).

El menú saludable de FICA es un producto que no sólo es rico en nutrientes, sino que es altamente bajo en contenido de agua, lo que optimiza su transporte, almacenamiento y conservación; pero a la vez es un producto que contribuye a la economía verde regional aprovechando materias primas que no tienen lugar en el mercado minorista y que pueden ser usadas en esta cadena proporcionando un valor agregado que creemos que el consumidor está dispuesto a pagar para mejorar su alimentación diaria. Si bien es cierto en la simulación propuesta de estructura de costos con una suposición de margen de un 20 por ciento, se pudo obtener un precio supuesto, estará en el mejoramiento de la cadena de valor optimizar los mismos para proporcionar al consumidor un producto que no sólo se diferencie por su desarrollo e innovación, sino que también pueda ser competitivo en costos con sus competidores.

4. REFERENCIAS.

- [1] Porter, Michael E. (1995). Ventaja Competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior. Buenos Aires. Editorial CECSA. Argentina.
- [2] Nutz, Nadja; Siervers, Merten. (2016). Guía general para el desarrollo de cadenas de valor. Organización Internacional del Trabajo. Ginebra.
- [3] Briz Escribano, Julián; de Felite Boente, Isable; Briz de Felipe, Teresa. (2010). La cadena de valor alimentaria, un enfoque metodológico. Boletín económico de ICE N° 2983. Madrid, España.
- [4] Ledesma, Manuel Alvarado. (2005). Marketing Agro Industrial. La cadena de Valor en los Agronegocios. Santiago del Estero. Editorial Ariel. Argentina.
- [5] Peña, Yadira; Nieto Alemán, Paula Andrea; Díaz Rodríguez, Fabián. (2008). Cadenas de valor: un enfoque para las agrocadenas. Revista Equidad y Desarrollo N°9:77-85. Colombia.
- [6] CODS, Centro de Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina (2020). Índice ODS 2019 para América Latina y el Caribe. Bogotá, Colombia.
- [7] Grzona, Myriam; otros. (2019). Desarrollo de un alimento nutritivo deshidratado destinado a grupos de situación de vulnerabilidad. PDTs - Universidad Nacional de San Luis. San Luis. Argentina. XIV COINI 2021 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – AACINI – UTN FR Buenos Aires 15
- [8] Grzona, Myriam; otros. (2020). Producción de un alimento saludable con energía renovable. Programa Ciencia y Tecnología contra el hambre. Argentina
- [9] Quintero, Johana; Sanchez, José. (2006). La cadena de valor: Una herramienta de pensamiento estratégico. Revista de estudios interdisciplinarios en Ciencias Sociales. Vol. 8 (3): 377-389. Venezuela.

[10] CONFEDI, Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (2018). Propuestas de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de Ingeniería. Argentina.

[11] IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2014). Valor agregado en los productos de origen agropecuario. Aspectos conceptuales y operativos. Argentina.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a los productores frutihortícolas de la ciudad de Villa Mercedes por su constante predisposición a las propuestas presentadas por el equipo de investigación. De forma especial, queremos agradecer al equipo de gestión de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias por hacer posible el trabajo en la planta piloto. Por último, deseamos agradecer a la Secretaría de Vinculación de la Universidad Nacional de San Luis que ha confiado en este equipo de investigación para el desarrollo de este menú saludable

Six Sigma y Costos de calidad en el sector vitivinícola. El caso de Bodega Chandon en Mendoza

Anzoise, Esteban

esteban.anzoise@frm.utn.edu.ar

González, Celia

celia.gonzalez@azerconsultores.com

Bertoni, Juan José

juanjosebertoni@gmail.com

Scaraffia, Cristina A.

cscaraffia@frm.utn.edu.ar

*Instituto de Gestión Universitaria – Grupo IEMI
Facultad Regional Mendoza, UTN (Argentina)*

Fecha de recepción: 25/12/2021³

Fecha de aprobación RIII: 03/06/2022

RESUMEN

La caída en el consumo de vino espumante en el mercado interno de Argentina del 45% (2015-2019) luego de un crecimiento sostenido del 227% (2000-2015); junto con el incremento en el número de bodegas fraccionadoras de vino espumante de 61 a 143 (2005-2016) y la caída en el volumen de exportaciones del 27% (2012-2019) genera un escenario altamente competitivo con márgenes de rentabilidad decrecientes. Este estudio piloto busca identificar el modelo de costos de calidad prevalente en las bodegas fraccionadoras de vino espumante para contribuir a la mejora tanto de su nivel de rentabilidad como su competitividad global. En consecuencia, se plantea el estudio del caso de Bodegas Chandon, líder en el mercado de vino espumante a nivel nacional y global, localizada en la provincia de Mendoza, que posee el 30% del mercado argentino de vino espumante al año 2021 y exporta el 20% de su producción. Este estudio piloto identifica que el modelo prevalente de costos de la calidad permite alcanzar el 100% de productos conforme a especificaciones con un costo finito de la calidad. Este análisis también muestra una correlación negativa entre los costos de fallas internas y el porcentaje de productos conforme a especificaciones. Este estudio identifica que el logro del 100% de productos conforme a especificaciones en una bodega con un alto nivel de producción se centra en la mejora de cada puesto de trabajo como alternativa tan válida a la de la incorporación de alta tecnología, sin las considerables inversiones que ésta implica. Este enfoque se puede extender a las restantes 142 bodegas fraccionadoras de vino espumante que conforman el 15% del sector vitivinícola. A la fecha, hay una ausencia de investigación para determinar el modelo prevalente de costos de la calidad en el sector. Este estudio permite avanzar en esta área.

Palabras Claves: costos de la no calidad, modelo de costos de la calidad, vitivinicultura, nivel sigma, bodegas fraccionadoras, vino espumante

³ **Artículo Premiado** en el XIV COINI 2021

Six Sigma and quality costs in the wine industry. The case study of Bodega Chandon in Mendoza

ABSTRACT

The 45% drop in the consumption of sparkling wines (2015 to 2019) after a steady growth of 227% (2000-2015); the increase in the number of sparkling wine houses (61 to 143) and the 27% drop in exports (2012-2019) generated a highly competitive market and decreasing profitability. This pilot study aimed at identifying the prevalent quality cost model in sparkling wine houses and its impact on their profitability. With a case study approach, this exploratory longitudinal research analyzed Bodegas Chandon as the market leader in sparkling wine in Argentina. This study shows the prevalence of the finite quality cost model, which would allow production at 100% product conformity to specifications with a finite quality cost. The analysis also shows a negative correlation between total quality costs and the rate of product conformity to specifications. This indicates that improving each job along the production line and a production process is as valid an option as adopting very costly high technology production lines to reach 100% product conformity to specifications. This approach may improve the financial results of the sparkling wine houses (15% of the winery sector). To date, there is a lack of research on the prevalent quality cost model in the winery sector, and this study fills the gap in the existing literature..

Keywords: PAF model, quality cost model, urban winery, sigma level, viticulture, sparkling wine

Six Sigma e custos de qualidade na indústria do vinho. O estudo de caso da Bodega Chandon em Mendoza

RESUMO

A queda de 45% no consumo de vinhos espumantes (2015 a 2019) após um crescimento constante de 227% (2000-2015); o aumento do número de casa de espumantes (61 para 143) e a queda de 27% nas exportações (2012-2019) geraram um mercado altamente competitivo e com rentabilidade decrescente. Este estudo piloto teve como objetivo identificar o modelo de custo da qualidade prevalente nas casas de espumantes e o seu impacto na rentabilidade. Com uma abordagem de estudo de caso, esta pesquisa longitudinal exploratória analisou Bodegas Chandon como líder de mercado em vinhos espumantes na Argentina. Este estudo mostra a prevalência do modelo de custo de qualidade finito, que permitiria a produção com 100% de conformidade do produto às especificações com custo de qualidade finito. A análise também mostra uma correlação negativa entre os custos totais da qualidade e a taxa de conformidade do produto com as especificações. Isso indica que melhorar cada trabalho ao longo da linha de produção e de um processo de produção é uma opção tão válida quanto adotar linhas de produção de alta tecnologia muito caras para atingir 100% de conformidade do produto com as especificações. Esta abordagem pode melhorar os resultados financeiros das casas de espumantes (15% do setor vinícola). Até o momento, há uma carência de pesquisas sobre o modelo de custo da qualidade prevalente no setor vinícola, e este estudo preenche uma lacuna na literatura existente.

Palavras chave: PAF, modelo de custo de qualidade, vinícola urbana, nível sigma, viticultura, vinho espumante

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación actual del mercado interno de vinos espumantes

A diferencia del consumo de vino común que cae 75% en el período 1980-2018 [1], el consumo de vino espumante en Argentina muestra una tendencia de consumo creciente de 3.25 millones de litros (1980) a 29.6 millones de litros (2019) con un pico de 45.8 millones de litros en 2015 [2] (figura 1). Ambos productos enfrentan el impacto del cambio generacional que desplaza la preferencia por el consumo de productos sustitutos como la cerveza y las bebidas blancas [1, 3].

Al año 2018, la baja rentabilidad de la industria del vino común (entre 3.4% y 5.95% en el período 2006-2018 [4]) se suma a una profunda crisis interna en el sector vitivinícola argentino [5] que lleva a una disminución del 11% en el número de bodegas en Argentina [6-8]. En el mismo período, el número de bodegas orientadas a la producción de vino espumante, espumosos frutados y frisantes muestra un crecimiento sostenido. De 16 bodegas productoras de espumante registradas en 1997/98 [2], su número crece de 61 a 143 en el período 2005-2016 [9, 10]. Su distribución geográfica sigue mostrando una fuerte concentración en la provincia de Mendoza (69% en 1997/98 y 85% en 2016) [2, 10]. Del total de ellas, Bodegas Chandon sigue manteniendo el liderazgo del mercado con el 40% de participación en 1997/98 [2] y decreciendo al 30% en 2021 [11, 12].

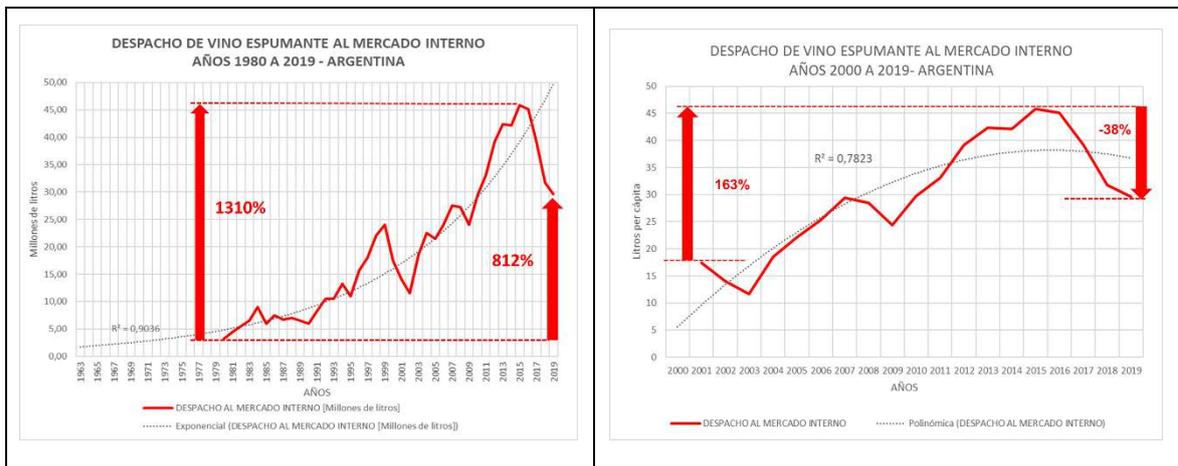


Figura 1 Despacho de vino espumante al mercado interno en Argentina entre 1980 y 2019. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Observatorio Vitivinícola Argentino.

1.2. Participación creciente en el mercado mundial

En la década de los 90s, el complejo vitivinícola argentino destinaba el 84% de la producción vitivinícola a la producción de vinos y el 16% a la producción de mostos virgen y sulfitados. El 94% del vino producido se destinaba al mercado interno y el 6% al mercado externo [13]. Al año 2018, el complejo vitivinícola argentino destinaba el 81% de la producción vitivinícola a la producción de vinos y el 19% a la producción de mostos virgen y sulfatados. El 66% del vino producido se destinaba al mercado interno y el 34% al mercado externo (con un valor FOB promedio de U\$2.57/litro) como se muestra en la Figura 2 [14]. La respuesta, a la caída del mercado interno del consumo de vino común, no fue la mejora de las características organolépticas en respuesta al cambio generacional, desde una perspectiva de calidad basada en la creación de valor para el usuario final, sino el foco en la exportación de vinos varietales de media y alta gama. Las exportaciones de vino crecieron en el período 2002-2019 el 1102% en valor FOB(U\$) y el 249% en volumen en litros con distintos altibajos [15]. La producción mundial de vino creció 7.1% en el período 2000-2019 y el sector vitivinícola argentino mantuvo el 5to lugar como

productor vitivinícola en el período 2002-2019 y su posición como el 9no exportador de vinos en el mismo período. Sin embargo, solo obtuvo un valor de 2,60 €/litro frente a un valor global promedio de 3.00 €/litro y valores máximos de 6,90 €/litro [16] al año 2019 [1, 17].

En contraste, al año 2019, el 89% del vino espumante, producido en Argentina, se destinaba al mercado interno y el 11% al mercado externo (con un valor FOB promedio de u\$s5/litro = 4.23 €/litro) [2, 13]. Las exportaciones de vino espumante crecieron en el período 2000-2019 el 121% en valor FOB(U\$S) y el 199% en volumen en litros con distintos altibajos La producción mundial de vino espumante alcanzó los 2000 millones de hl en 2018 lo que representó un crecimiento del 57% desde el año 2002. La producción está altamente concentrada en cinco países que suman el 80%: Italia (27%); Francia (22%); Alemania (14%); España (11%) y USA (6%). El consumo global de vino espumante se incrementó linealmente de 12 millones de hl en 2002 a 19 millones de hl en 2018 y representa el 8% del total consumido de vino a nivel global al año 2018. Su comercialización a nivel internacional exhibe un valor global promedio de 7.00 €/litro [16] al año 2018 [17-19]. Al año 2019 el sector vitivinícola argentino todavía no figura entre los principales productores y/o exportadores de vino espumante.

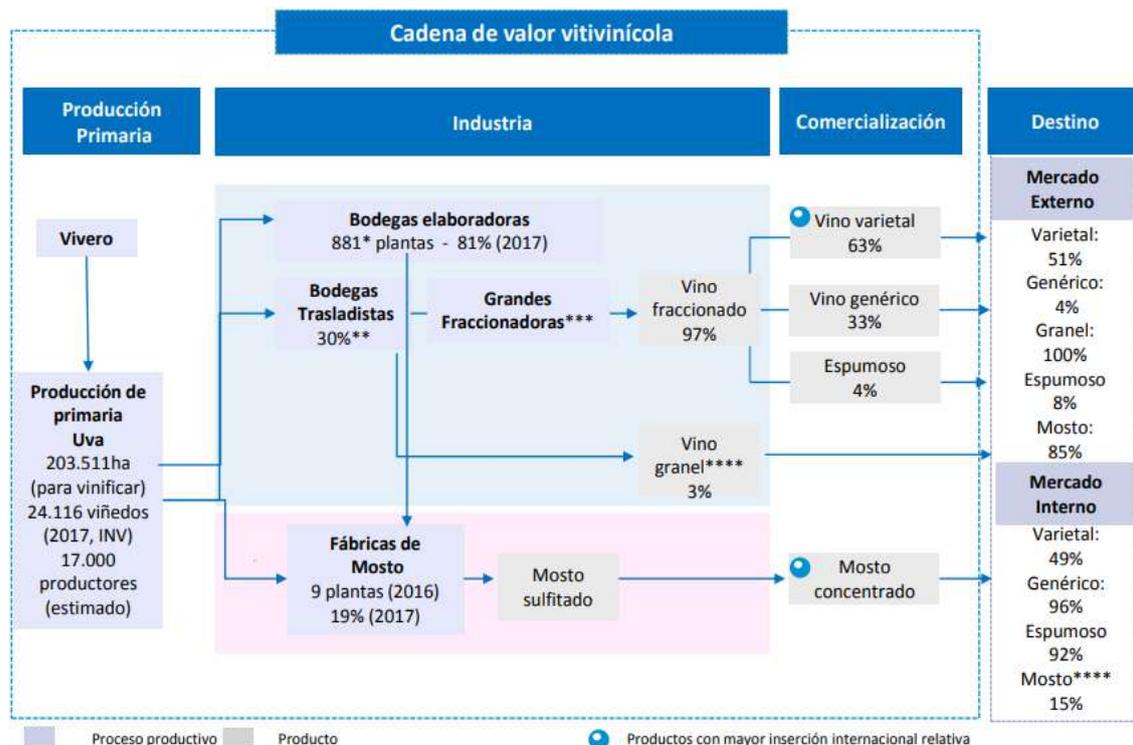


Figura 2 Cadena de valor vitivinícola. Fuente: Reproducido de Secretaría de Política Económica. (2018). Informes de Cadenas de Valor - Vitivinícola. Retrieved from CABA, Argentina: <https://www.senado.gob.ar/upload/32046.pdf>

La estrategia para impulsar el consumo del mercado interno fue la mejora de las características organolépticas en respuesta al cambio generacional, desde una perspectiva de calidad basada en la creación de valor para el usuario final [11, 20]. En el caso de Bodegas Chandon, desde su creación en 1960², ha mantenido el liderazgo en el sector por la introducción de sucesivas innovaciones para poder superar el límite impuesto por los métodos de producción existentes³. Entre ellas puede mencionarse: el inicio de plantaciones de vides de alta calidad para espumantes; crea la categoría Extra Brut⁴ (inédita en el mundo y la más consumida en Argentina); instala el primer tanque para elaborar espumantes bajo el método Charmat en grandes volúmenes (1970); crea el primer Brut Nature del mercado⁵ (80s); inicia

el desarrollo de grandes extensiones de viñedos en altura, entre 1200 a 1600 m sobre el nivel del mar, para mejorar la calidad de su producto a partir de uvas con una mayor concentración de acidez natural y equilibrio poli fenólico (1994-2012); instala el formato Chandon 1876 para hacer menos formal el consumo de espumantes (1999); e introduce en el mercado Chandon Délice⁷ (2012), y Chandon Apéritif⁸ (2016) [11, 21].

Aunque factores económicos tales como el tipo de cambio y la inflación [22] surgen como restrictores del crecimiento exportador del sector, diversos trabajos identifican el impacto de los cambios regulatorios e institucionales acaecidos como decisivos en el perfil competitivo del sector [23]. Puede mencionarse el alto costo logístico para acceder al puerto de Buenos Aires vía transporte por camiones (70% más caro que hacerlo por tren) [24]; la opción de exportar vía puerto de Valparaíso en Chile (lo que suma costos aduaneros extras al transporte vía camión) [24]; y la ausencia de acuerdos bilaterales que permitan llegar a las góndolas con arancel cero a mercados como la Unión Europea, China, Estados Unidos y Canadá (una brecha entre 43% y 57% respecto de Chile) [25] actúan como elementos negativos en el costo final del producto independientemente de la forma de envasado.

Puede deducirse que el foco en las características organolépticas no es suficiente para mejorar la posición competitiva del vino espumante producido en Argentina a nivel mundial. Es necesario mejorar el costo de los procesos de modo de lograr el 100% de productos conforme a especificaciones en el proceso de fraccionamiento y embotellado para lograr reducir los costos operacionales y contribuir a incrementar el resultado neto operativo de las bodegas productoras y fraccionadoras de vino espumante.

2. PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD

El análisis de contexto realizado para el sector vitivinícola argentino, y en particular para las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) que conforman las bodegas de fraccionamiento y traslado de vino espumante en la provincia de Mendoza, muestra que el foco de los procesos de calidad centrados en las características organolépticas de los vinos varietales de media y alta gama no es suficiente para mejorar la posición competitiva a nivel global. Las asimetrías respecto de los productores en los mercados destino, en relación con costos logísticos, barreras arancelarias, costos de financiamiento y estabilidad económica entre otros factores, requiere un incremento en la productividad definida como el cociente producción-insumos dentro de un periodo, considerando la calidad [26, 27]. Es necesario mejorar los procesos de fraccionamiento y embotellado de modo de lograr el 100% de productos conforme a especificaciones para reducir los costos operacionales y contribuir a incrementar el resultado neto operativo de las bodegas.

En el contexto de las PyMEs, la implementación de sistemas de gestión de calidad, así como la identificación y reducción de los costos de la calidad no figuran como prioritarios en sus objetivos. Al año 2019, el relevamiento de las expectativas de las PyMEs en Argentina realizado por PricewaterhouseCoopers muestra que los temas de mayor preocupación incluyen inflación; fuentes de financiamiento y conflictividad laboral. Como respuesta a dichos factores de contexto, las principales acciones reportadas para afrontar los desafíos del año 2019 incluyen el desarrollo de nuevos negocios, el desarrollo de nuevos canales de comercialización y la reducción de costos y análisis del margen de rentabilidad [28]. No surge en dicho relevamiento la mejora de la productividad sin descuidar la calidad o el incremento de acciones para mejorar la calidad de los procesos y reducir los costos de la calidad.

