

## Formulario para la presentación de Proyectos de I+D+i - FIO

**TÍTULO DEL PROYECTO:** Desarrollo de gemelos digitales como soporte a la Toma de Decisiones autónomas en sistemas de producción