Diversos factores, tales como el lugar que ocupan las PyMEs en la cadena de valor y a las posibilidades reales de reconversión productiva, consolidaron en la década de los 90s una serie de concepciones

erróneas acerca de la utilidad de “producir con calidad” en un porcentaje mayoritario de productores primarios de diversas cadenas agroindustriales, así como de Pequeñas y Medianas Empresas. El sector vitivinícola argentino no fue una excepción a esta visión equivocada de la calidad que puede sintetizarse en los siguientes enunciados: “1) La búsqueda de calidad provoca un incremento de los costos fijos y variables de la explotación, afectando negativamente el nivel de la rentabilidad; 2) la adopción de procesos productivos (cambio en la función de producción) encaminados a priorizar la calidad afecta negativamente la productividad de los factores, acarreando una pérdida de competitividad; 3) un adecuado manejo de la etapa final de la producción es suficiente para asegurar la calidad del producto; y 4) si el comprador (industrial, distribuidor o consumidor final) no demanda mayor calidad es inútil producir con ese parámetro u objetivo” [13, p. 165].

Es difícil establecer las causas de dicha visión equivocada de la calidad entre las organizaciones. Un factor posible es la complejidad y los costos inherentes de implementar un sistema de gestión de calidad en organizaciones civiles en USA y UK mediante la implementación de diferentes y sucesivas normas como BS5750 (año 1979), ANSI/ASQC Z1.15 (año 1979) y la serie ISO 9000 (fines de 1987) y sucesivas versiones. Otro factor posible es la existencia de dos modelos de costos de calidad contradictorios en sí respecto del costo de calidad para alcanzar el 100% de productos conformes a especificaciones, así como los procesos requeridos para ello.

El modelo clásico de costos de la calidad fue planteado por Juran en 1951. En el año 1951 Joseph M. Juran brinda respuestas a preguntas tales como cuánto es un gasto tolerable en calidad y cuanta calidad es suficiente que estaban presente en el contexto industrial de Estados Unidos. Juran afirma que los costos de la calidad no son los costos del Departamento de Calidad [29] y demuestra que cada proceso productivo está planificado con un nivel de “costo de la mala calidad” que es inherente al modo con el que el proceso se planificó, a las máquinas que se utilizan, al diseño de la planta de producción, etc. Dado que existen siempre innumerables fuentes de variabilidad, deben implantarse actividades de control de calidad para que el “costo de la mala calidad” no se dispare. Armand V. Feigenbaum, en línea con las ideas planteadas por Juran, define los costos de la calidad como “aquellos costos asociados con la definición, creación, y control de la calidad así como la evaluación y realimentación de los productos conformes con calidad, confiabilidad y requerimientos de seguridad, y aquellos costos asociados con las consecuencias de fallar en cumplir los requerimientos de producción así como en las manos de los clientes” [30]. Los costos de calidad así identificados se clasifican de la siguiente manera: 1) Costos de prevención: Costos derivados de un esfuerzo con el objeto de prevenir desviaciones, imputables a las actividades dedicadas a evitar la aparición de no conformidades (fallas) [29-31]; 2) Costos de evaluación: Costos derivados de un esfuerzo para verificar la calidad del producto y la detección de desviaciones, imputables a la verificación de la conformidad de los productos con las exigencias de calidad [30]; 3) Costos de fallas internas: Costos resultantes de desviaciones encontradas antes de llegar el producto al cliente, imputables a pérdidas ocasionadas como consecuencia de no conformidades detectadas en la propia empresa [30]; y 4) Costos de fallas externas: Costos resultantes de desviaciones encontradas después de entregar el producto al cliente, imputables a pérdidas ocasionadas como consecuencia de no conformidades detectadas por el propio cliente. Se tratan los costos tangibles, es decir, los que se pueden medir [30]. Feigenbaum destaca la alta proporción de los costos de calidad en el PBI que puede alcanzar del 7% al 10% o incluso un porcentaje superior del total de ventas [32, p. 5] por lo que su reducción permitiría mejorar los resultados operativos de las organizaciones y la posición competitiva de los productos .

En su propuesta original de 1952, Juran señala la existencia de un nivel de costos óptimo de la calidad que se debe identificar (Modelo Clásico en la figura 3) por lo que no es posible alcanzar el 100% de productos conforme a especificaciones con un costo total finito. En un extremo del proceso los costos de verificación y prevención son cero cuando el producto es 100% defectuoso (límite izquierdo de la

figura). Para mejorar la calidad, se aumentan los costos de prevención y verificación para tratar de obtener “la perfección” entendida como el 100% de productos conformes. En dicho extremo del proceso, los costos de prevención crecen asintóticamente, llegando a hacerse infinitos para el 100% de la conformidad; y los costos de fallos se reducen a cero. Por ende, la curva de costos resultante de considerar los costos básicos de fabricación como materiales, mano de obra, instalaciones (costos constantes independientemente de la calidad de conformidad) y la curva de los costos de calidad presenta un mínimo. En consecuencia, la mejor decisión es identificar dicho mínimo y alcanzar el nivel de producción de productos conformes que mantiene los costos totales de operación en su menor valor. Este principio propuesto en los 50s todavía sigue teniendo amplia difusión en diversos sectores industriales como el turístico [33], bioquímico [34, pp. 21-22], modelado de cadenas de suministro [35], agroindustrial [36, pp. 52-56], seguridad en sistemas de transporte [37] así como el académico [38-40] modelando el proceso de decisión de profesionales y por ende la actitud de las organizaciones hacia la calidad como algo costoso de alcanzar.

Como alternativa a este modelo, a través de las ediciones más actuales del Manual de Control de la Calidad [41], se puede observar que Juran también postula la existencia de otro modelo identificado como el Modelo de Costos Finitos de Calidad. Este segundo modelo postula que es posible alcanzar la calidad perfecta a un costo finito quedando definido el nuevo modelo de costos óptimos de la calidad con cero defectos como se muestra en figura 3. En este modelo, los costos de fallas se igualan a cero y los costos de prevención y evaluación toman un valor finito cuando se logra el 100% de productos conforme a especificaciones. Por ende, los costos de calidad toman un valor finito para el 100% de productos conforme a especificaciones. American Society for Quality (ASQ) define los costos de la calidad como “la diferencia entre el costo real de un producto o servicio y lo que sería el costo reducido si no hubiera la posibilidad de un servicio con un nivel por debajo de los estándares establecidos, productos fallados o defectos en su fabricación” [42, p. 5] y sigue identificando las componentes de costos de calidad propuestas por Feigenbaum.

Tanto Juran como ASQ [42] plantean los límites de alcanzar el 100% de productos conforme a especificaciones con un costo finito. Una restricción es la dificultad de identificar todas las causas posibles por lo que no sería posible “alcanzar la perfección a un costo finito” [43, p. 8.22]. Sin embargo, el reporte de productos no conformes por parte del cliente permitiría dicha identificación y por lo tanto su cuantificación. Una segunda restricción planteada es que solo en industrias altamente automatizadas con procesos de inspección automáticos que permiten alcanzar un muy bajo nivel de defectos sería este modelo viable económicamente [42, 43].

Dado que las compañías nunca publican los datos relacionados con sus costos de calidad y la definición de costos de calidad, así como la métrica para medirlos varía sustancialmente, existe nula o mínima evidencia que soporte la prevalencia de unos de estos dos modelos [43]. A la fecha, hay una ausencia de investigación para determinar el modelo prevalente de costos de la calidad en el sector bajo análisis. Este estudio permite avanzar en esta área y brinda soporte a la efectiva prevalencia del modelo de costos finitos de calidad. Igualmente argumenta a favor de que es posible alcanzar el 100% de productos conforme a especificaciones con un valor finito de calidad mediante la mejora de cada puesto de trabajo y de los procesos relacionados en lugar de la incorporación de tecnología de alto costo.

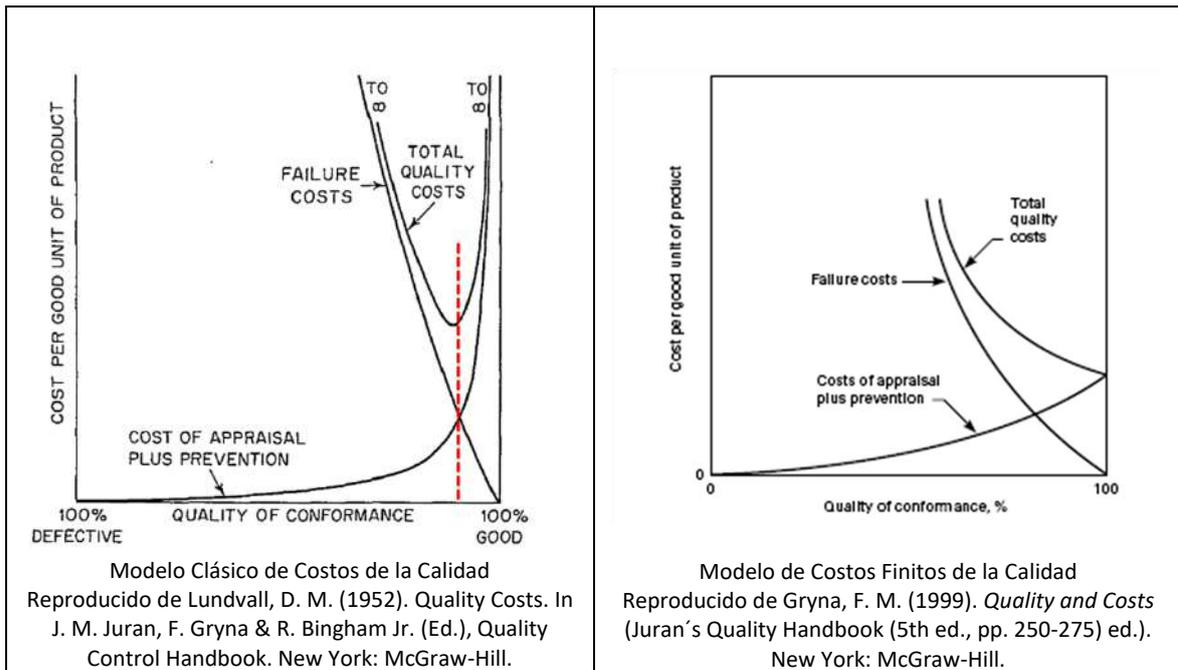


Figura 3 Modelos de costos de la calidad.

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para esta investigación se estableció una metodología de estudio de caso y se identificó y analizó la estructura de los costos de la calidad en el sector vitivinícola en la región de Cuyo en el período 2010 – 2013 con el análisis del caso particular de Bodegas Chandon S.A., la principal bodega elaboradora y fraccionadora de vinos espumantes en Mendoza y Argentina. Por razones de confidencialidad de los datos el nombre del producto bajo análisis se identificará como Producto A en este trabajo. El marco metodológico elegido para esta investigación corresponde a un paradigma cuantitativo, con un diseño de investigación exploratorio/descriptivo, no experimental y de corte longitudinal. Los datos surgen del proceso de fraccionamiento y etiquetado del Producto A en el período 2010 – 2013. Para esta investigación se establecerá la siguiente hipótesis de investigación o hipótesis alternativa:

Ha: Existiría una correlación negativa entre los costos de la calidad de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013 y el nivel de Seis Sigma de dicha línea de fraccionamiento.

En consecuencia, la hipótesis nula será:

Ho: Existiría una correlación positiva entre los costos de la calidad de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013 y el nivel de Seis Sigma de dicha línea de fraccionamiento.

Las hipótesis complementarias se pueden enunciar como:

H1: A mayor nivel de Seis Sigma se reducirían los costos de fallas internas de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013.

H2: A mayor nivel de Seis Sigma se incrementarían los costos de prevención y evaluación de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013.

H3: A mayor nivel de productos conformes se reducirían los costos totales de calidad de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013.

4. RESULTADOS

A partir de la recolección de datos y la identificación del porcentaje de productos conformes a especificaciones en la línea de fraccionamiento del Producto A considerado en el período 2010 – 2013 se calcularon los costos totales de calidad, así como el valor de los costos de evaluación, prevención y fallas internas. Bodegas Chandon S.A. centraliza sus acciones de calidad a través de la Gerencia de Calidad integrada por el gerente del área y cuatro analistas de calidad. Para este estudio, los costos se consideraron todos a valores 2018 para independizar los valores del impacto de la inflación en el período 2010 -2013. La compañía ha certificado ISO 9000:2005 y ha integrado la metodología como parte de sus procesos operativos, sin embargo, no lleva registros de los costos de fallas externas al ser proveedor directo de canales mayoristas de venta. Al año 2019-2020 no estaba previsto implementa la metodología Seis Sigma en Bodegas Chandon S.A. Si bien el análisis de los procesos de envasado y etiquetado se realiza desde el Modelo de Costos de la Calidad, se extiende para determinar el nivel sigma de los mismos. Esto permitiría promover el desarrollo de acciones de calidad en organizaciones similares al mostrar el impacto positivo en los costos organizacionales y desmitificar la complejidad de la implementación de las mismas.

Siguiendo el Modelo de Costos de la Pobre Calidad de Harrington [44] se incluye en la componente Costos de Prevención de los Costos Totales de la Calidad los costos de desarrollo de un plan de control de calidad; encuestas a proveedores; implementación de un proceso de mejora; realización de mejoras de diseño conceptuales y acciones preventivas para evitar problemas. El área no lleva registros del costo del desarrollo e implementación de un sistema para reportar datos relacionados con la calidad (Compras) ni de los costos de entrenamiento relacionado con la calidad (RRHH). El valor del costo de prevención se obtiene de las horas promedio de analista asignadas a estas tareas por secuencia de las operaciones de envasado (\$550) y etiquetado (\$1100). Siguiendo el mismo criterio, la componente Costos de Evaluación de los Costos Totales de la Calidad incluye el costo de las muestras; las horas de inspección y testeo para determinar la conformidad del vino espumante envasado y etiquetado a especificaciones; la revisión de los datos de inspección y testeo y el reporte y procesamiento de datos de la calidad. El área no lleva registros del costo de mantenimiento y calibración de los equipos de inspección y testeo (Producción). La compañía no realiza la inspección de materiales comprados dado el desarrollo previo de los proveedores realizado. Finalmente, la componente Costos de Fallas Internas de los Costos Totales de la Calidad incluye los costos de rotura de botellas, reemplazo de cápsulas, cuellos, etiquetas, contra etiquetas, corchos, cajas y separadores. No hay registros de las horas de reproceso ni el costo vino espumante por reproceso (vino desperdiciado a consecuencia de reprocesar una botella).

Para el análisis de Seis Sigma la salida de las líneas de embotellado y etiquetado se analizan utilizando una distribución de Poisson ya que son eventos discretos, se debe medir si pasa o no pasa, la probabilidad de ocurrencia es constante en el tiempo (por la velocidad de las líneas de producción), los eventos son independientes uno del otro y no hay límite superior al número de ocurrencias de cada evento durante el tiempo de observación [45]. En consecuencia, el rendimiento del proceso Y puede verse como la probabilidad de que la distribución caiga dentro de especificaciones o probabilidad de cero fallas. En este caso λ es el número promedio de defectos que iguala a la definición del índice DPU (defectos por unidad)⁹ (Ecuación 1) [46].

$$Y = P(x = 0) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} = e^{-DPU} \quad (1)$$

Luego, para convertir el valor hallado al nivel de sigma de largo plazo se halla el valor de Z correspondiente (ZY) en una tabla de distribución estándar y el valor de sigma del proceso (ZC) a través de la Ecuación 2

$$Z_c = 1.5 + Z_y \quad (2)$$

Para realizar el análisis estadístico inferencial asociativo, se realizó inicialmente la verificación de normalidad de las variables consideradas. El análisis estadístico inferencial asociativo muestra que, para el proceso de envasado, existe una correlación negativa estadísticamente significativa entre la variable independiente Costos de Calidad y la variable dependiente Nivel de Sigma de Corto Plazo ($F(1,57) = 5.233, p < .05$) (figura 4). La correlación negativa significa que a medida que los costos totales de calidad disminuyen el Nivel de Sigma de Corto Plazo crece aproximándose a 6. El valor ajustado de R^2 es de .068 lo que indica que el 7% de la variación en el Costo de la Calidad es explicado por el porcentaje de productos conformes y por ende por el Nivel de Seis Sigma de Corto Plazo. Utilizando las reglas de Cohen (1988), la magnitud del efecto [$R = .29$] se halla entre pequeña y mediana o típica [47]. De igual forma, se halla que, para el proceso de etiquetado, existe una correlación negativa estadísticamente significativa entre la variable independiente Costos de Calidad y la variable dependiente Nivel de Sigma de Corto Plazo ($F(1,78) = 10.294, p < .05$) (figura 5).

En consecuencia, se descarta la hipótesis nula y se halla evidencia que soporta la hipótesis alternativa H_a que postula que existiría una correlación negativa entre los costos de la calidad de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013 y el nivel de Seis Sigma de dicha línea de fraccionamiento (y por ende del porcentaje de productos conformes a especificaciones). El análisis, desde el porcentaje de productos conforme a especificaciones, muestra que, para ambos procesos, existe una correlación negativa estadísticamente significativa entre la variable independiente Costos de Calidad y la variable intermedia Porcentaje de Productos Conforme a Especificaciones ($F(1,137) = 7.939, p < .05$) (figura 6). La correlación negativa significa que a medida que los costos totales de calidad disminuyen el Porcentaje de Productos Conforme a Especificaciones crece aproximándose a 100%. El valor ajustado de R^2 es de .048 lo que indica que el 5% de la variación en el Costo de la Calidad es explicado por el porcentaje de productos conformes. Utilizando las reglas de Cohen (1988), la magnitud del efecto [$R = .23$] se halla entre pequeña y mediana o típica [47].

En consecuencia, se halla evidencia que soporta la hipótesis complementaria H_3 que postula que a mayor nivel de productos conformes se reducirían los costos totales de calidad de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013. Estos hallazgos también proveen evidencia empírica que soporta el Modelo de Costos Finitos de la Calidad que postula que es posible alcanzar el 100% de conformidad a un costo finito y resta soporte al Modelo Clásico de Costos de la Calidad que postula que el costo de calidad crece a infinito cuando se intenta alcanzar el 100% de productos conformes.

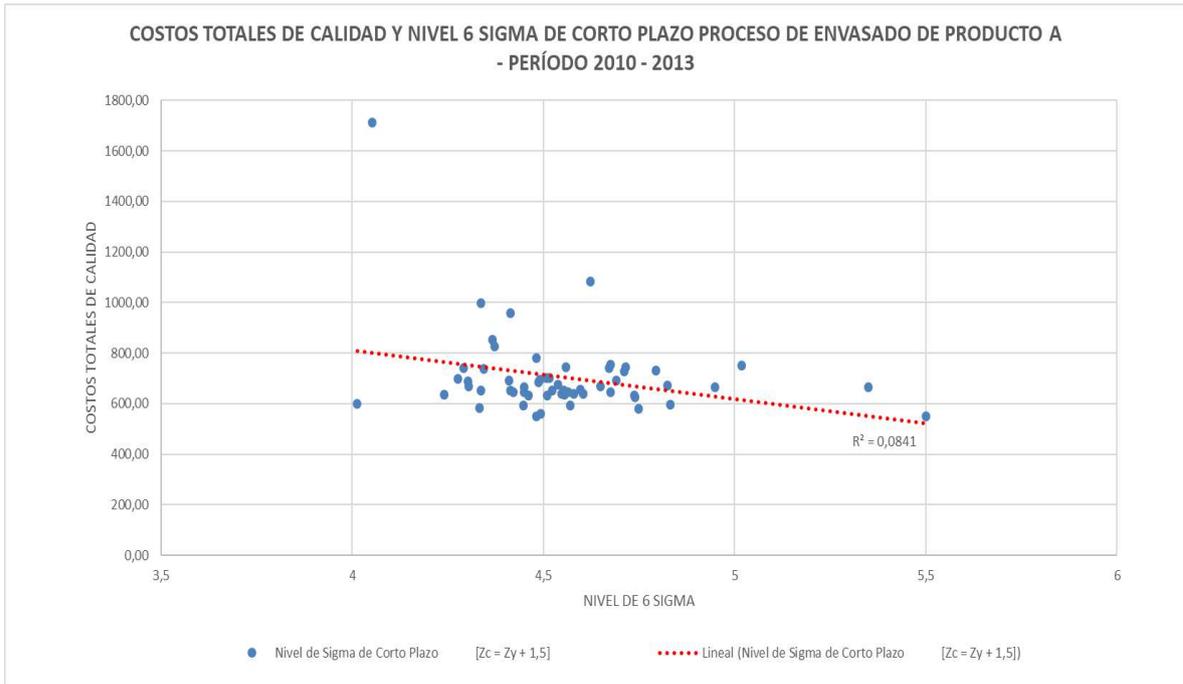


Figura 4 Costos de Calidad y Nivel sigma del proceso de envasado de la línea de fraccionamiento de Producto A. Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de Bodegas Chandon para el período 2010-2013.

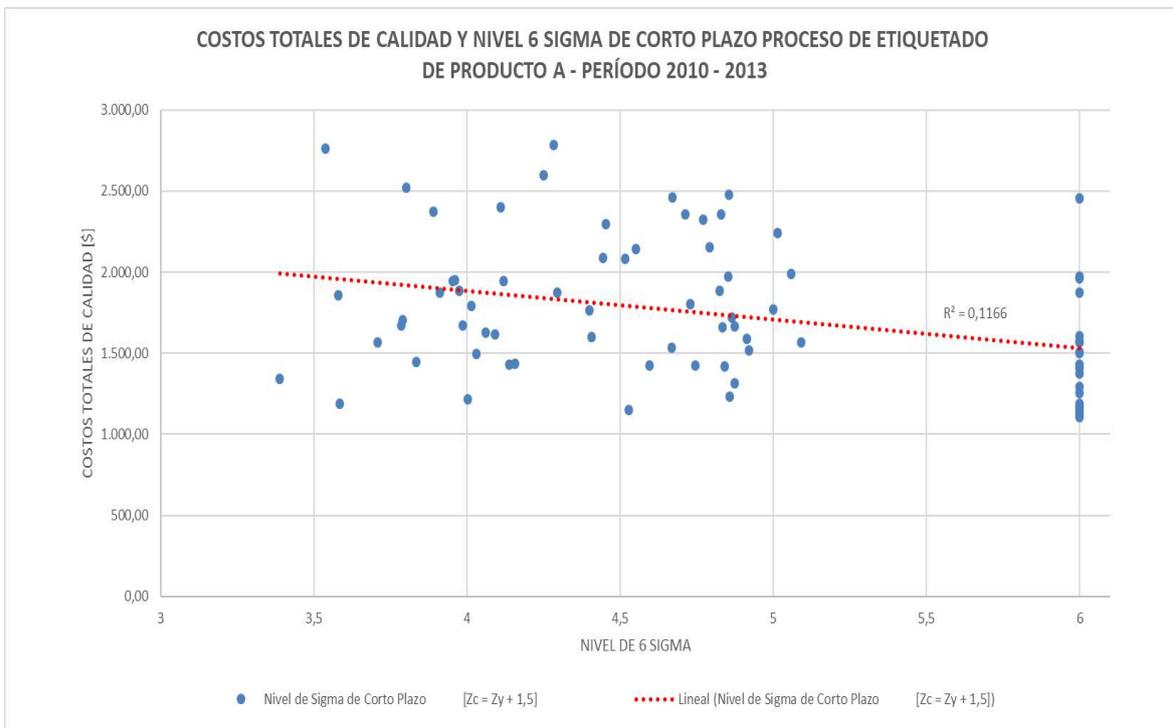


Figura 5 Costos de Calidad y Nivel sigma del proceso de etiquetado de la línea de fraccionamiento de Producto A. Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de Bodegas Chandon para el período 2010-2013.

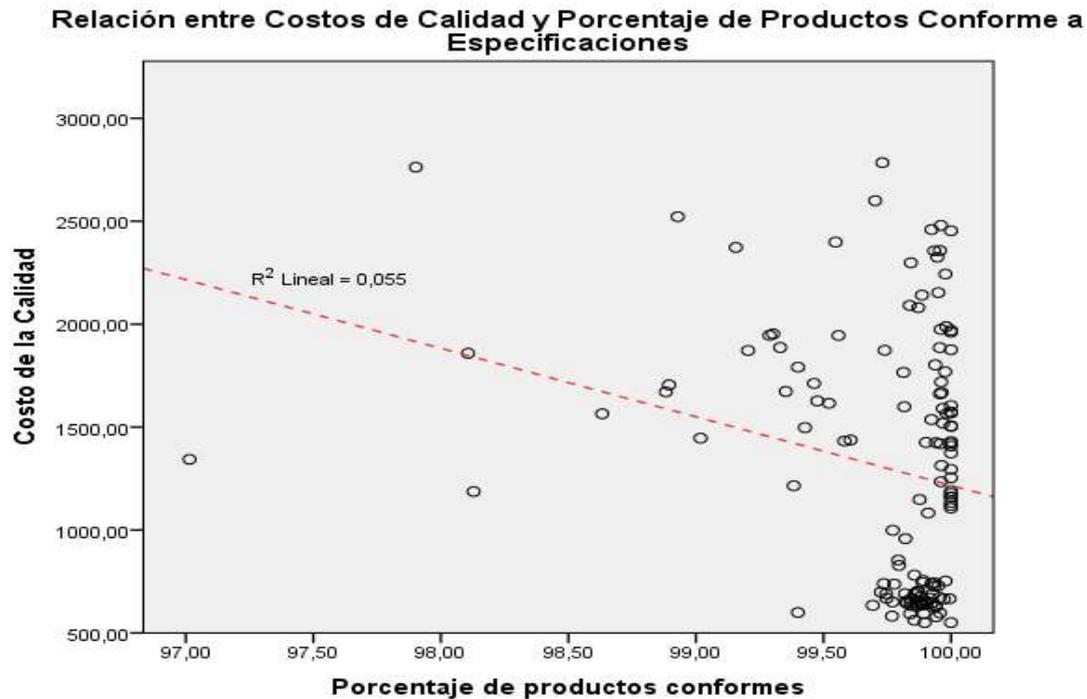


Figura 6 Variación de los Costos de Calidad con el Porcentaje de Productos Conforme a Especificaciones de los procesos de envasado y etiquetado de la línea de fraccionamiento del Producto A. Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de Bodegas Chandon para el período 2010-2013.

Ambos modelos de calidad postulan que los costos de fallas internas disminuyan a cero a medida que el porcentaje de productos conformes se acerca al valor del 100% por lo que se estableció como una de las hipótesis complementarias H1 que a mayor nivel de productos conformes se reducirían los costos de fallas internas de la línea de fraccionamiento de Producto A. Se halla que hay una correlación negativa estadísticamente significativa entre la componente Costos de Fallas Internas de la variable independiente Costos de la Calidad y la variable dependiente Nivel de Sigma de Corto Plazo ($F(1,137) = 30.62, p < .001$) (figura 7).

La correlación negativa significa que a medida que la componente Costos de Fallas Internas de la variable independiente Costos de la Calidad disminuye el Nivel de Sigma de Corto Plazo crece aproximándose a 6. El valor ajustado de R^2 es de .177 lo que indica que el 18% de la variación del porcentaje de productos conformes, y por ende el Nivel de Seis Sigma de Corto Plazo, es explicado por los Costos de Fallas Internas Utilizando las reglas de Cohen (1988), la magnitud del efecto [$R = .427$] es entre medio o típico y grande o más grande que lo típico [48]. En consecuencia, se halla evidencia que soporta la hipótesis complementaria H1 que postula que a mayor nivel de Seis Sigma se reducirían los costos de fallas internas de la línea de fraccionamiento del Producto A en el período 2010-2013 Este hallazgo también provee evidencia empírica que soporta ambos modelos de calidad que postulan que es posible alcanzar el 100% de conformidad con un costo de fallas internas igual a cero.

Como postula el Modelo Clásico de Costos de la Calidad, si se toman los costos de producción como referencia, los costos de prevención crecen asintóticamente, llegando de esta forma a ser infinitos para el 100% de la conformidad. Como alternativa a este modelo, a través de las ediciones más actuales del Manual de Control de la Calidad [49], el Modelo de Costos Finitos de la Calidad postula que es posible alcanzar el 100% de conformidad a un costo finito y por ende a un costo finito de los costos de

prevención. En consecuencia, se estableció como una de las hipótesis complementarias H2 que a mayor nivel de Seis Sigma se incrementarían los costos de prevención y evaluación de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013. Se halla que no hay una correlación estadísticamente significativa entre la variable dependiente (Nivel de Sigma de Corto Plazo) y la componente Costos de Prevención de la variable independiente (Costos de la Calidad) ya que el valor es uniforme para todo el proceso. La ausencia de correlación tanto positiva como negativa muestra que la inversión en prevención es independiente del porcentaje de productos conformes ya que se considera que el proceso se mantiene en control con las acciones que se realizan anualmente. En consecuencia, no se halla evidencia que soporte la hipótesis complementaria H2 que postula que a mayor nivel de Seis Sigma se incrementarían los costos de prevención y evaluación de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013. Este hallazgo también provee evidencia empírica que soporta el Modelo de Costos Finitos de la Calidad que postula que es posible alcanzar el 100% de conformidad con un costo de prevención finito.

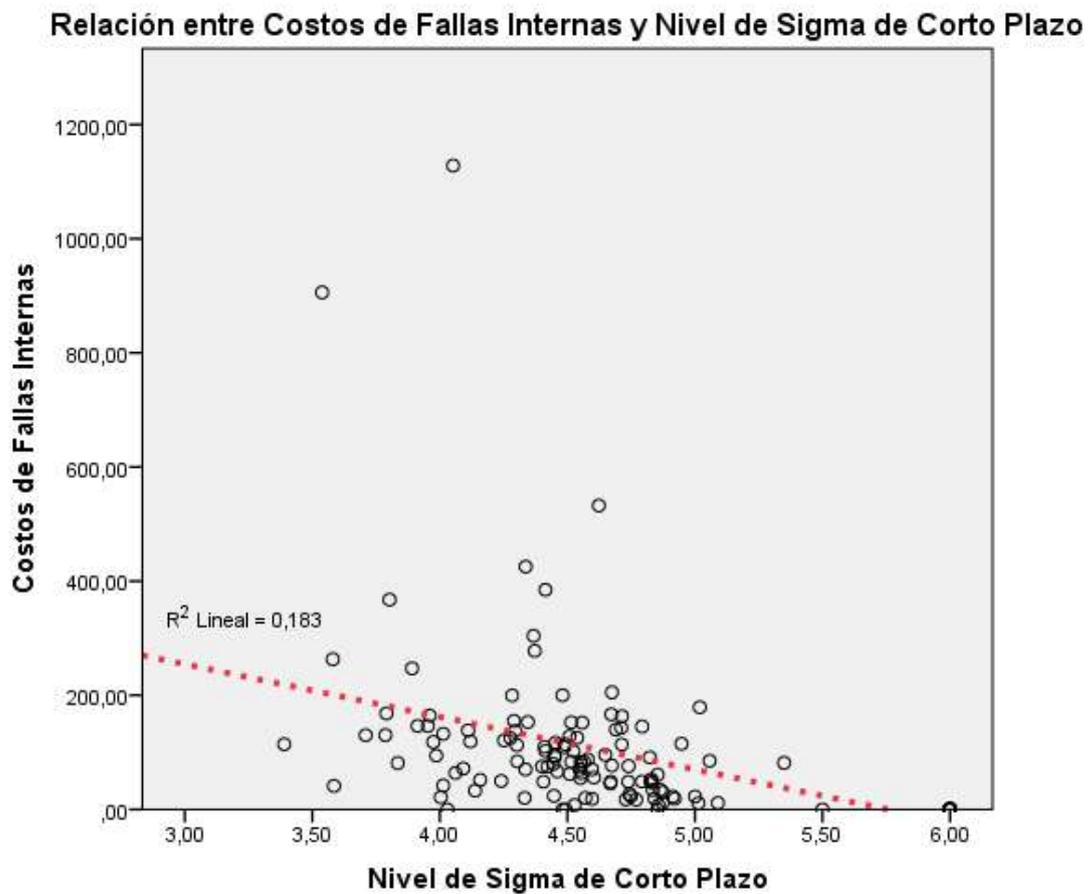


Figura 7 Correlación entre Costos de Fallas Internas y el Nivel de Seis Sigma de Corto Plazo en la línea de fraccionamiento del Producto A en el período 2010 – 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de Bodegas Chandon para el período 2010-2013.

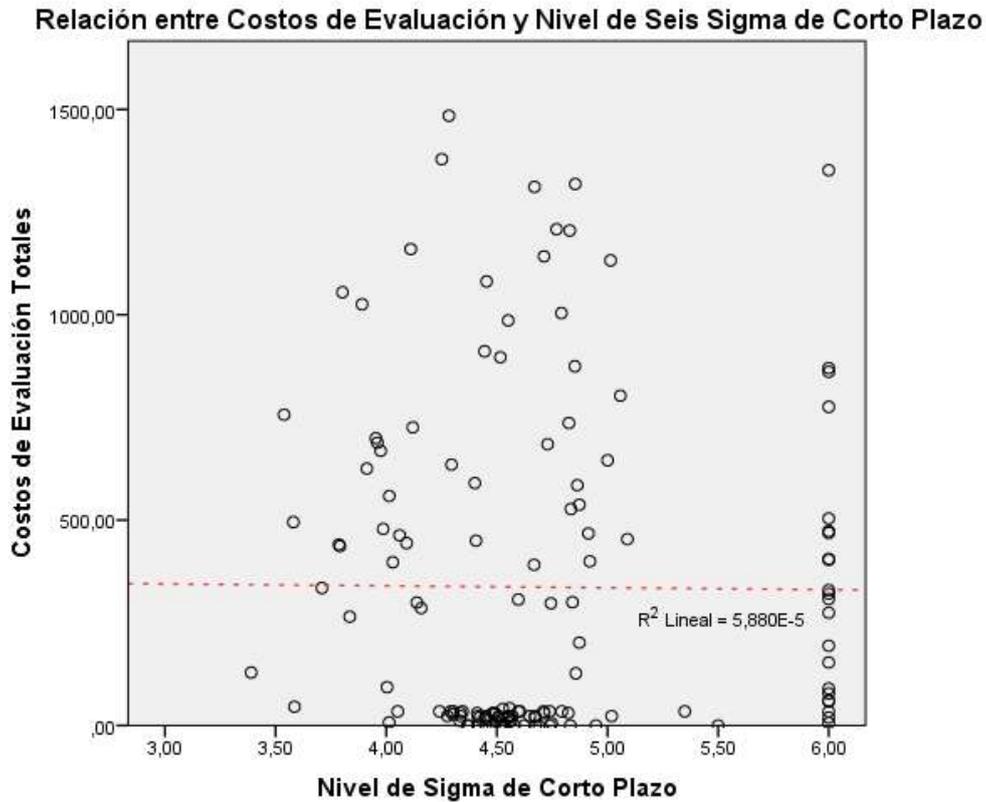


Figura 8 Correlación entre Costos de Evaluación y el Nivel de Seis Sigma de Corto Plazo en la línea de fraccionamiento del Producto A en el período 2010 – 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de Bodegas Chandon para el período 2010-2013.

Finalmente, como postula el Modelo Clásico de Costos de la Calidad planteado por Juran (1983), si se toman los costos de producción como referencia, los costos de evaluación crecen asintóticamente, llegando de esta forma a ser infinitos para el 100% de la conformidad. Como alternativa a este modelo, a través de las ediciones más actuales del Manual de Control de la Calidad [49], el Modelo de Costos Finitos de la Calidad postula que es posible alcanzar el 100% de conformidad a un costo finito y por ende a un costo finito de los costos de evaluación. En consecuencia, se estableció como una de las hipótesis complementarias que a mayor nivel de Seis Sigma se incrementarían los costos de prevención y evaluación de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013. Se halla que no hay una correlación estadísticamente significativa entre la variable dependiente (Nivel de Sigma de Corto Plazo) y la componente Costos de Evaluación de la variable independiente Costos de la Calidad ($F(1,137) = .008, p=.929$) (figura 8).

La ausencia de correlación tanto positiva como negativa muestra que la inversión en evaluación es independiente del porcentaje de productos conformes ya que se considera que el proceso se mantiene en control con las acciones que se realizan anualmente. En consecuencia, no se halla evidencia que soporte la hipótesis complementaria H2 que postula que a mayor nivel de Seis Sigma se incrementarían los costos de prevención y evaluación de la línea de fraccionamiento de Producto A en el período 2010-2013. Este hallazgo también provee evidencia empírica que soporta el Modelo de Costos Finitos de la Calidad que postula que es posible alcanzar el 100% de conformidad con un costo de prevención finito

5. CONCLUSIONES

Como primera conclusión puede enunciarse que la inversión en acciones de prevención y evaluación identificadas como las componentes de costos de prevención y evaluación de la variable costos de la calidad permite mantener los productos conformes en un porcentaje superior al 99% (solo 6% de las operaciones de envasado y etiquetado muestran entre 97% y 98.8% de productos conformes) reduciendo de esta forma los costos de reproceso y minimizando los costos de operación. Como segunda conclusión se halla evidencia empírica que soporta el Modelo de Costos Finitos de la Calidad que postula que es posible alcanzar el 100% de conformidad a un costo finito. Finalmente, como tercera conclusión, se halla que es posible alcanzar el 100% de productos conforme a especificaciones con un valor finito de calidad mediante la mejora de cada puesto de trabajo y de los procesos relacionados en lugar de la incorporación de tecnología de alto costo. Esto permite desmitificar la creencia extendida entre las PyMEs del alto costo de implementar iniciativas de calidad.

Como primera recomendación, se debería identificar la existencia o no de fallas externas (aquellas detectadas por los clientes) de modo de poder contabilizarlas en el costo total de calidad y tomar las acciones correctivas correspondientes. Como segunda recomendación, se debería incluir en el reporte de cada operación de etiquetado y envasado el costo de las horas – hombre de reproceso. Finalmente, como tercera recomendación, se debería sistematizar la captura de costos relacionados con la calidad tanto desde el punto de vista contable (incorporando las categorías correspondientes) como desde el acceso a dichos datos desde la Gerencia de Calidad para poder determinar en forma inmediata el impacto de los procesos de mejora continua implementados.

Un primer aspecto de la importancia de este estudio respecto a sus aportes teóricos originales radica en el análisis realizado sobre la relación entre los costos de la calidad y el porcentaje de productos conformes a especificaciones dada la ausencia de estudios longitudinales que mostraran evidencia a favor de uno u otro modelo. Se halla evidencia empírica que soporta el Modelo de Costos Finitos de la Calidad y resta soporte al Modelo Clásico de Costos de la Calidad. Este hallazgo permite guiar correctamente las decisiones de los responsables de calidad y mejorar el impacto de las acciones de prevención y evaluación en la reducción de productos no conformes en un proceso de mejora continua. Un segundo aspecto radica en cubrir – en este primer caso de estudio - la ausencia de estudios académicos del impacto de los costos de la calidad en las bodegas elaboradoras y fraccionadoras de vino espumante del sector vitivinícola radicadas en la región de Cuyo, Argentina. La puesta en valor de este trabajo radica en poder transferir los puntos de aprendizaje a las restantes 142 bodegas con procesos similares (al año 2016). Este resultado es también transferible al conjunto de PyMEs industriales. Un aspecto importante que facilitó el desarrollo de este estudio fue que Bodegas Chandon S.A. cuenta con registros de datos completos en lo que concierne al período de estudio seleccionado (en soporte de papel) de elementos que definen las fallas internas como rotura de botellas, colocado de etiquetas, horas de reproceso, entre otras.

La naturaleza de las limitaciones de este estudio se ubicó en los siguientes puntos: restricciones en el análisis del modelo aplicado para estudio de Costos Totales de la Calidad y la ausencia total de estudios de Costos de la Calidad previos en la empresa. En lo que respecta a las restricciones en el análisis del modelo aplicado, se hace referencia a la ausencia total del estudio de los Costos generados por fallas externas, teniendo un enfoque netamente interno. Al tener sus procesos orientados como proveedor de distribuidores mayoristas no existe un canal de comunicaciones entre Bodegas Chandon S.A. y el usuario final. Por este motivo, el estudio de Costos Totales pierde precisión a la hora de exponer todos los datos procesados obtenidos. La segunda restricción considerada hace referencia a la ausencia de estudios previos de la misma índole dentro de la industria.

6. ENDNOTES

1 Nota del autor: Entre las diversas bodegas prestigiosas que producen actualmente vino espumante en Argentina puede citarse Luigi Bosca (Boheme), Nieto Senetiner (Cadus), López (Montchenot), Catena Zapata (DV Catena), Trapiche (Fond de Cave) y Norton (Cosecha Especial). La primera ola productora (1902-1960) incluye la producción pionera de Hans von Toll; Bodega Kalless (luego Bodega Santa Ana); y Bodega Pascual Toso (Extra Toso, primer espumante nacional por el método tradicional de botella a botella en 1927).

2 Nota del autor: “En 1957, Robert-Jean de Vogüé junto a Renaud Poirier, quien luego sería el primer Chef de Cave de Chandon Argentina, viajaron desde Francia para explorar nuevas zonas para el desarrollo de espumantes. Estudiaron durante años los suelos y climas de países como Estados Unidos, Perú, Brasil, Chile y Argentina. En 1959 se decidió que, en la provincia de Mendoza, específicamente en la región de Luján de Cuyo, una zona desértica en la que nadie plantaba viñas, se podría elaborar espumantes de excelencia al mismo nivel que en la región de la Champagne en Francia. Así nace en 1960 Chandon Argentina”.

3 Nota del autor: Existen dos métodos de elaboración de champaña: el Clásico o Champenoise y el Charmat. Las principales diferencias entre ambos radican en la 2º fermentación; en el primer método esta etapa demanda de un año y medio a dos años y se cumple en las mismas botellas que posteriormente se comercializan; en el Charmat, se desarrolla en tanques cerrados herméticamente, logrando reducir la duración a sólo 20 a 30 días

4 Nota del autor: Según la concentración final de azúcares existen distintos tipos de champaña. Las denominaciones utilizadas son Nature (menor a 3 g Azúcar /l); Brut Nature (menor a 7 g Azúcar /l); Extra Brut (menor a 11 g Azúcar /l); Brut (menor a 15 g Azúcar /l); Demi Sec (entre 15 - 40 g Azúcar /l); Dulce (entre 40 - 60 g Azúcar /l); y Extra Dulce (más de 60 g Azúcar /l). Esta clasificación corresponde a las champañas que han sido o no adicionadas con distintos tipos de licores de expedición.

5 Nota del autor: Brut Nature ha sido elegido como el mejor espumante argentino en los premios Decanter World Wine Awards 2020

6 Nota del autor: La botella tradicional de vino espumante tiene una capacidad de 750 ml. Chandon introduce los formatos innovadores de 187 ml y de 375 ml.

7 Nota del autor: Chandon Délice es el primer espumante dulce para tomar con hielo y un twist de sabor, lo que lo hace ideal para servir en tragos

8 Nota del autor: Chandon Apéritif es el primer espumante bitter macerado naturalmente con naranjas y especias. Su diseño busca acercar a los amantes de los aperitivos al mundo de las burbujas, generando nuevas ocasiones de consumo. Debido a la excelente aceptación que tuvo este producto desde su lanzamiento, en 2018-2021 desembarcó en el mercado europeo (Francia, Italia, Reino Unido y Austria) y en el de USA.

9 Nota del autor: Esta métrica determina el nivel de no calidad de un proceso que no toma en cuenta las oportunidades de error. Se calcula $DPU = d / U$, donde U es el número de unidades inspeccionadas en las cuales se observaron d defectos en el mismo lapso de tiempo.

7. REFERENCIA

- [1] Anzoise, E.; et al. (2020). Costos de calidad en el sector vitivinícola. El caso de una bodega cooperativa de segundo orden en Mendoza. XIIIº CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL - COINI 2020. of Conference. CABA, Buenos Aires.
- [2] Ablin, A. (2011). El mercado del Vino Espumante, en Alimentos ArgentinosSecretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca CABA.
- [3] Anzoise, E.; González del Solar, J.; Scaraffia, C. (2020). Límites de Plan Estratégico Vitivinícola 2020 en el sector vitivinícola argentino, en VI Congreso Internacional ECEFI 2020 - Sexto Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería: ECEFI 2020. Mendoza, Argentina.
- [4] Asociación de Cooperativas Vitivinícolas Argentinas. (2017). Análisis de Precios y Rentabilidad. Sector Vitivinícola, Asociación de Cooperativas Vitivinícolas Argentinas. Mendoza, Argentina.
- [5] Badaloni, R. (2020). Conflicto de poder entre bodegueros y viñateros, en Clarín. 8934. Arte Gráfico Editorial Argentino S.A. CABA, Argentina.
- [6] Chazarreta, A.; Rosati, G. (2016). "Transformaciones vitivinícolas recientes: estructura productiva y patrones de movilidad de las bodegas. Mendoza (Argentina), 2004-2011". Revista Cuadernos. 50, p. 233-257.
- [7] Observatorio Vitivinícola Argentino. (2014). Mapa de establecimientos vitivinícolas en Argentina. Mercado interno.
- [8] Asociación de Cooperativas Vitivinícolas Argentinas. (2019). Análisis de la concentración en el mercado vitivinícola, Asociación de Cooperativas Vitivinícolas Argentinas. Mendoza, Argentina.
- [9] Hidalgo, J. (2019). The Long history of Argentina sparkling wines, en Wines of ArgentinaWines of Argentina. CABA.
- [10] Observatorio Vitivinícola Argentino. (2017). El vino espumante en Argentina, Corporación Vitivinícola Argentina. Mendoza.
- [11] Monferrán, J. (2021). De Mendoza al mundo: Chandon Argentina exporta a Francia un espumante que desarrolló en el país. Apertura.
- [12] Lacoste, P. (2003). El vino del inmigrante, en Resumen de: El vino del inmigrante y Antecedentes para la negociación en materia vitivinícola entre Argentina y la Comunidad Europea. S. Jardel. Universidad de Congreso & Consejo Empresario Argentino. Mendoza, Argentina.
- [13] Azpiazu, D.; Basualdo, E. (2001). El complejo vitivinícola argentino en los noventa: potencialidades y restricciones. , Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL). Buenos Aires, Argentina.
- [14] Secretaría de Política Económica. (2018). Informes de Cadenas de Valor - Vitivinícola, en Informes de Cadenas de Valor. 1ra. Ministerio de Hacienda de la Nación. CABA, Argentina.

- [15] Observatorio Vitivinícola Argentino. (2020). Exportaciones de vinos, en mensual. 17 de septiembre de 2020 13:32:05. Observatorio Vitivinícola Argentino. <http://observatoriova.bolsamza.com.ar/>.
- [16] International Organisation of Vine and Wine (OIV). (2020). 2019 Statistical Report on World Vitiviniculture, International Organisation of Vine and Wine. Francia.
- [17] International Organisation of Vine and Wine (OIV). (2020). State of The World Vitivinicultural Sector in 2019, International Organisation of Vine and Wine. Francia.
- [18] International Organisation of Vine and Wine (OIV). (2020). The Global Sparkling Wine Market, en OIV Focus International Organisation of Vine and Wine. Francia.
- [19] International Organisation of Vine and Wine (OIV). (2020). State of The World Vitivinicultural Sector in 2020, International Organisation of Vine and Wine. Francia.
- [20] Helft, D. (2000). Las Bodegas Chandon comienzan a exportar vinos argentinos a China. Economía.
- [21] Portelli, F. (2020). La historia de los espumantes, y por qué los nuevos argentinos ya no tienen nada que envidiar al mítico Champagne. Tendencias.
- [22] González, S. (2018). De las 20 bodegas grandes, sólo seis son de mendocinos, en Los AndesDiario Los Andes Hnos Calle S.A. . Mendoza, Argentina.
- [23] Dulcich, F. (2016). "Reestructuración productiva en un contexto de apertura y desregulación: la industria vitivinícola argentina ante los desafíos de la reducción de escala". H-industri@. 10, 18, p. 27.
- [24] Saieg, L. (2016). El costo de transportar vino en camión es 82% más caro que por tren, en Los Andes. 9118 Diario Los Andes Hnos Calle S.A. Mendoza, Argentina.
- [25] Rebón, N. (2017). Con altos costos para exportar, los vinos argentino pierden espacio en las góndolas de todo el mundo, en El Cronista ComercialEl Cronista Comercial S.A. CABA, Argentina.
- [26] Koontz, H.; Weihrich, H.; Cannice, M. (2012). Administración. Una perspectiva global y empresarial. 14va. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. Mexico, D.F.
- [27] Gullickson, W. (1995). "Measurement of productivity growth in U.S. manufacturing". Monthly Labor Review. July 1995, p. 25.
- [28] PwC Argentina. (2019). Expectativas 2019. Pymes en Argentina. 6° Encuesta a Pymes de PwC Argentina, en Encuesta a Pymes de PwC Argentina. 1st. PwC Argentina. CABA, Argentina.
- [29] Juran, J.M. (1952). Aspecto económico de la calidad, en Manual de Control de la Calidad. J.M. Juran. Editorial Reverté. Barcelona.
- [30] Feigenbaum, A.V. (1956). "TOTAL QUALITY CONTROL". Harvard Business Review. 34, 6, p. p93-101, 9p.
- [31] Feigenbaum, A.V. (1994). CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD, EDITORIAL CONTINENTAL. MEXICO

- [32] Feigenbaum, A.V. (1991). Total Quality Control, Revised Fortieth Anniversary Edition. McGraw-Hill Companies. New York.
- [33] Morillo M., M.C. (2010). "Sistemas de costos de calidad para establecimientos de alojamiento turístico". Actualidad Contable Faces. 13, 20, p. 98-113.
- [34] Organización Panamericana de la Salud. (2005). Módulo 9: El costo de la calidad, en Curso de Gestión de Calidad para Laboratorios Organización Mundial de la Salud. Washington D.C.
- [35] Castillo-Villar, K.K.; Smith, N.R.; Simonton, J.L. (2012). "A model for supply chain design considering the cost of quality". Applied Mathematical Modelling. 36 p. 5920-5935.
- [36] Serrano, P.M. (2013). Evaluación de los Costos de Calidad en un Tambo Bovino, como Resultado de la Implementación de un Sistema de Aseguramiento de la Calidad, SAC, Higiénico-Sanitaria de la Leche, en Instituto de la Calidad Industrial, INCALIN Universidad Nacional de San Martín, UNSAM. Provincia de buenos Aires, Argentina.
- [37] Hardy, T.L. (2006). Using Cost of Quality Approaches to Improve Commercial Space Transportation Safety, en 24th International System Safety Conference. Providence, RI USA.
- [38] Unidad Politécnica para el Desarrollo y la Competitividad Empresarial (updce). (2006). GUÍA BÁSICA PARA MONITOREAR LOS COSTOS DE LA CALIDAD, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.
- [39] Chauvet, S.; Palacios, A.; Guzman, C. (2002). El Enfoque de los Costos de la No Calidad. Congreso Regional de Ciencia y Tecnología NOA 2002. of Conference. Catamarca.
- [40] Ipacs, M. (1990). "Economic quality management". Total Quality Management. 1, 3, p. p365, 9p.
- [41] Juran, J.M. (1988). Juran's quality control handbook. 4ta. McGraw-Hill. New York.
- [42] Campanella, J. (2000). Los costes de la calidad. Principios, implantación y uso. 3rd. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.
- [43] Gryna, F.M. (1999). Quality and Costs, en Juran's Quality Handbook. J.M. Juran, et al. 5th. McGraw-Hill. New York.
- [44] Harrington, H.J. (1987). Poor-quality cost, en Quality and reliability /11ASQC Quality Press & Marcel Dekker, Inc. New York.
- [45] Heskett, J.L.; Sasser Jr., W.E.; Schlesinger, L.A. (1997). The Service Profit Chain, Free Press. New York, N.Y.
- [46] Gutiérrez Pulido, H.; de la Vara Salazar, R. (2009). Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma, en Educación. 2da. McGraw Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. México.
- [47] Morgan, G., Leech, N., Gloeckener, G., Barrett, K. (2004). SPSS for Introductory Statistics, Lawrence Erlbaum Associates, Inc. New Jersey, EE.UU.
- [48] Leech, N.L.; et al. (2005). SPSS for Intermediate Statistics: Use and Interpretation. 2nd. Laurence Erlbaum Associates. Mahwah, New Jersey.

[49] Juran, J.M. (1993). Motivación, en Manual de Control de la Calidad. J.M. Juran, et al. 3rd. Editorial Reverté. Barcelona.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación se realiza en el marco del Proyecto de Investigación TOUTNME0007636 – Identificación del modelo de costos de la calidad en el sector vitivinícola. El caso de bodegas cooperativas y privadas en la Provincia de Mendoza financiado por la Universidad Tecnológica Nacional. Los autores de este trabajo desean agradecer al personal de Bodegas Chandon S.A por su permanente colaboración y ayuda en la interpretación de los datos obtenidos.

Tecnología analítica de procesos en la industria 4.0: revisión de aspectos de importación

Rodrigues Filho, Rodolfo Cesar

rocero88@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional (México)

Fecha de recepción: 20/05/2022

Fecha de aprobación RIII: 07/07/2022

RESUMEN

Process Analytical Technology (PAT) es un sistema que surgió proactivamente por la "Food and Drug Administration" (FDA) hace algunas décadas para mejorar la forma tradicional de controlar los procesos analíticos en las industrias. Su directriz fue declarada un sistema para diseñar, analizar y controlar mediciones divergentes de "Critical Process Parameter" (CPP) y "Critical Quality Attributes" (CQA). Su enfoque se ha mejorado utilizando nuevas herramientas como "Quality by Design" (QbD) para establecer una comprensión profunda del proceso de fabricación. Debido a sus aplicaciones multidimensionales, uno de los análisis de procesos analíticos químicos que más se ha crecido en los últimos siglos son las técnicas de espectroscopia (infrarrojo cercano, biosensores, Raman, espectroscopia de fibra óptica) que se han desarrollado con sistemas online o offline utilizando técnicas para potenciar y mejorar la cuantificación industrial de herramientas de control como Cp ("Process Capacity"), CpK ("Process Capacity Index"). Esta combinación de PAT con QbD ha sido muy beneficiosa para impulsar a las industrias hacia una cuarta revolución industrial, donde las tecnologías físicas y digitales se entrelazan con sistemas informáticos como la nube y el Internet de las cosas industrial (IIoT). La adopción de este nuevo sistema en la industria en general ha hecho evolucionar la calidad de los productos ofrecidos, brindando mejor calidad, costo y satisfacción para el cliente final. Esta visión es posible a través del desarrollo de técnicas y software quimiométricos que tienen una mejor interpretación matemática de los datos y problemas químicos, correlacionando a través de la regresión lineal multivariada una mejor comprensión de los parámetros de fabricación. A diferencia de los métodos tradicionales existentes debido a su rapidez, además de ser considerada tecnología "verde" al medio ambiente y los seres humanos, la utilización de reactivos químicos no son necesarios para su análisis. En los tiempos actuales estas técnicas son muy usuales, pues proporcionan un enfoque más dinámico y continuo con datos viables, reproducibles y asertivo en cualquier etapa de la producción en la que se instale. Por lo tanto, esta es una revisión de aspectos importantes que se deben considerar y su conceptualización general, brindando una relación sobre cómo se integra la química analítica con las matemáticas, las tecnologías de la información y especialmente la manufactura.

Palabras Claves: tecnología analítica de procesos; control de procesos; monitoreo en tiempo real, Tecnología de Infrarrojo Cercano, Quimiometría, FDA, Industria 4.0, Calidad por Diseño, Internet industrial de las Cosas, Sistemas Ciberfísicos y Sistemas de Localización en Tiempo Real

Process Analytical Technology in Industry 4.0: Import aspects review

ABSTRACT

The Food and Drug Administration (FDA) proactively developed Process Analytical Technology (PAT) a few decades ago to enhance the old manner of managing analytical processes in industry. Its policy was defined as a method for developing, assessing and regulating diverging measurements of "Critical Process Parameters" (CPP) and "Critical Quality Attributes" (CQA) (CQA). Their approach has been enhanced using new tools such as "Quality by Design" (QbD) to get a thorough understanding of the production process. The spectroscopy techniques, such as near infrared spectroscopy, biosensors, Raman, fiber optic spectroscopy, and others, which have been developed with online and offline techniques to boost and improve industrial quantification of control tools such as Cp ("Process Capacity"), CpK ("Process Capacity Index"). This combination of PAT and QbD has shown to be quite effective in propelling companies into the fourth industrial revolution, in which physical and digital technologies are integrated with computer systems such as cloud and industrial internet of things (IIoT). The implementation of this new approach throughout the industry has improved the quality of the products available, resulting in higher quality, cost, and customer happiness. This vision is made feasible by the development of chemometric techniques and software that provide a better mathematical interpretation for chemical data and issues, as well as a better knowledge of production factors through multivariate linear regression. Unlike existing traditional methods, which are time-consuming and often unhealthy for the environment and humans because they use chemical reagents in their analyses, these "green" techniques take a dynamic and continuous approach, providing reliable data that is repeatable and assertive at any stage of production in which they are installed. As a result, this is a review of significant factors to consider and their general conceptualization, as well as a link between analytical chemistry, mathematics, information technologies, and manufacturing

Keywords: process analytical technology; process control; real-time monitoring, Near Infrared Technology, Chemometrics, FDA, Industry 4.0, Quality by Design, industrial Internet of Things, Cyber Physical Systems and Real-Time Location Systems.

Tecnologia Analítica de Processos na Indústria 4.0: Revisão de aspectos de importação

RESUMO

A Process Analytical Technology (PAT) é um sistema que surgiu de forma proativa da "Food and Frug Administration" (FDA) há algumas décadas para aprimorar a forma tradicional de controle de processos analíticos nas indústrias. Sua diretriz foi declarada um sistema para projetar, analisar e controlar medições divergentes de "Parâmetro Crítico de Processo" (CPP) e "Atributos Críticos de Qualidade" (CQA). Sua abordagem foi aprimorada usando novas ferramentas como "Quality by Design" (QbD) para estabelecer uma compreensão profunda do processo de fabricação. Devido às suas aplicações multidimensionais, uma das análises de processos analíticos químicos que mais cresceu nos últimos séculos são as técnicas de espectroscopia (infravermelho próximo, biossensores, Raman, espectroscopia de fibra óptica) que foram desenvolvidas com sistemas online ou offline. aprimorar e aprimorar a quantificação industrial de ferramentas de controle como Cp ("Capacidade de Processo"), CpK ("Índice de Capacidade de Processo"). Essa combinação de PAT com QbD tem sido altamente benéfica para impulsionar as indústrias em direção a uma quarta revolução industrial, onde as tecnologias físicas e digitais estão entrelaçadas com sistemas de computação como a nuvem e a Internet Industrial das Coisas (IIoT). A adoção deste novo sistema na indústria em geral fez evoluir a qualidade dos produtos oferecidos, proporcionando melhor qualidade, custo e satisfação para o cliente final. Essa visão é possível através do desenvolvimento de técnicas quimiométricas e softwares que tenham uma melhor interpretação matemática de dados e problemas químicos, correlacionando através de regressão linear multivariada um melhor entendimento dos parâmetros de fabricação. Ao contrário dos métodos tradicionais existentes devido à sua rapidez, além de ser considerada tecnologia "verde" para o meio ambiente e o ser humano, não é necessário o uso de reagentes químicos para sua análise. Nos tempos atuais essas técnicas são muito comuns, pois proporcionam uma abordagem mais dinâmica e contínua com dados viáveis, reproduzíveis e assertivos em qualquer etapa da produção em que está instalada. Portanto, esta é uma revisão de aspectos importantes a serem considerados e sua conceituação geral, fornecendo uma relação sobre como a química analítica se integra com a matemática, tecnologias da informação e principalmente manufatura.

Palavras chave: tecnologia analítica de processos; controle do processo; Monitoramento em tempo real, Tecnologia de Infravermelho Próximo, Quimiometria, FDA, Indústria 4.0, Qualidade por Design, Internet das Coisas industrial, Sistemas Ciberfísicos e Sistemas de Localização em Tempo Real.

1. INTRODUCTION

Process Analytical Technology (PAT) can be defined as a system for analyzing, controlling, and planning manufacturing processes using real-time measurements for all critical quality parameters in supply chains (raw materials, intermediate products, and final products) [1].

Due to technological advances in the industries, exchange, and improvement of material control monitoring systems, both in environmental aspects (temperature, pressure, volume, etc.) and critical process control parameters (physical, chemical, and microbiological properties, etc.) in real time, occur in a variety of industrial sectors such as: food, pharmaceutical, chemical, etc. [1].

Its definition and concepts were developed in the twentieth century with the combination of chemical applications and mathematical algorithms, using visualization tools to solve manufacturing processes. These application concepts only gained industrial relevance when, in the twenty-first century, the FDA (Food in Drug Administration) expanded the process approach with the formation of directives and PAT definitions in the pharmaceutical industries. Delineating manufacturing mechanisms using critical process parameters (CPP) that directly affect "Critical Quality Attributes" (CQA) dubbed "Quality by Design" (QbD). [2].

The QbD focuses on improving monitoring precision, which allows for a more comprehensive understanding of the products and processes to be controlled, as well as continuous learning of results obtained from process dynamics [1]. Their data, together with PAT and Industry 4.0 advances, are becoming significant components for industrial paradigm shifts.

The mechanism has the ability to make decisions during the manufacturing stages of a product, resulting in a control strategy that includes adjustments and corrections to critical control parameters that show deviations from an ideal specification established by research and development teams, i.e., continuous manufacturing improvement that reduces variations in its operation.

Overall, its application is based on all the components and processes that affect the final product's quality, and it adjusts it using spectroscopy-controlled process control instruments, known as offline and online, respectively, that have their data linked to an exclusive real-time network of a Design of Experiments (DoE) system built during the manufacturing process. [3].

This is consistent with the core principle that quality does not have to be determined through trial and error, but rather by the system's data bases. As a result, considering the entire PAT principle and its application components, we must evaluate the following points:

1. Process analytical chemistry tools: developed for each product matrix and critical control parameter.
2. Acquisition and analysis of multivariate data: initially defined as chemometric tools for the development of better calibration curves for the matrix and critical parameter predefined in the previous stage.
3. Process monitoring and control: used to calibrate, validate, and provide enough data to generate an opportunity evaluation later on.
4. Continuous process and improvement optimization via integrated management: at this final stage, information is collected in the manufacturing floor and transferred in an asynchronous

manner, with the goal of sending it to the cloud and providing real-time feedback on manufacturing parameters.

In this regard, industries in general use these technologies to improve the quality of final product quantification while maintaining environmental and economic responsibility. Consequently, using linear regression algorithms derived from chemometrics models, we can predict control-critical parameters vs international models. The goal of this study is to evaluate the mechanisms required for real-time product release and process controls required for the generation of spectrum data using analytical instruments used in PAT systems that will allow for assertive and precise data prediction for process control.

2. PAT Components

The primary notion of PAT may be defined as a quality attribute tool that identifies and integrates potential measurements, ensuring the high quality of products analyzed by mathematical, physical, microbiological, and mostly analytical studies. In this case, for example, the interaction of the process with the generated data might include a feedback stream that changes the process conditions in real time, benefiting all involved media [4]. According to Bakeev (2010) [5], the PAT system's approach may be divided into three major components:

- 1 – Process analysis.
- 2 – Multivariate data analysis (Chemometrics).
- 3 – Process control.

These stages, together with their respective measurement instruments, are critical for monitoring critical parameters or quality attributes in production lines or even quality laboratories. Its quantification tools are given by multivariate data that are developed to quantify these analyzed parameters and/or attributes, or to identify patterns in data sets using groups, trends, or even outliers. It serves as the foundation for control tools such as Cp ("Process Capacity"), CpK ("Process Capacity Index"), statistical process performance, and so on, for process execution and control. [5].

For a successful implementation of this system, defining and knowing its acceptable range of quality variation (specification limits) are the bases for defining which is the best measurement technology, since they establish theoretical goals of critical sets that will determine financial, organizational and organizational aspects. , operating to have a demand that meets a product design, specification of the best instrument according to its limits of detection and quantification that meets the needs of the end customer [6].

The financial investment in these instruments must be considered when purchasing these technologies, because the models known as "intelligent negotiations" that are currently being managed in the industry 4.0 have classifications of proposals that tend to add value to the company or add value to the flow process, always creating benefits that will benefit their final client indirectly (consumer) [7].

In other words, they are actions ranging from infrastructure investments to operational mindset shifts, using data that helps to understand process-quality relationships in analysis. Their inclusion in an operation has the primary goal of not replacing understanding of the processes and their operational dynamics; nonetheless, they must significantly supplement the on-site operation in terms of sampling principles, response times, and data storage [4].

In conclusion, based on a literary review of the advances in the implementation of PAT systems over the decades, it is still clear that its implementation has some aspects that need to be improved in manufacturing processes. Indicators indicate that many spectroscopy suppliers and developers are introducing advanced equipment to reduce long and slow laboratory analysis activities [6].

3. PAT IN INDUSTRY 4.0

In general, for the implementation of these new processes, such as in the industry 4.0, these new models must add value to the company, that is, they must have a significant impact on business success, where a combination of numerous physical and digital technologies, such as sensors, embedded systems, cloud computing, and Internet of Things (IIoT), is used. All these values will drive a service's (product's) productivity to become more competitive in a technological and information-rich world, making it a relatively difficult, dynamic, and multidisciplinary task whose complexity will increase on an industrial scale.

Fundamentally, the industrial revolution that has resulted from the implementation of PAT and QbD is based on business models whose flow values may provide profitable and sustainable income (by spending less and operating more). In other words, satisfying the needs of customers and the company to achieve business model success that results in profitable growth for businesses through information integration management with the unification of human resources, time, technology, and the entire supply chain, as shown in Figure 1 [7].

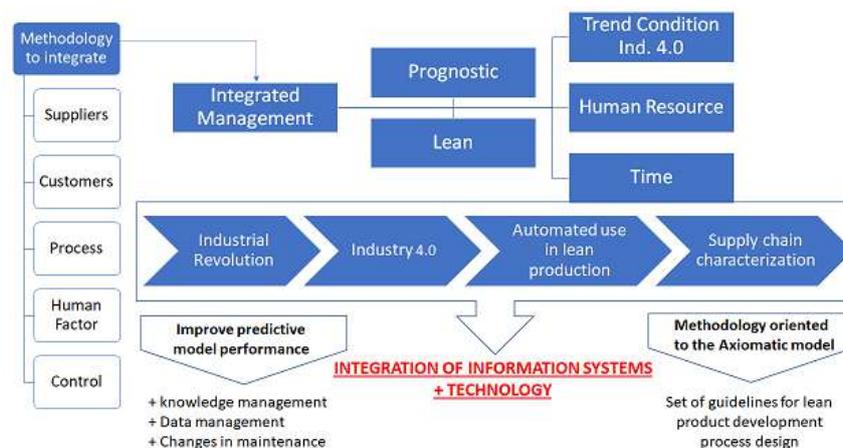


Figure 1: Simulation of an integrated management system in the Industry 4.0. Source: Original creation.

According to Vann et al. (2017) [8], industries have increased their use of sensors that use optical methods such as spectroscopy technology as real-time control devices in recent decades. Their methodologies are integrated into the information systems (integrated management) that drive Industry 4.0 through forecasting, as well as Lean Manufacturing systems that make the characterization of the supply chain axiomatic. As shown in Figure 2, the integrated PAT management system may be found throughout the manufacturing process, beginning with material receipt (raw materials) and ending with the ultimate consumer (finished product), with retro feeding and data adjustments occurring throughout the process [7].

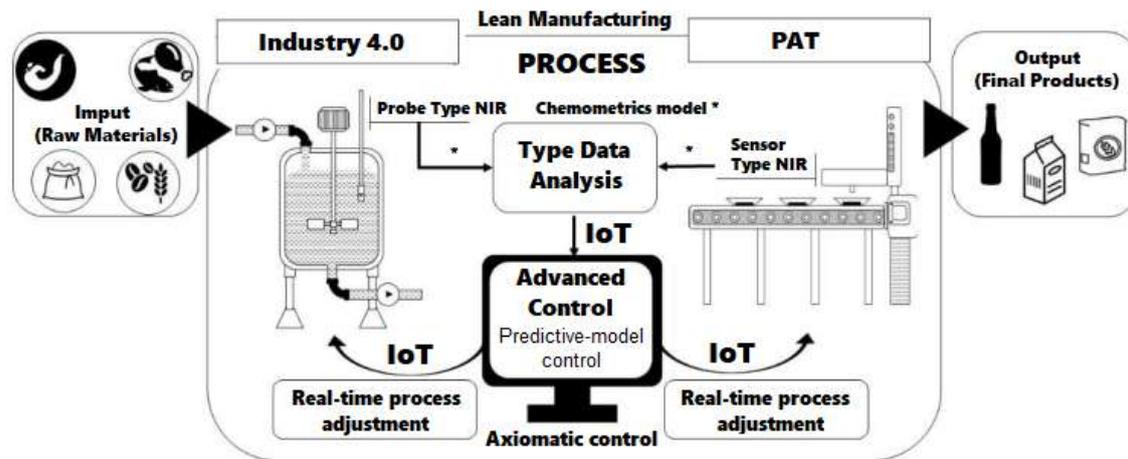


Figure 2: Integrated management system between PAT-Industry 4.0 and Lean Manufacturing. Source: Adapted from Grassi and Alamprese, 2018.

Specifically, NIR spectroscopy is a sensor analysis technique used primarily in PAT business models, where its ability to determine multiple components simultaneously through physical properties, chemical compositions, and microstructure makes it one of the most appropriate, cost-effective, and environmentally friendly processes for material characterization [9].

Their measurement capabilities will be determined specifically by their spectral intervals; that is, in the market, the spectral region will determine the range of reading for the absorption of bands by spectral selectivity of chemical compounds using quantum methods simultaneously [10]. The most common are instruments for near-infrared spectroscopy (2500 a 780 nm / 12800 a 4000 cm⁻¹) and near-infrared spectroscopy (50000 a 2500 nm / 4000 a 200 cm⁻¹) with the advantage of being low-cost operational equipment using non-destructive techniques without the need of chemical reactivators [11].

The PAT is a crucial tool in the industrial quality control revolution being driven by Industry 4.0. Its real-time monitoring resources with the Internet of Industrial Things included (IIoT), through analytical instruments such as spectroscopic sensors integrated in Internet networks and multivariate data from chemometric analysis of continuous learning and information construction, which is gradually moving the monitoring and control to another continuous and quality level.

Its development and implementation are heavily focused on improving control, evaluating, and making quick decisions, maintaining the quality of the final product, increasing productivity, and achieving satisfactory results despite the complexity of the innovations, and increasing industrial competitiveness [12].

Because of the significant changes that have occurred in industries and information technology, the changes brought about by Industry 4.0 are likely to increase productivity in manufacturing processes.

The challenges posed by technology, such as the need for network coordination, connectivity, and communication, have resulted in the development of integrated and flexible systems that connect various decentralized devices known as "Cyber Physical Systems" (CPS), which, through data analysis such as Big Data and artificial intelligence, are in sync with plant communication technologies.

According to Cevikcan and Ustundag, [7], it can be said that this growth has been driven by cloud technologies and the trends of the "Real-Time Location System" (RTLS) of real-time technologies, which results in a real-time production monitoring, which improve the efficiency of the product life cycle, reducing costs, based on the accuracy, precision of data and resource utilization that drives end customer satisfaction.

One of the most common arguments for this is the Toyota system philosophy and key industry 4.0 parameters, which serve as the foundation for PAT manufacturing control systems. Essentially, it is a feedback process, in which a finished product is analyzed, and its process is adjusted according to the problems or predictive process of the control model, by means of readings and adjustments originating from the chemometric models. This is a benefit obtained because it allows for optimal management and use of raw materials, reducing data variation outside of specifications and reducing production cycle errors (continuous improvement).

According to Cevikcan and Ustundag [7], even though PAT models provide benefits such as quality, flexibility, and efficiency, their processes have limitations due to the excessive use of information, the use of unqualified people to interpret them, or financial investment, which causes the company to invest in a costly technology for implementation when compared to other simpler measurement techniques.

4. IMPLEMENTATION CHALLENGES

A series of actions must be considered for proper PAT application. The first step is to specify a required or implementable unit action or process. Alternatively, do a comprehensive evaluation of the feasibility of analytical methods at the laboratory scale to determine which techniques have appropriate sensitivity and selectivity. Frequently, in this system, an exhaustive cost-benefit analysis is performed to determine which technique will arrive at the meeting with the best price, meeting all the client's and company's needs. Second, an appropriate approach must be taken, whether on the process line or in the laboratory, to allow for the measurement of the "Critical Process Parameter" (CPP). The online tests are the first step in moving away from laboratory tests, which can often have external interference or human errors due to their manual nature [4].

On the other hand, these processes can be carried out in two ways: manual tests that take samples and monitor them on a regular basis in accordance with a robust and appropriate protocol for the desired needs; and online tests that keep the instrument connected to the internet automatically, using the company's network and server. Both analyses will provide an instantaneous outcome of the procedure, as data from instruments whose goal is to blind a greater control. As previously said, near-infrared spectroscopy (NIR) is one of the most widely used and accepted methods. This technology is said to be fast and non-destructive, allowing for real-time monitoring and eliminating the need for pre-production sample preparation, with the result that its results are delayed, which may result in undesirable outcomes [13].

4.1 PAT Interaction with Process

In the chemical industry in general, process analysis can be performed using either rapid secondary techniques such as spectroscopy or traditional international reference techniques such as chromatography, air oven, titration, and so on. Its information is obtained by laboratory analysis, usually with trained personnel and a variety of chemical reactions, where obtaining results requires a certain

amount of time, from sample preparation through instrument adjustment, analysis, data collection, and result dissemination [11].

Putting these considerations into practice, the way PAT systems interact with processes in most businesses must consider the Toyota JIT ("Just in Time") philosophy, in which long operational times become unviable for processes, especially when high demand and production lines have deadlines to meet. Therefore, having high-tech instruments capable of connecting to process networks, whether via a network or optical fiber connections, is the first step in making changes and improving parameter quality. In other words, they are systems that, if implemented, will be able to meet high demand within predetermined time frames while reducing waste due to non-specified parameters with high precision for industries such as raw materials, semi-finished products, and finished products [11].

This type of technology has certain economic characteristics, such as the ability to replace traditional primary methods in operations with faster and more flexible results. For the most part, they are techniques that expose their analysts less to the use of toxic chemical reagents, owing to the lack of the need for prior treatment in the preparation of the specimens, as well as the ability to analyze several parameters at the same time. Its location can be implemented online, in real-time process lines with network-connected systems, or in offline systems located within a controlled laboratory environment [4].

Both online and offline systems have advantages and disadvantages. Online instruments, in general, need more complex installation systems, ranging from engineering to operational data counting configuration. However, its automation eliminates the expense of managing exhibits as well as the time / man required to get and process data. On the other hand, despite the need for human intervention in their operation, offline instruments have lower implementation and operation costs when compared to online instruments. Alternatively, they might gain advantages over traditional methods by increasing data acquisition speed for process control.

As a result, for these types of technologies to be implemented, PAT systems require that the spectrum data generated by the implemented instruments have a correlation to values obtained by traditional methods. This is typically the case with NIR spectral data when connected to laboratory data from reference instruments in a variety of circumstances. One example of this is the homogeneity of online content, which allows for the development of a precise and comprehensive model [4].

These operations are carried out using mathematical software, which makes use of both spectrum data and reference data as a comparison to create a linear spectral regression model. To summarize the PAT focuses, and generated models are required for their maintenance plans of updating, verifying, and validating at certain times, which necessitates specific hardware for the process, data processing programs that are certified and verified by the instrument's developer [14].

As a result, you might conclude that there will be a variety of ways to execute it, such as manufacturing techniques or installation operations. In other words, its technological limitations in relation to the presented needs and existing models [12].

5. CONCLUSIONS

The goal of this work was to offer the most relevant aspects that must be reviewed in chemical technology processes. A brief overview of how PAT emerged in its technological environment, its relationship with the product cycle via tools like as QbD, and its significance in the generation of IIoT and industry 4.0 concepts. Relevant points include which instruments are now used in various industrial sectors, as well as an explanation of the benefits and drawbacks of these technologies in the

quantification of certain properties of a material. The topics covered reflect a small portion of the knowledge gained and the strong relationship that it has with the age of real-time measurement systems (RTLS) and the interfaces that cyberphysical systems (CPS) can have with the research and applications that have already been completed. However, there are still many studies to be done, both in Big Data Analytics research and in the analytic automation of business processes, as well as in the analysis of data for use in various applications.

6. BIBLIOGRAPHY

- [1] Grassi, S., Alamprese, C., 2018. Avanços na espectroscopia NIR aplicada à tecnologia analítica de processos em indústrias alimentícias. *atual Opinião. Ciência Alimentar.* 22, 17-21. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.12.008>
- [2] FDA, 2005. Guidance Document Q8(R2) Pharmaceutical Development. Version 2009. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/q8r2-pharmaceutical-development>
- [3] Fukuda, I. M., Pinto, C. F. F., Moreira, C. dos S., Saviano, A. M., & Lourenço, F. R. (2018). Design of Experiments (DoE) applied to Pharmaceutical and Analytical Quality by Design (QbD). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 54(spe). <https://doi:10.1590/s2175-97902018000001006>
- [4] Agalloco, J., DeSantis, P., Grilli, A., & Pavell, A. (Eds.). (2021). *Handbook of Validation in Pharmaceutical Processes* (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003163138>
- [5] Bakeev, K. A. (Ed.). (2010). *Process analytical technology: spectroscopic tools and implementation strategies for the chemical and pharmaceutical industries*. John Wiley & Sons.
- [6] Ge, Z. (2018). Process data analytics via probabilistic latent variable models: A tutorial review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(38), 12646-12661.
- [6] Norma es ISO 22301:2019 Security and resilience – business continuity management systems – requirements, ISO 2019.
- [7] Cevikcan, Emre; Ustundag, Alp (2018). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (Springer (ed.); 2; 25-40. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>
- [8] Vann, L., Layfield, JB, Sheppard, JD, 2017. A aplicação de espectroscopia de infravermelho próximo na fermentação de cerveja para monitoramento online de parâmetros críticos de processo e sua integração em uma nova estratégia de controle feedforward. *J. Inst. Brew.* 123, 347-360. <https://doi.org/10.1002/jib.440>.
- [9] Moscetti, R., Raponi, F., Ferri, S., Colantoni, A., Monarca, D., Massantini, R., 2018. Monitoramento em tempo real de maçã orgânica (var. Gala) durante secagem com ar quente usando -na espectroscopia de infravermelhos. *J. Eng. de Alimentos.* 222, 139-150. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.023>
- [10] Lu, Y., Li, X., Li, W., Shen, T., He, Z., Zhang, M., ... Liu, F. (2021). Detection of chlorpyrifos and carbendazim residues in the cabbage using visible/near-infrared spectroscopy combined with chemometrics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 257, <https://119759.doi:10.1016/j.saa.2021.119759>

- [11] Miller, James; Miller, J. C. (2018). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry* (C. Books (ed.); 7th editio). Pearson.
- [12] Forsberg, Jakob, Per M. Nielsen, Søren B. Engelsen, and Klavs M. Sørensen. 2021. "On-Line Real-Time Monitoring of a Rapid Enzymatic Oil Degumming Process: A Feasibility Study Using Free-Run Near-Infrared Spectroscopy" *Foods* 10, no. 10: 2368. <https://doi.org/10.3390/foods10102368>
- [13] Pomerantsev, A. L., & Rodionova, O. Y. (2021). New trends in qualitative analysis: performance, optimization, and validation of multi-class and soft models. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 143, 116372.
- [14] Sørensen, K. M., Berg, F. V. D., & Engelsen, S. B. (2021). NIR Data Exploration and Regression by Chemometrics—A Primer. In *Near-Infrared Spectroscopy* (pp. 127-189). Springer, Singapore.

7. ACKNOWLEDGMENTS

To the National Polytechnic Institute for the support received, to the Interdisciplinary Professional Unit of Engineering and Social and Administrative Sciences, to the Postgraduate Studies and Research Section, to the master's degree in Industrial Engineering.

Uso de un marco formal para el modelado y análisis de organizaciones

Molina, Alejandro

ale.molina@frbb.utn.edu.ar

Universidad Tecnológica Nacional (Argentina)

Fecha de recepción: 08/06/2022

Fecha de aprobación RIII: 09/08/2022

RESUMEN

Este trabajo presenta una visión de los fundamentos utilizados para evaluar en una forma más precisa el desempeño organizacional, identificando cuellos de botella y conflictos de desempeño, debe realizarse un análisis organizacional detallado basado en un modelo de organización formal. Además, un modelo de organización formal es la base para muchos procesos automatizados dentro de las empresas, por ejemplo la fabricación integrada por computadora; además de proporcionar una base para la cooperación entre sus áreas internas, e incluso otras empresas

Palabras Claves: análisis organizacional, modelado formal, estructuras organizacionales.

Using a formal framework for modeling and analyzing organizations

ABSTRACT

This paper presents an overview of the fundamentals used to more accurately assess organizational performance, identifying bottlenecks and performance conflicts, a detailed organizational analysis based on a formal organization model should be performed. Furthermore, a formal organizational model is the basis for many automated processes within companies, for example computer-integrated manufacturing; In addition to providing a basis for cooperation between its internal areas, and even other companies.

Keywords: organizational analysis, formal modeling, organizational structures

Usando uma estrutura formal para modelar e analisar organizações

RESUMO

Este artigo apresenta uma visão geral dos fundamentos utilizados para avaliar com mais precisão o desempenho organizacional, identificando gargalos e conflitos de desempenho, uma análise organizacional detalhada baseada em um modelo formal de organização deve ser realizada. Além disso, um modelo organizacional formal é a base para muitos processos automatizados dentro das empresas, por exemplo, manufatura integrada por computador; Além de fornecer uma base de cooperação entre suas áreas internas, e até mesmo outras empresas..

Palavras chave: análise organizacional, modelagem formal, estruturas organizacionais

1 INTRODUCCIÓN

El mundo es impensable sin organizaciones, el desarrollo científico, social y tecnológico, sumado a cambios en las condiciones ambientales, dio lugar a una gran diversidad de formas organizativas y tipos de interacción entre ellas. Por ello la complejidad estructural y de comportamiento de las organizaciones es interdependiente de la complejidad del entorno donde se insertan estas organizaciones. Un entorno complejo y dinámicamente cambiante con recursos insuficientes crea obstáculos desafiantes para lograr el cumplimiento de los objetivos elementales de cualquier organización: sobrevivir y prosperar. Para tener éxito, una organización debe organizar de manera eficaz y eficiente su estructura interna y sus actividades de modo que se logre el ajuste con el entorno.

Estos requisitos no son fáciles de cumplirse, pues no metodologías de aplicación universal para garantizar el éxito de una organización en todo momento y en todos los casos. Por lo tanto, la mayoría de las organizaciones sufren de diversas ineficiencias e inconsistencias en su desempeño que tienen consecuencias para la vitalidad organizacional. A menudo, solo se puede identificar fácilmente una pequeña cantidad de estos defectos, pero se pueden hallarse mediante la utilización de métodos de análisis más profundos.

Muchas técnicas de análisis del desempeño organizacional, desarrolladas en la teoría de la organización son informales e imprecisas, afectando la viabilidad y el rigor del análisis. Para evaluar en una forma más precisa el desempeño organizacional, identificando cuellos de botella y conflictos de desempeño, debe realizarse un análisis organizacional detallado basado en un modelo de organización formal. Además, un modelo de organización formal es la base para muchos procesos automatizados dentro de las empresas, por ejemplo, la fabricación integrada por computadora; además de proporcionar una base para la cooperación entre sus áreas internas, e incluso otras empresas.

Para aplicar el análisis formal, debemos introducir un marco de modelado formal que permite representar diversos aspectos de la realidad organizacional, dentro de varias perspectivas: las relacionadas con el proceso, las relacionadas con el desempeño y las relacionadas con la organización. Como los individuos suelen ejercer una influencia significativa en la dinámica organizacional, también debe considerarse aspectos relacionados con el comportamiento humano.

Las características de este marco incluyen:

- Permitir la representación y análisis de modelos de organización en diferentes niveles de abstracción para manejar la complejidad y aumentar la escalabilidad;
- Permitir la verificación y validación formal de modelos de diferentes perspectivas sobre las organizaciones;
- Permitir la simulación para experimentar y probar hipótesis sobre el comportamiento organizacional en diferentes circunstancias;
- Propone métodos de análisis computacional a través de múltiples perspectivas en las organizaciones;
- Apoya y controla la ejecución de escenarios organizacionales y la evaluación del desempeño organizacional.

Este marco propone un amplio espectro de instrumentos para modelar y analizar estructuras y dinámicas de diferentes organizaciones, incluidas organizaciones mecanicistas que representan sistemas de puestos de trabajo vinculados jerárquicamente con responsabilidades claras y organizaciones orgánicas caracterizadas por una estructura altamente dinámica, en constante cambio, sin comportamiento lineal. Aunque la estructura y las reglas de comportamiento de las organizaciones orgánicas difícilmente pueden identificarse y formalizarse, al realizar simulaciones basadas en agentes

con características cambiantes, se pueden obtener conocimientos útiles sobre el funcionamiento de tales organizaciones. Además, el marco propuesto admite la reutilización de partes de modelos.

El trabajo se organiza de la siguiente manera: primero se presenta una revisión de la literatura sobre el tema, luego se describen los fundamentos formales del marco, posteriormente se proporcionan descripciones generales de vistas del modelado, se discute cómo utilizar este marco en la práctica y finalmente, se describen métodos para el análisis organizacional con algunas conclusiones y propuestas para futuras investigaciones.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA RELACIONADA

La revisión se orienta a una descripción general de los enfoques y técnicas de modelado y análisis de organizaciones, poniendo foco en tres áreas: teoría de la organización, sistemas de información empresarial y sistemas de múltiples agentes orientados a la organización.

2.1 Teoría de la organización.

En esta teoría se distinguen tres niveles de agregación para el estudio de los procesos y las estructuras de las organizaciones humanas:

- Nivel individual o micro se investiga el comportamiento de individuos y grupos de trabajo.
- Nivel de la organización o nivel meso se consideran diferentes aspectos de la estructura y dinámica organizacional.
- Nivel global o macro se considera la interacción entre la organización y su entorno, incluidas otras organizaciones, la sociedad, los mercados.

Las especificaciones sobre las organizaciones utilizadas en la Teoría de la Organización se las representa por descripciones gráficas informales o semiformales que ilustran aspectos de las organizaciones en algún nivel de agregación, por ejemplo, la toma de decisiones o las relaciones de autoridad [14]. Frecuentemente se especifican de forma imprecisa y ambigua, dificultando su aplicación práctica, a pesar de ello algunas teorías han tenido éxito en su aplicación a casos reales.

Teoría de la contingencia.

Uno de los intentos de identificar recomendaciones concretas y aplicables en forma práctica para el diseño de organizaciones surge en aplicación de la teoría de la contingencia [1]. La tesis es que la estructura y el comportamiento de una organización deben definirse con base en características ambientales particulares. Para respaldar esto, la teoría de la contingencia identifica una serie de principios genéricos para diseñar organizaciones efectivas que deben adaptarse cuidadosamente al contexto de esta organización en particular. En el proceso de adaptación pueden introducirse inconsistencias e ineficiencias que no pueden ser previstas e identificadas por la teoría de la contingencia. Para identificar estas inconsistencias e ineficiencias se requieren técnicas de análisis.

Teoría de Dinámica de Sistemas.

Desde esta teoría se ha propuesto otra clase de enfoques para especificar modelos cuantitativos de organización con semántica precisa. Las descripciones organizacionales especificadas en sistemas dinámicos se basan en variables numéricas y ecuaciones que describen cómo estas variables cambian con el tiempo. Tales especificaciones pueden ser computacionalmente efectivas; sin embargo, carecen de expresividad ontológica para conceptualizar relaciones de diferentes tipos de organizaciones.

Además, se abstraen de eventos, entidades y actores individuales y adoptan una visión agregada de la dinámica organizacional. Por lo tanto, tales enfoques no pueden usarse para modelar organizaciones a nivel micro.

2.2 Sistemas de información empresarial (EIS).

El problema de la limitada expresividad ontológica del modelado ha sido abordado en el área de los sistemas de información empresarial, donde un EIS es cualquier sistema informático que automatiza la ejecución de procesos de una empresa. Los EIS a menudo se construyen en base a arquitecturas empresariales. Una arquitectura empresarial (EA) es un marco integrador de toda la empresa que se utiliza para representar y administrar los procesos empresariales, los sistemas de información y el personal, de modo que se cumplan los objetivos clave de la empresa. Se han desarrollado muchos EA diferentes entre los que destacan:

- CIMOSA [3]
- TOVE (Fox et al, 1997)
- ARIS [3].

Basado en las características comunes de estas arquitecturas, se desarrolló un meta-marco generalizado GERAM (Arquitectura y Metodología de Referencia Empresarial Generalizada) [3], el que proporciona una plantilla para el desarrollo y la comparación de marcos de modelado empresarial. GERAM describe una serie de puntos de vista dedicados a las empresas. La vista de función se refiere a los aspectos estructurales y de comportamiento de los procesos comerciales de una empresa. Se utilizan las siguientes técnicas:

- Estándares IDEF [3].
- Tablas de estado.
- Petrinets [3]
- Lenguajes semiformales (BPML, etc.).

La vista de información describe el conocimiento sobre los objetos a medida que se usan y producen. Se utilizan los siguientes modelos de datos: diagramas de relación de entidad, representaciones orientadas a objetos, diagramas de clase UML. La vista de recursos considera los recursos de una empresa, a menudo modelados como entidades separadas en los marcos existentes con un nivel de detalle variable. La vista de organización define responsabilidades y autoridades sobre procesos, información y recursos. Aunque muchas arquitecturas incluyen una rica base ontológica para modelar diferentes vistas, la mayoría de ellas brindan un soporte limitado para el análisis automatizado de modelos, abordado en la categoría Herramientas de ingeniería empresarial de GERAM, principalmente debido a la falta de fundamentos formales en estas arquitecturas.

Dentro de varios marcos, se han desarrollado métodos de análisis para vistas particulares, por ejemplo:

- técnicas de modelado orientadas a procesos para la vista de función [19].
- técnicas basadas en ABC para la vista orientada al desempeño [18].

Mucha menos atención se ha dedicado al análisis realizado a través de diferentes puntos de vista que permite investigar una influencia combinada de factores de diferentes puntos de vista sobre el comportamiento organizacional. En Dalal [6] se describe un marco integrado para el modelado de procesos y desempeño que incorpora parámetros contables en un enfoque de modelado de procesos formal basado en redes de Petri. Sin embargo, no se consideran aspectos clave como relaciones de autoridad, metas, comportamiento individual. Otro marco formal para el modelado de procesos de

negocio se describe en [13] centrándose en el modelado formal orientado a objetivos utilizando el cálculo de situación. El modelado y análisis de procesos y otros conceptos organizacionales no se abordan en detalle. En [5] se propone un marco formal para verificar modelos especificados en Unified Enterprise Modeling Language (UEML). Identifica una idea general para usar gráficos conceptuales para verificar modelos empresariales; sin embargo, no se proporcionan resultados técnicos ni experimentales.

Por lo general, los EIS se basan en especificaciones organizacionales predefinidas que guían o controlan los procesos realizados por los actores organizacionales. Para permitir el modelado y el análisis del comportamiento de los actores organizacionales en diferentes entornos organizacionales y ambientales, se debe recurrir a otro enfoque.

2.3 Sistemas multiagente (MAS) orientados a la organización.

Un agente es una pieza de software con la capacidad de percibir su entorno virtual o físico, razonar sobre su percepción de este entorno y actuar sobre el entorno. Las interacciones entre agentes a menudo tienen lugar en el contexto de ciertas estructuras organizacionales. Tales estructuras pueden estar diseñadas intencionalmente para hacer cumplir las reglas sobre el comportamiento de los agentes o emerger de patrones no aleatorios y repetidos de interacciones entre agentes. La estructura organizativa proporciona los medios para coordinar la ejecución de tareas en un MAS y para garantizar el logro de los objetivos de la organización.

En [11] se distinguen varios tipos de estructuras organizacionales que incluyen jerarquías, holarquías, coaliciones, equipos, congregaciones y federaciones, dotando a los agentes de diferentes grados de autonomía. Por lo general, el comportamiento de los agentes está restringido por un conjunto de normas definidas en diferentes niveles de agregación de la estructura organizacional. Se ha propuesto en la literatura muchos enfoques para modelar MAS normativos. A menudo, las estructuras organizacionales se especifican en términos de roles definidos como representaciones abstractas de conjuntos de funcionalidades realizadas por una organización. Además, en otros enfoques se modelan diversas estructuras organizacionales como roles.

Coutinho introduce ocho dimensiones para el modelado de organizaciones de agentes: estructuras de roles y grupos, estructuras de interacción lógica, estructuras de descomposición de objetivos o tareas, estructuras normativas, entorno, evolución organizacional, evaluación organizacional y ontologías. Para adoptar algún tipo de modelado deben considerarse en forma explícita todas estas dimensiones, aún con los problemas que surgen al incluir a la evolución organizacional, sin embargo, esta dimensión también puede ser modelada por los medios de modelado dinámico dentro del marco a utilizar. Pude mencionarse algunos modelos:

- La metodología GAIA [20] aborda dos fases de desarrollo: análisis y diseño. En la fase de análisis se identifican los roles y las relaciones entre ellos. Durante el diseño se especifican sociedades de agentes. GAIA no captura los aspectos internos de los agentes. La interacción de los agentes con el medio ambiente no se trata por separado.
- El modelo organizacional original de AGR [8] considera solo aspectos estructurales de las organizaciones. Cada modelo organizacional AGR comprende un conjunto de grupos interrelacionados que consisten en roles. AGR no impone restricciones en la arquitectura interna de los agentes.
- El meta-modelo MASQ (Sistema Multi-Agente basado en Cuadrantes) Ferber [8] propone una extensión del modelo AGR. Este modelo se basa en un marco de cuatro cuadrantes, donde el análisis y diseño del sistema se realiza a lo largo de dos dimensiones: una dimensión interior/exterior y una dimensión individual/colectiva. El marco propuesto aborda los cuatro

cuadrantes, incluidos los estados mentales de los agentes y su comportamiento observable externamente, el mundo físico y sus componentes, las normas sociales y las convenciones de interacción, el conocimiento compartido. Además, este marco proporciona una visión más refinada de cada cuadrante al distinguir tipos específicos de conceptos, estados y relaciones.

- MOISE [10] es un modelo organizativo que proporciona descripciones en tres niveles: el nivel individual de los agentes; el nivel agregado de grandes estructuras de agentes; el nivel de la sociedad de estructuración global y de interconexión entre agentes y estructuras. En Hubner [12], la metodología se amplía con aspectos funcionales como tareas, planes y restricciones en el comportamiento de un MAS.
- La metodología TROPOS [4] aborda tres fases de desarrollo de los MAS: análisis, diseño e implementación. Durante el análisis, se identifica una lista de requisitos funcionales y no funcionales para el sistema. Durante el diseño, se definen la estructura y el comportamiento de un sistema en términos de sus subsistemas relacionados a través de datos, control y otras dependencias. La fase de implementación mapea los modelos desde la fase de diseño al software por medio de Jack Intelligent Agents. Si bien TROPOS apunta principalmente a diseñar e implementar sistemas de múltiples agentes robustos y ordenados, el marco propuesto en este capítulo se puede utilizar para modelar y analizar tanto organizaciones artificiales de agentes como organizaciones humanas. Por lo tanto, muchos aspectos y relaciones inherentes a las organizaciones humanas no se utilizan en TROPOS, por ejemplo, relaciones de poder, modelado de flujo de trabajo.
- El marco OPERA [7] se centra en las normas sociales y define explícitamente las políticas de control para establecer y reforzar estas normas. El marco consta de tres componentes: el modelo organizativo que define la estructura de la sociedad, que consta de funciones e interacciones; el modelo social de asignación de roles a los agentes; y el modelo de interacción que describe las posibles interacciones entre agentes. Por lo tanto, el marco de OperA aborda tanto la estructura como la dinámica organizativa. La representación interna de los agentes no está claramente definida en este marco.

3 FUNDAMENTOS FORMALES DEL MARCO PROPUESTO

El marco propuesto presenta cuatro puntos de vista interrelacionados:

- El orientado al desempeño
- El orientado al proceso
- El orientado a la organización
- El orientado al agente.

La lógica de predicados ordenados de primer orden sirve como base formal para definir lenguajes de modelado dedicados para cada vista. Estos lenguajes proporcionan una alta expresividad para conceptualizar una variedad de conceptos y relaciones utilizando géneros, constantes ordenadas, variables, funciones y predicados. Además, estos lenguajes permiten expresar aspectos tanto cuantitativos como cualitativos de diferentes puntos de vista.

3.1 Modelado mediante el Lenguaje de Seguimiento Temporal (TTL).

Para expresar las relaciones temporales en las especificaciones de las vistas, los lenguajes dedicados de las vistas están integrados en el lenguaje de seguimiento temporal (TTL) [17], una variante de la lógica de predicados ordenados. En TTL, la dinámica organizacional está representada por un rastro, es decir, una secuencia de estados ordenados temporalmente. Cada estado se caracteriza por un punto de tiempo

único y un conjunto de propiedades de estado, las propiedades del estado se especifican utilizando idiomas dedicados de las vistas. En TTL, las fórmulas del lenguaje estatal se utilizan como objetos.

Para habilitar el razonamiento dinámico, TTL incluye clasificaciones especiales:

- TIME: conjunto de puntos de tiempo ordenados linealmente.
- STATE: conjunto de todos los nombres de estado de una organización.
- TRACE. conjunto de todos los nombres de seguimiento.
- STATPROP: conjunto de todos nombres de propiedades estatales.

Un estado para una organización se describe mediante un símbolo de la función de estado del tipo

TRACE x TIME → STATE.

El conjunto de fórmulas TTL bien formadas se define inductivamente de manera estándar utilizando conectores y cuantificadores proposicionales booleanos. TTL tiene la semántica de la lógica de predicados ordenados por orden. En Sharpanskykh [17] se proporciona una especificación más detallada de la sintaxis y la semántica del TTL. Se puede identificar un conjunto de restricciones estructurales y de comportamiento impuestas sobre las especificaciones organizacionales. Formalmente, este conjunto está representado por una teoría lógica que consiste en fórmulas construidas en la lógica estándar de predicados a partir de los términos del lenguaje dedicado de las vistas y de TTL si se requieren relaciones temporales. Una especificación es correcta si la teoría correspondiente se satisface con esta especificación, es decir, todas las oraciones en teoría son verdaderas en las estructuras lógicas correspondientes a la especificación.

Las restricciones se dividen en dos grupos: genéricas y específicas del dominio. Las restricciones genéricas definen las restricciones generales para una vista o la especificación completa que debe cumplir la especificación de cada organización. Se consideran dos tipos de restricciones genéricas. Las restricciones de coherencia e integridad estructural se basan en las reglas de composición de la especificación. Las restricciones impuestas por el mundo real no están dictadas por el marco sino por las reglas del mundo real que hacen que ciertas situaciones sean imposibles, por ejemplo: un agente no puede estar en dos ubicaciones físicas diferentes al mismo tiempo. El conjunto de restricciones genéricas está predefinido y se puede reutilizar para cada especificación.

Las restricciones específicas del dominio están dictadas por el dominio de la aplicación y el diseñador puede agregarlas o modificarlas. Expresan hechos y restricciones válidos en el dominio de aplicación particular pero no necesariamente en otros dominios. Las restricciones específicas del dominio pueden ser impuestas por la propia organización, partes externas, por ejemplo: el gobierno, la sociedad u otras empresas. Las restricciones específicas del dominio pueden o no ser directamente reutilizables para otras empresas en el mismo u otros dominios. Para respaldar el proceso de diseño de dichas restricciones, se pueden proporcionar plantillas con parámetros que el diseñador pueda personalizar.

3.2 Aplicación del TTL

Entre los antecedentes de la aplicación de este marco que puede citarse el modelado y análisis de una organización desde el dominio de la seguridad dentro del proyecto Cybernetic Incident Management (<http://www.almende.com/cim/>). Esta organización tiene muchas características de una organización mecanicista, como ser puestos de trabajo vinculados jerárquicamente con responsabilidades claras que utilizan tecnología estándar bien entendida. Los documentos formales de la organización brindan diversos detalles sobre la estructura y dinámica de la organización, los cuales necesitan ser representados formalmente en un modelo factible de la organización. En particular, se consideraron los siguientes aspectos: indicadores de desempeño (PI) y metas; procesos, recursos y flujos de procesos;

roles y diferentes tipos de relaciones: interacción, poder etc.; características y comportamiento de los agentes organizacionales asignados a distintos roles. Además, también se modeló las relaciones entre diferentes aspectos del proyecto, por ejemplo, entre tareas y objetivos, y entre roles y agentes. La difusión detallada de esta metodología utilizada permite ilustrar la aplicación del marco propuesto a partir de un caso real creando especificaciones formales para aspectos particulares de la organización y como estas especificaciones pueden utilizarse para realizar análisis automatizados.

El objetivo principal de la organización en cuestión es prestar servicios de seguridad vigilancia, consultoría, formación, etc. La organización tiene una estructura multinivel bien definida que comprende dos divisiones en varias áreas. La empresa emplea aproximadamente a 230.000 personas con descripciones de puestos predefinidas. El proceso de planificación consiste en una planificación prospectiva a largo plazo y una planificación a corto plazo. La planificación prospectiva es el proceso de creación, análisis y optimización de planes prospectivos para la asignación de agentes de seguridad dentro de la organización en función de los contratos de los clientes. Lo realiza un equipo de planificadores del grupo de planificación anticipada bajo la supervisión del Gerente de Planificación. El grupo de planificación anticipada está centralizado para la organización como parte del departamento de Soporte de operaciones y reporta al Gerente de soporte de operaciones. Durante la planificación a corto plazo, se crean y actualizan planes que describen la asignación de agentes de seguridad dentro de un área determinada durante una semana, según el plan a futuro y la información actualizada. También como parte de la planificación a corto plazo, se crean planes diarios de corto plazo e información procedente de los empleados de seguridad sobre su disponibilidad y otros cambios a través de formularios de cambio de datos. Para cada área, la planificación a corto plazo la realiza un equipo de planificación del área dirigido por su Jefe de Equipo. Durante la planificación a corto plazo, los planificadores pueden obtener supervisión, asesoramiento o información de los planificadores, según las circunstancias específicas. Los planificadores también se comunican con el Jefe de Unidad del área, quien está a cargo de los empleados de seguridad dentro de esta área, se encarga de recolectar y procesar los formularios de cambio de datos y supervisa la ejecución de los planes diarios. En ambos tipos de planificación, se utilizan recursos que incluyen: la base de datos del personal de la empresa, contratos de clientes, formularios de cambio de datos, planes y otros recursos electrónicos o en papel. Otras actividades de los planificadores incluyen la presentación de informes al equipo de gestión, la formación para mejorar las calificaciones, las evaluaciones, etc.

4 MODELADO

De las vistas que se incluyen dentro del marco propuesto, tres de ellos están orientadas a procesos, al desempeño y a la organización; estos tienen carácter prescriptivo y definen el comportamiento deseado de la organización. La cuarta vista está orientada a los agentes y es la que describe e integra a los agentes en el marco. La vista orientada a procesos describe jerarquías estáticas de tareas y recursos organizacionales, así como los flujos de procesos o flujos de trabajo y relaciones entre estas estructuras. La vista orientada al desempeño define las jerarquías de objetivos de la organización, los PI relevantes y sus relaciones. Dentro de la visión orientada a la organización, se definen los roles organizacionales, su interacción, autoridad, responsabilidad y relaciones de poder. En la vista orientada a agentes, se identifican diferentes tipos de agentes con sus capacidades y se formulan principios para asignar agentes a roles. Las cuatro vistas están conectadas a través de relaciones. Cada vista y las relaciones entre las vistas son en detalle las siguientes

4.1 Vista orientada al proceso.

La vista orientada a procesos contiene información sobre las funciones de la organización, cómo se relacionan, ordenan y sincronizan y los recursos que utilizan y producen. Los principales conceptos son:

- Tarea
- Proceso
- Flujo de trabajo
- Recurso
- Tipo de recurso

Estas, junto con las relaciones entre ellos, se pueden especificar mediante un lenguaje formal como el LPR [17]. Una tarea representa una función realizada en la organización y se caracteriza por nombre, duración_máxima y duración_mínima. La Tabla 7 brinda ejemplos de tareas consideradas en el estudio de caso relacionadas con la planificación de la asignación de oficiales de seguridad a las ubicaciones. Las tareas se extrajeron de los documentos disponibles de la empresa sobre procedimientos y descripciones de puestos. La columna 1 contiene los números de identificación asignados a las tareas para referencia. La columna 2 contiene los nombres de las tareas que reflejan su contenido. Las columnas 3 y 4 enumeran los recursos utilizados y producidos por las tareas. Las tareas pueden variar de muy generales a muy específicas. Las tareas generales se pueden descomponer en otras más específicas utilizando relaciones AND y OR que forman jerarquías, estas se muestran en la figura 1 en la que las relaciones se han refinado. Los números corresponden a la columna 1 de la Tabla 1, se reflejan la posición de la tarea en la jerarquía.

Tabla 1. Tareas que se desarrollan

Number	Name	Uses resource types	Produces res. types
4	planning		
4.1	process_new_data_change_forms	data change forms	analysis results of data change forms
4.2	create_and_inform_correct_and_optimized_shortterm_plan		
4.2.1	create_shortterm_plan		
4.2.1.1	shortterm_plan_creation_discussion	forward plan	information about a decision on assignment of a task of creating a short-term plan
4.2.1.2	estimate_human_capacity_per_location	forward plan, personnel data, customer order details, analysis results of daily change forms	data about available and required human capacity per location
4.2.1.3	assign_officers_to_tasks	forward plan, personnel data, the short-term planning procedure, data about available and required human capacity per location	information about the assignment of security officers
4.2.1.4	input_planning_data	planning software handbooks, the short-term planning procedure, information about the assignment of security officers	short-term plan for next month
4.2.2	check_and_improve_shortterm_plan	short-term plan for next month, the short-term planning procedure	correct short-term plan for next month
4.2.3	optimize_shortterm_plan	correct short-term plan for next month	correct optimized short-term plan for next month
4.2.4	inform_all_concerned_about_shortterm_plan	correct optimized short-term plan for next month	correct optimized short-term plan for next month
4.3	create_and_inform_daily_plan		

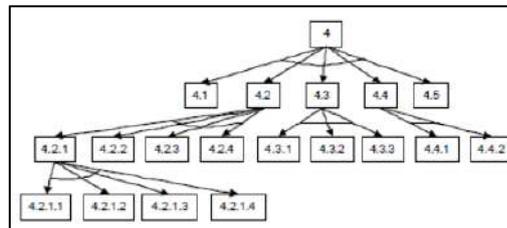


Figura 1. Jerarquía de las tareas

Cada tarea se puede instanciar en uno o más procesos en un flujo de trabajo. Un flujo de trabajo se define por un conjunto de procesos parcialmente ordenados temporalmente. Cada proceso, excepto los especiales de duración cero que se presentan a continuación, se define utilizando una tarea como plantilla y todas las características de la tarea son heredadas por el proceso. Las decisiones también se tratan como procesos que están asociados con variables de decisión que toman como posibles valores los posibles resultados de la decisión.

El flujo de trabajo definido a partir de la jerarquía de tareas comienza con el proceso BEGIN y termina con el proceso END; ambos de duración cero. El orden (parcial) de ejecución de los procesos en el flujo de trabajo se define mediante relaciones de secuenciación, ramificación, bucle y sincronización. Para cada estructura or se define una condición para determinar qué ramas de la estructura or comenzarán. Las relaciones de bucle se definen sobre estructuras de bucle con condiciones que realizan los patrones de ciclo de Van der Aalst [19]. Los procesos y las relaciones entre ellos, expresados en LPR, se pueden visualizar parcialmente en las Figuras 2 y 3 en diferentes niveles de abstracción, desde un nivel muy alto o agregado hasta un nivel muy detallado y específico. Los niveles detallados de abstracción se logran refinando los procesos en otros más específicos utilizando las relaciones de refinamiento en las jerarquías de tareas correspondientes. Dentro del estudio de caso, la figura 39 presenta el flujo de trabajo que tiene una vista agregada de los procesos de los planificadores diarios realizados durante un período de contrato. La Figura 3(a) toma una vista agregada de la planificación del proceso, mientras que la Figura 3(b) proporciona detalles más específicos de este proceso al refinar algunos de los procesos

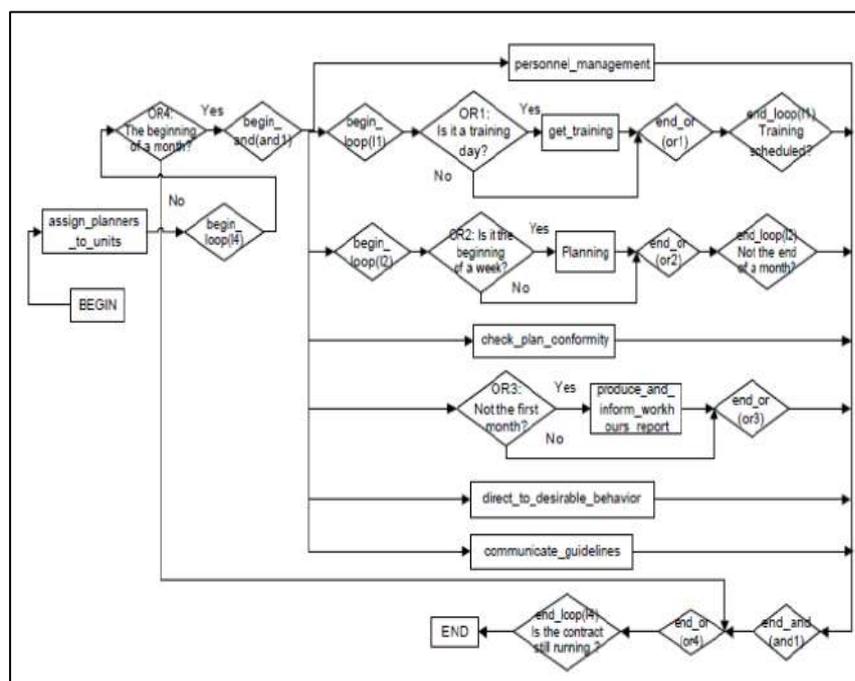


Figura 2. Flujo de trabajo. Vista agregada

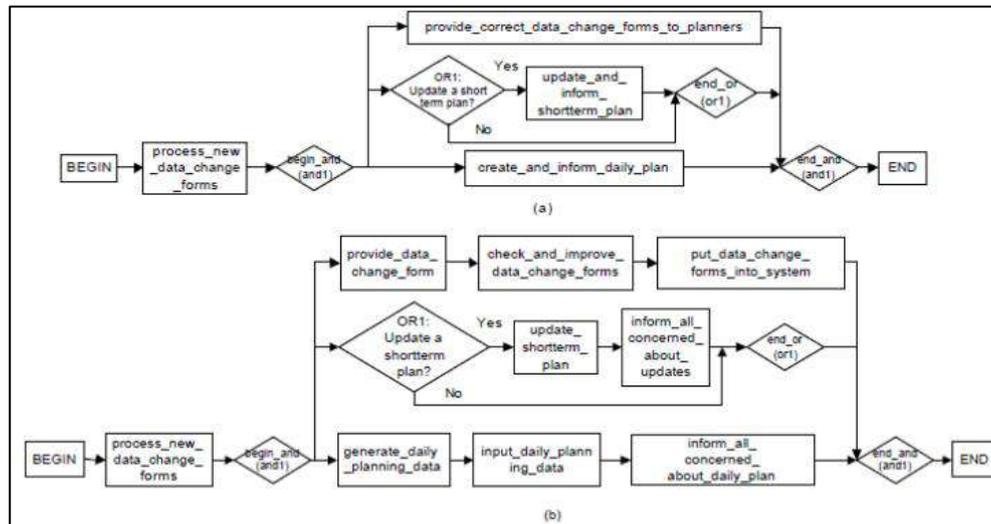


Figura 3. Flujo de trabajo. Vistas desagregadas

Las tareas utilizan, consumen o producen recursos de diferente tipo. Los tipos de recursos representan herramientas, suministros, componentes, datos, etc. y se caracterizan por nombre, categoría discreta, continua, que es la duración del intervalo de tiempo en el que se puede utilizar un tipo de recurso. Los tipos de recursos a veces se pueden descomponer formando jerarquías de recursos, por ejemplo: una base de datos puede constar de varias tablas de datos que contienen información diferente que puede ser utilizada por separado por diferentes tareas, mientras que otras tareas pueden requerir toda la base de datos. Un tipo de recurso puede tener una función diferente de los tipos de recursos en su descomposición, por ejemplo: un automóvil tiene un propósito diferente de cada uno de sus componentes.

Los recursos son instancias de tipos de recursos y heredan sus características, teniendo, además, nombre y cantidad. Los recursos son utilizados, consumidos o producidos por procesos en el flujo de trabajo. Varios procesos del mismo tipo de recurso pueden ser producidos por diferentes procesos y se diferencian por sus nombres. Algunos recursos pueden ser compartidos, utilizados simultáneamente, por un conjunto de procesos, por ejemplo, instalaciones de almacenamiento, vehículos de transporte. Se pueden definir conjuntos de procesos que pueden compartir recursos específicos. La representación de recursos compartidos que se muestra difiere de otras propuestas, como la de Barkaoui y Petrucci [2] en varios aspectos:

- La cantidad de recursos compartidos es utilizada por procesos simultáneamente.
- Se pueden definir conjuntos alternativos de procesos que pueden compartir un recurso.
- Se pueden compartir simultáneamente diferentes cantidades de un recurso.
- Se pueden definir condiciones específicas (requisitos) para compartir recursos.

En el ejemplo que se utiliza, se puede compartir un plan a corto plazo entre las tareas también se identificaron varios tipos de recursos, algunos enumerados en la Tabla 1 en relación con las tareas de nivel más bajo. La mayoría de los recursos identificados son discretos como: un plan a futuro, formularios de cambio de datos o detalles de pedidos de clientes. Los recursos usados, consumidos o producidos por una tarea de nivel superior comprenden los recursos usados, consumidos o producidos por las tareas de nivel inferior en su refinamiento.

A veces es importante monitorear dónde están los recursos en ciertos puntos de tiempo, para lo cual se usa el concepto de ubicación, por ejemplo representando las instalaciones de almacenamiento

disponibles. Los procesos pueden agregar o eliminar recursos de ciertos tipos de ubicaciones, que se pueden especificar mediante predicados del lenguaje LPR como ser: PROCESS, RESOURCE_TYPE, o LOCATION. Las restricciones genéricas para esta vista incluyen restricciones estructurales sobre la corrección de los flujos de trabajo, las jerarquías de tareas y recursos y las restricciones del mundo físico. Para las jerarquías, se debe mantener la consistencia asegurándose de que se cumpla el conjunto de restricciones entre niveles. También se puede instanciar para un plan a corto plazo y para un plan a futuro, así como para otros recursos que no estén directamente relacionados con la planificación.

4.2 Vista orientada al rendimiento

Las nociones centrales en la visión orientada al desempeño son la meta y el PI. Muchas organizaciones hoy en día establecen objetivos a alcanzar que reflejan diferentes aspectos del desempeño organizacional. Los objetivos se evalúan monitoreando y analizando los PI relacionados. Tradicionalmente, solo se consideraban PI numéricos, generalmente financieros como costos, ganancias, número de clientes; sin embargo, hoy en día se considera importante monitorear también indicadores como la satisfacción del cliente, la motivación de los empleados, que son cualitativos y difíciles de evaluar. El modelado de objetivos está respaldado en diversos grados por una serie de marcos existentes en el modelado empresarial. Sin embargo, el concepto de PI ha estado subrepresentado en la literatura. Este enfoque difiere en la representación explícita de los PI, el vínculo entre una meta y el PI que mide su satisfacción y las relaciones entre los PI que pueden usarse para razonar en la fase de diseño. Aquí se definen los conceptos de la vista orientada al rendimiento. Un PI es un indicador cuantitativo o cualitativo que refleja el estado o progreso de la empresa, unidad o individuo. Las características de un PI incluyen:

- Nombre
- Definición
- Tipo (continuo, discreto)
- Unidad de medida
- La duración del intervalo de tiempo para el que se evaluará
- Escala de medición
- Valor mínimo
- Valor máximo
- Fuente interna o externa para obtener la PI
- Propietario o agente que mide o describe)
- Umbral de los cambios en el valor del PI
- Dureza, no directamente medible o medible

Los PI se pueden relacionar a través de varias relaciones. En el marco propuesto en el ejemplo se consideran los siguientes:

- Influencia causal positiva o negativa de un PI sobre otro.
- Correlación positiva/negativa entre PI.
- Agregación, si dos PI expresan la misma medida en diferentes niveles.

Al decidir si una influencia causal es fuerte o no, se utiliza la característica de umbral de los PI. Si se observa un cambio por encima del umbral, la relación se considera fuerte. Las relaciones se pueden identificar usando documentos de la empresa, conocimiento del dominio, inferencia de relaciones conocidas, técnicas estadísticas o de minería de datos, conocimiento de otras estructuras del marco. Usando estas relaciones, se puede construir una estructura gráfica de PI. Para la estructura de PI del

ejemplo que se está utilizando se puede obtener una descripción gráfica [17], que permite ver con más detalles los PI.

Según cuales sean los PI, sus expresiones se pueden definir como declaraciones matemáticas sobre los PI que se pueden evaluar en un valor numérico, cualitativo o booleano, estas expresiones se utilizan para definir patrones de objetivos. El tipo de un patrón de objetivo indica la forma en que se verifica su propiedad: logrado o cesado; verdadero o falso: para un punto de tiempo específico; mantenido o evitado); optimizado: si el valor de la expresión PI ha aumentado, disminuido o se ha acercado a un valor objetivo para un intervalo determinado. Algunos de los posibles patrones de objetivos que se pueden definir en los PI y las expresiones de PI anteriores.

Las metas son objetivos que describen un estado o desarrollo deseado y se definen agregando a los patrones de metas información sobre conveniencia y prioridad. Las características de los objetivos incluyen:

- Nombre
- Definición
- Prioridad
- Objetivo de logro logrado o cesado, que debe evaluarse para un punto de tiempo
- Objetivo de desarrollo mantenido, evitado u optimizado, que debe evaluarse para un intervalo de tiempo
- Horizonte o momento en que debe cumplirse el objetivo
- Propiedad organizacional o individual
- Perspectiva para los objetivos de la organización
- Dureza dura o suave de la satisfacción
- Grados de satisfacción débil, fuerte o negable
- Negociabilidad es el objetivo negociable ante conflictos con otros objetivos

Los objetivos pueden refinarse mediante subobjetivos formando jerarquías. La información sobre la satisfacción de los objetivos de nivel inferior se puede propagar para determinar la satisfacción de los objetivos de nivel superior. Un objetivo se puede refinar en una o más listas alternativas de objetivos de tipo AND o de tipo equilibrado de descomposición más precisa inspirada en la función de promedio ponderado. Para cada tipo, se definen reglas de propagación específicas para determinar el valor de satisfacción o el nivel de satisfacción del objetivo de nivel superior. La Figura 5 muestra la jerarquía de metas para la planificación a corto plazo y hacia adelante en el ejemplo que se utiliza.

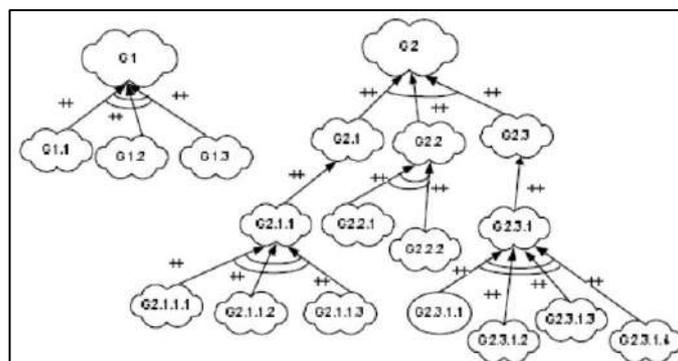


Figura 5. Jerarquías de las metas de la planificación

4.3 Vista orientada a la organización

En la vista orientada a la organización, las organizaciones se modelan como roles compuestos que se pueden refinar en roles simples o compuestos, que representan tantos niveles de agregación como sea necesario. Las estructuras de funciones refinadas corresponden a diferentes tipos de estructuras organizativas, por ejemplo, grupos, unidades o departamentos. La vista proporciona medios para estructurar y organizar roles al definir la interacción y las relaciones de poder en ellos. Primero, se discuten las relaciones de interacción, donde cada rol tiene una interfaz de entrada y otra de salida, para interactuar con otros roles y el entorno. Las interfaces de roles se describen en términos de ontologías de interacción, o de entrada y salida, en firmas especificadas en lógica ordenada. En términos generales, una ontología de entrada determina qué información se permite transferir a la entrada de un rol o entorno, y una ontología de salida predefine qué información se puede generar en la salida de un rol o un entorno. Para especificar un tipo de interacción, por ejemplo una comunicación, las ontologías de ambos roles que interactúan y que son: el rol fuente de la interacción y el rol de destino de la interacción, estas deben incluir el predicado:

comunicar desde el rol R1 al rol R2: forma de transmitir < el mensaje >

donde la forma de transmitir puede ser un acto del habla, por ejemplo: informar, solicitar o preguntar; y el mensaje es el contenido.

Los roles del mismo nivel de agregación, que pueden interactuar, están conectados por un enlace de interacción que indica la dirección de la interacción. Para representar la transición de información entre roles de dos niveles de agregación adyacentes, por ejemplo entre un rol que representa un departamento y un rol que pertenece a este departamento, se utilizan enlaces entre niveles. En forma gráfica se puede proporcionar las relaciones de comunicación entre los roles de la organización en cuestión. Estas relaciones corresponden a los canales de comunicación que existen, como los especificados explícitamente, en la organización y pueden ser utilizados en diferentes escenarios organizacionales. En la figura 6 se muestra las relaciones de interacción entre los roles en la organización en el primer nivel de agregación.

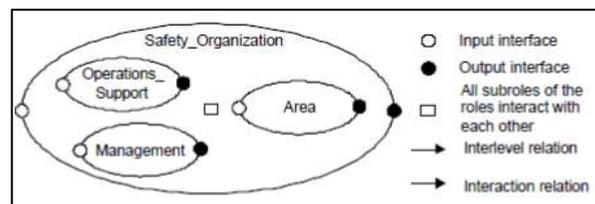


Figura 6. Interacción entre distintos roles de la Organización

En la Figura 7 se presentan las relaciones dentro de:

- El rol de Área
- El rol de Apoyo a Operaciones
- Los roles Planificación_delantera
- Los roles de Planificación de equipos

Mediante el uso de diferentes niveles de abstracción, se logra la escalabilidad de la representación gráfica. La representación del entorno puede variar en las especificaciones organizativas. Puede definirse por un conjunto de objetos con ciertas propiedades y estados y por relaciones causales entre

objetos. En otros casos, la dinámica del entorno se describe mediante procesos y tendencias de alto nivel, por ejemplo: cambios en la situación del mercado o oscilaciones ambientales naturales.

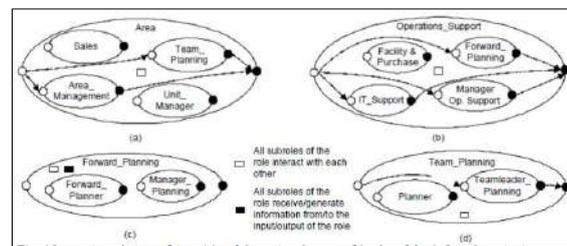


Figura 7. Relaciones entre los distintos roles de la Organización

En la Figura 8 se muestra las relaciones de interacción en el nivel generalizado representan plantillas que se pueden instanciar para un caso particular. Por ejemplo, los documentos de la organización del ejemplo que se trata definen patrones estándar de interacción entre los roles de Forward_Planner y Manager_Planning que se pueden modelar en el nivel generalizado. Sin embargo, para un análisis más detallado de la dinámica organizacional, se necesita una representación más específica que defina las relaciones de interacción entre las instancias de roles particulares del rol Forward_Planner, por ejemplo de diferentes equipos de planificación.

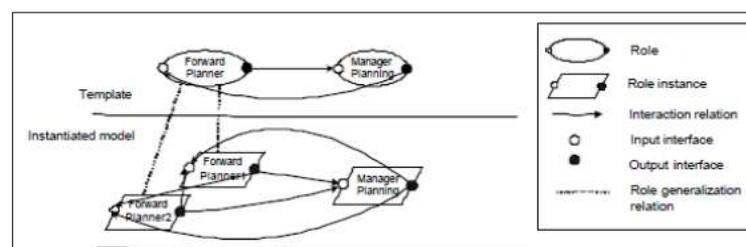


Figura 8. Relaciones entre los distintos roles a nivel agregado

4.4 Vista orientada a los agentes

Este tratamiento de la interacción de agentes difiere del enfoque de diseño de interacción de agentes descrito por Cheong y Winikoff. [18] donde los objetivos de interacción que se definen para los agentes, se pueden lograr mediante la realización de actos de interacción. En este marco presentado, los objetivos están relacionados con las relaciones de interacción a través de procesos que requieren esta interacción. En general, la eficiencia de la asignación de un agente a un rol depende de qué tan bien se ajusten las características del agente a los requisitos del rol. Sin embargo, las organizaciones modernas implementan principios de asignación muy diversos, por ejemplo basados en la igualdad, la antigüedad o el estímulo de jóvenes. Dichos principios pueden formalizarse como políticas de asignación que comprenden propiedades TTL.

Para modelar la dinámica de un agente en el contexto organizacional, se consideran los aspectos intencionales y motivacionales del agente. En las ciencias sociales modernas, el comportamiento de los individuos se considera impulsado por objetivos. Se reconoce que las metas de alto nivel de los individuos dependen de sus necesidades. Actualmente se identifica la siguiente división de necesidades en las ciencias sociales: necesidades extrínsecas asociadas con el confort biológico y las recompensas materiales; necesidades de interacción social que se refieren al deseo de aprobación social, afiliación y

compañerismo; necesidades intrínsecas que se refieren a los deseos de autodesarrollo, autorrealización y desafío.

En las organizaciones modernas, cuando se asigna un rol a un individuo, la identificación de sus metas específicas de nivel inferior se realiza en cooperación con un representante gerencial de la organización. Durante este proceso, los objetivos de alto nivel, basados en las necesidades del agente, se refinan en objetivos más específicos alineados con los objetivos de la organización utilizando relaciones AND y OR. A menudo se distinguen dos tipos de dichas metas: metas de desarrollo o aprendizaje y de desempeño. Los objetivos de desarrollo reflejan los deseos de los agentes de obtener ciertos conocimientos o algunas habilidades que también son útiles para la organización. Los objetivos de rendimiento generalmente se refieren a la eficacia y eficiencia de la ejecución de las tareas ya asignadas al agente. Tanto los objetivos de desarrollo como los de rendimiento se formalizan usando el lenguaje de la vista orientada al rendimiento y pueden cambiar con el tiempo.

La motivación de los agentes para realizar ciertas tareas es importante para asegurar la satisfacción de los objetivos tanto individuales como organizacionales relacionados directa o indirectamente con estas tareas. Por lo tanto, el aspecto motivacional del comportamiento del agente debe estar representado explícitamente en los modelos.

La mayor motivación la demuestra un agente mediante acciones, por ejemplo, la ejecución de tareas organizacionales, que significativamente contribuyen a la satisfacción de sus objetivos principales. Para razonar sobre la motivación y el comportamiento laboral de los agentes se utiliza la versión de Vroom de la teoría de la expectativa [15] que establece dependencias causales entre una serie de parámetros individuales, organizacionales y ambientales y la motivación del agente para realizar ciertas acciones o procesos. La teoría de las expectativas es una de las pocas teorías de la organización que puede hacerse operativa y utilizarse para la simulación.

El marco no se adhiere a una arquitectura de agente particular y en el caso general, la dinámica de un agente puede especificarse mediante propiedades dinámicas expresadas en TTL. Además, se pueden representar las arquitecturas de modelado de agentes existentes utilizando TTL.

Esto, a diferencia de los otros tres puntos de vista que son prescriptivos, se orienta al agente, y tiene un carácter descriptivo. Por lo tanto, no se pueden definir restricciones específicas para esta vista. Sin embargo, es posible definir restricciones que involucren la vista orientada al agente y una o más vistas. Por ejemplo, una restricción entre las vistas orientadas a los agentes, orientadas a los procesos y orientadas a la organización puede ser la siguiente:

“Cada agente reclutado que no haya desempeñado un rol en la organización en el pasado debe asistir a un evento de inducción corporativa dentro de tres meses de iniciado”.

4.5 Relaciones entre las vistas

Las vistas del marco están conectadas entre sí a través de relaciones entre sus conceptos, por ejemplo los roles están comprometidos con los objetivos de la organización y los agentes pueden estar comprometidos con los objetivos individuales o de la organización. Los objetivos deben ser realizables por tareas definidas en la vista orientada a procesos, que están representadas o instanciadas por procesos en el flujo de trabajo. Los PI miden aspectos de la ejecución de procesos, como ser: duración, salida, precisión, corrección, etc., y pueden tener la propiedad de reflejar el desempeño de roles y agentes. Dado que los roles en la vista orientada a la organización se pueden especificar en diferentes niveles de agregación, un PI puede ser propiedad de un solo empleado, un grupo o equipo o incluso de toda la organización.

Los objetivos de nivel superior suelen ser más abstractos. A través del refinamiento, se formulan objetivos más específicos, más fáciles de evaluar. Además, a menudo los objetivos de nivel superior son objetivos estratégicos a largo plazo, mientras que sus objetivos secundarios son objetivos tácticos u operativos a corto plazo. Los niveles de las jerarquías deben ser objetivos formulados de modo que los PI correspondientes puedan asociarse claramente con los procesos en el flujo de trabajo. De esta forma se puede evaluar la satisfacción de cada objetivo en las jerarquías.

También en la etapa anterior del proceso de diseño se identifican una o más tareas generales respondiendo a la pregunta: ¿qué debe hacer la organización? Para identificar estas tareas a veces solo se consideran los objetivos definidos. Sin embargo, cuando los agentes involucrados son solo parcialmente conocidos, la definición de tareas también puede basarse en las habilidades y experiencia disponibles. Estas tareas se refinan en jerarquías de tareas. Se identifican los tipos de recursos utilizados o producidos que también pueden formar jerarquías. Según las tareas, los procesos se definen y organizan en flujos de trabajo posiblemente en diferentes niveles de abstracción. El nivel de elaboración de estas estructuras puede depender del tipo de organización. En las organizaciones mecanicistas, los procedimientos se prescriben con un alto grado de detalle, lo que da como resultado estructuras elaboradas refinadas a tareas y procesos simples. En las organizaciones orgánicas, por ejemplo, las adhocracias, los procedimientos se describen en un nivel más alto de abstracción, lo que deja a los agentes más libertad para elegir cómo realizarlos, esto da como resultado jerarquías de tareas poco profundas y flujos de trabajo menos elaborados.

El proceso de diseño puede seguir diferentes caminos a través de las vistas y los conceptos, pero se pueden formular varias pautas generales. Cuando un objetivo definido de manera informal se formaliza y se hace más preciso, esto debería reflejarse en la estructura del PI, lo que a menudo significa definir un nuevo PI o revisar uno existente. Un cambio en la jerarquía de objetivos también debe reflejarse en la jerarquía de tareas mediante la identificación de tareas nuevas o existentes que puedan realizar los objetivos nuevos o revisados. Un cambio en la jerarquía de tareas a menudo genera cambios en el diseño del flujo de trabajo actual. Agregar o revisar procesos en el flujo de trabajo puede dar lugar a nuevos PI para monitorear. Cuando se propone un PI se debe decidir su nivel de importancia para entender si se debe formular una nueva meta en base a él.

Las relaciones de poder y autoridad entre los roles definidos generalmente se asignan en las etapas posteriores del diseño. Sin embargo, se pueden predefinir y comprometer diferentes esquemas generales en las primeras etapas, así como dejar los detalles para más adelante. Dichos esquemas reflejan diferentes tipos de organizaciones identificadas en la teoría organizacional tales como: organizaciones jerárquicas, planas o basadas en equipos que difieren en la forma en que el poder es distribuido, otorgado o aceptado por los roles de los agentes.

La elección del esquema debe basarse en un análisis del entorno en el que debe operar la organización. Por ejemplo, un entorno relativamente estable tolera una estructura jerárquica bien definida que permite una mayor eficiencia. Un entorno cambiante puede ser abordado por una estructura más ligera, flexible y dinámica adaptable a los cambios. El entorno en el que operará la organización debe tenerse en cuenta en cada paso del diseño y en cada vista del marco.

A veces, en lugar de diseñar una organización desde cero, se crea una especificación de una existente. Aquí se utiliza una amplia gama de documentos internos o externos, por ejemplo, políticas de la empresa, descripciones de puestos, declaración de misión, descripciones de procedimientos o leyes. Sin embargo, incluso la documentación más rica deja cierta información sin especificar, por lo que es esencial involucrar a expertos y administradores del dominio.

5.2 El proceso de especificación para el ejemplo propuesto.

La especificación de la organización en el ejemplo que se analiza está diseñada en base a las descripciones de los trabajos existentes para los empleados y los documentos que describen la misión, los objetivos, la estructura y los procedimientos de la empresa. El proceso se inició con la definición de los roles involucrados, su descomposición y el esquema general de las relaciones de autoridad y poder en la organización. Para cada función, sus tareas principales se definen en las descripciones de puestos. Estos se utilizaron como base para la construcción de las jerarquías de tareas. Las tareas predefinidas fueron formalizadas y refinadas o agregadas donde fue necesario introduciendo nuevas tareas en los niveles inferiores o superiores de las jerarquías. Utilizando las tareas de nivel más bajo y la documentación sobre los procedimientos de la empresa, se definieron los procesos en el flujo de trabajo y sus relaciones. Los procedimientos de la empresa sobre algunos aspectos de la organización están relativamente bien documentados, como la ruta de un contrato de cliente, sin embargo, otros están escasamente documentados, por ejemplo: formación, evaluación y contratación. Allí se utilizaron principalmente las descripciones de puestos de los empleados. Junto con las tareas y procesos, se identificaron los tipos de recursos relevantes y los recursos que en su mayoría describen planes a futuro, a corto plazo y diarios y varios datos provenientes de los sistemas de información de la empresa, formularios de cambio de datos, varios informes y resúmenes para el equipo de gestión.

Paralelamente a la especificación de la vista orientada al proceso, también se especificó la vista orientada al rendimiento. Aquí, se utilizaron los documentos sobre la misión y los objetivos generales de la empresa, así como las descripciones de puestos donde se definen algunas medidas de desempeño y objetivos para los roles individuales. La declaración de la misión y los objetivos de la empresa se definieron con un nivel de abstracción muy alto utilizando nociones como la satisfacción del cliente, la motivación de los empleados, la eficiencia y la eficacia de las operaciones. Estos se utilizaron para definir los objetivos de más alto nivel en las jerarquías de objetivos. Mientras se perfeccionaron, reformularon y formalizaron los objetivos, se identificaron los PI relacionados. Por el contrario, los PI y los objetivos extraídos de las descripciones de puestos eran muy específicos, aunque incompletos. Se utilizaron para definir objetivos de nivel inferior. Cuando fue necesario, se insertaron metas intermedias para completar las estructuras de metas. Otros objetivos se basaron en declaraciones de varios documentos de la empresa que definen medidas de desempeño. Primero se definieron los PI, luego los objetivos relacionados. Cuando la columna vertebral de las vistas orientadas a procesos y orientadas al desempeño estuvo disponible, el proceso de relacionarlos comenzó asignando metas y PI a procesos y tareas.

Finalmente, se definieron y formalizaron las relaciones específicas de autoridad y poder a partir de las jerarquías de roles y tareas. También se definieron las ontologías de entrada y salida para los roles. Las descripciones de puestos proporcionan requisitos bien definidos para los agentes que desempeñan las funciones que se incorporaron en la especificación como capacidades requeridas para las funciones.

Las restricciones específicas del dominio se extrajeron de todos los documentos disponibles en varios pasos del proceso. La mayoría de ellos fueron impuestos por la organización para regular sus procedimientos internos y garantizar un alto nivel de servicio y comunicación con los clientes. Las restricciones específicas de dominio impuestas por el mundo físico faltaban en su mayoría en la documentación, ya que se consideraban obvias. Estos se agregaron en función del conocimiento del dominio.

6 ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS Y DINÁMICAS ORGANIZATIVAS

Siguiendo a Sharpanskykh [17], los fundamentos formales del marco propuesto permiten tres tipos de análisis automatizado:

- Verificación de consistencia de las especificaciones de cada vista, es decir, establecer la corrección con un conjunto de restricciones.
- Validación de especificaciones correctas por simulación.
- Análisis de ejecuciones reales de escenarios organizacionales basados en especificaciones.

En la visión orientada al desempeño, se ha definido un conjunto de restricciones y reglas de razonamiento que aseguran la consistencia de las estructuras de PI y metas. En la vista orientada a procesos, las restricciones de consistencia estructural se definen para los tres tipos de estructuras: flujo de trabajo, jerarquías de tareas y recursos. La verificación de estas restricciones está respaldada por herramientas automáticas. Las especificaciones del flujo de trabajo se pueden analizar en diferentes niveles de abstracción. La visión orientada a la organización identifica conjuntos de restricciones de coherencia genérica en las estructuras de interacción de los roles y en las relaciones formales de autoridad. Para verificar tales restricciones, tanto la estructura de interacción como la de autoridad se traducen a la representación gráfica, en la que cada vértice corresponde a un rol y cada borde corresponde a una relación de interacción/autoridad. Luego, usando algoritmos de la teoría de grafos se puede establecer la satisfacción de las restricciones. Las estructuras de la vista orientada a la organización también se pueden analizar en diferentes niveles de agregación.

Sobre la base de especificaciones correctas, se puede realizar una simulación en la que se asignan diferentes tipos de agentes, definidos utilizando los conceptos de la vista orientada al agente, a los roles de la organización. Al considerar diferentes escenarios de simulación del comportamiento organizacional, la validación de las especificaciones organizacionales se puede realizar utilizando la herramienta dedicada.

Para especificar modelos de simulación se utiliza un sublenguaje del TTL, el lenguaje temporal LEADSTO que permite modelar dependencias temporales directas entre propiedades de cada estado [17]. Una especificación de propiedades dinámicas en formato LEADSTO es ejecutable y, a menudo, puede representarse gráficamente con facilidad. La herramienta de simulación genera los resultados de la simulación en forma de traza. Las trazas se pueden utilizar para la validación de especificaciones mediante la comprobación de propiedades TTL dinámicas. Dada una traza y una propiedad formalizada como entrada, el software generará un resultado positivo o negativo.

Las especificaciones organizativas correctas se pueden utilizar para guiar y controlar la ejecución real de los procesos. Los datos de ejecución registrados por un EIS y estructurados en forma de traza pueden verificarse para verificar su conformidad con una organización formal mediante la especificación y el conjunto de restricciones. Para ello, la especificación de la organización formal se traduce en propiedades expresadas en el lenguaje de ejecución utilizado para la formalización de la traza. Estas propiedades se verifican en la traza utilizando el software TTL Checker. Además, el diseñador puede especificar propiedades adicionales para verificar.

Las trazas también se pueden utilizar para evaluar los PI asociados con los procesos ejecutados. Estos PI están relacionados con las hojas de la jerarquía de objetivos, por lo que se puede evaluar la satisfacción de estos objetivos. Los valores de satisfacción se propagan hacia arriba para establecer la satisfacción de los objetivos de nivel superior que determinan el rendimiento general de la organización.

7 CONCLUSIONES

La estructura organizacional de la empresa ha demostrado ser fundamental para enfrentar los cambios de su entorno económico y tecnológico, los primeros modelos de evaluación que se aplicaron se basaron en evaluaciones que no analizaron las estructuras de la organización, las cuales son las que potencian o dificultan su capacidad de adaptación a los desafíos de un cambio tecnológico cada vez más veloz y un entorno económico cada vez más cambiante.

Como alternativa a otras metodologías se ha descrito un marco formal para el modelado y análisis de organizaciones. El marco incluye una rica base ontológica que comprende conceptos y relaciones divididas en cuatro vistas dedicadas: vista orientada al proceso, orientada al desempeño, orientada a la organización y orientada al agente. El marco se puede utilizar para representar diferentes tipos de organizaciones, desde mecanicistas hasta orgánicas y permite definir diferentes tipos de restricciones utilizando los lenguajes formales dedicados de las vistas. Además, incorpora modelos de individuos basados en agentes basados en teorías sociales. A diferencia de muchas arquitecturas existentes, el marco propuesto permite realizar diferentes tipos de análisis automatizado de vistas particulares y entre vistas. Las especificaciones organizacionales se pueden representar y analizar en diferentes niveles de abstracción, lo que permite manejar una alta complejidad y aumenta la escalabilidad del modelado.

También permite la reutilización de varias maneras que acelera y facilita el proceso de modelado. Las bibliotecas de partes de estructuras que aparecen comúnmente, como jerarquías de objetivos y tareas, estructuras de PI, gráficos de flujo de trabajo, etc., se pueden reutilizar para organizaciones en dominios similares. La herramienta utilizada permite definir plantillas parametrizadas para fórmulas TTL que pueden ser instanciadas de diferentes maneras y que también pueden ser utilizadas como soporte para diseñadores no expertos en lógica. También, la aplicación del marco propuesto ha sido ilustrada por un ejemplo de una organización del dominio de la seguridad. Esto permite facilitar aún más el uso del marco en varios entornos organizacionales, para investigar cómo se puede facilitar y modelar el cambio organizacional. El cambio organizacional ejerce una gran presión y riesgo para una organización y sus empleados, frecuentemente no se alcanzan los resultados esperados, se exceden las limitaciones de presupuesto y tiempo; por ello las técnicas para hacer que el proceso sea más completo y proporcionar medios para el análisis de la nueva organización diseñada antes de que se realice la inversión principal pueden disminuir el riesgo y proporcionar una mejor oportunidad para el éxito.

Adicionalmente su uso permitiría definir plantillas para diferentes tipos de organizaciones que se pueden reutilizar y convertirse en la base de nuevas especificaciones. En aspectos específicos, como la estructura jerárquica, plana o basada en equipos se pueden predefinir hasta cierto punto, lo que le da al diseñador la oportunidad de personalizar la plantilla.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Burton, R.M., & Obel, B. (2004). *Strategic Organizational Diagnosis and Design: Developing Theory for Application*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- [2] Barkaoui, K., & Petrucci L. (1998). Structural analysis of workflow nets with shared resources. In W.M.P. van der Aalst, G. De Michelis, C.A. Ellis (Eds.), *Workflow Management: Net-based Concepts, Models, Techniques and Tools* (pp. 82–95). Lisbon: UNINOVA.

- [3] Bernus, P., Nemes, L., & Schmidt, G. (Eds.). (1998). Handbook on Architectures of Information Systems Heidelberg: Springer.
- [4] Bresciani, P., Giorgini, P., Giunchiglia, F., Mylopoulos, J., Perini, A. (2004). Tropos An Agent-Oriented Software Development Methodology. *Journal of Autonomous Agent and Multi-Agent Systems*, 8(3): 203-236.
- [5] Chapurlat, V., Kamsu-Foguem, B., & Prunet, F. (2006). A formal verification framework and associated tools for enterprise modeling: Application to UEML, *Computers in industry*, 57, 153-166.
- [6] Dalal, N., Kamath, M., Kolarik, W. & Sivaraman, E. (2004). Toward an integrated framework for modeling enterprise processes. *Communications of the ACM*, 47(3), 83-87.
- [7] Dignum, V. (2003). A model for organizational interaction: based on agents, founded in logic. Ph.D. Dissertation, Utrecht University.
- [8] Ferber, J., & Gutknecht, O. (1998). A meta-model for the analysis and design of organizations in multiagent systems. In Y. Demazeau (Ed.), *Proceedings of Third International Conference on Multi-Agent Systems* (pp. 128-135). IEEE Computer Society.
- [9] Fox, M., Barbuceanu, M., Gruninger, M., & Lin, J. (1997). An Organization Ontology for Enterprise Modelling. In M. Prietula, K. Carley, L. Gasser (Eds.), *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups* (pp. 131-152). Menlo Park CA: AAAI/MIT Press.
- [10] Hannoun, M., Boissier, O., Sichman J.S., Sayettat, C. (2000). MOISE: An Organizational Model for Multi-agent Systems. In M.C. Monard, J.S. Sichman (Eds.), *Proceedings of the 7th Ibero-American Conference on AI: Advances in Artificial Intelligence, LNCS 1952* (pp. 156 – 165), Berlin: Springer.
- [11] Horling, B., & Lesser, V. (2005). A Survey of multi-agent organizational paradigms. *The Knowledge Engineering Review*, 19(4), 281-316.
- [12] Hubner, J.F., Sichman, J.S., & Boissier, O. (2002). MOISE+: towards a structural, functional and deontic model for MAS organization. In C. Castelfranchi, L. Johnson (Eds), *Proceedings of the 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* (pp. 501-502), ACM.
- [13] Koubarakis, M., & Plexousakis, D. (2002). A formal framework for business process modeling and design. *Information Systems*, 27(5), 299–319.
- [14] Mintzberg, H. (1979). *The Structuring of Organizations*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- [15] Pinder, C.C. (1998). *Work motivation in organizational behavior*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- [16] De Raad, B., & Perugini, M. (2002). *Big Five Assessment*. Hogrefe & Huber.
- [17] Sharpanskykh, A. (2008). *On Computer-Aided Methods for Modeling and Analysis of Organizations*. Ph.D. Dissertation, VU University Amsterdam.
- [18] Tham, K.D. (1999). *Representation and Reasoning About Costs Using Enterprise Models and ABC*, PhD Dissertation, Enterprise Integration Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto.

- [19] Van der Aalst, W., ter Hofstede, A., Kiepuszewski, B., & Barros, A.P. (2003). Workflow patterns. *Distributed and Parallel Databases*, 14(3), 5-51.
- [20] Zambonelli, F., Jennings, N.R., & Wooldridge, M. (2003). Developing multiagent systems: the Gaia Methodology. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 12 (3): 317-370.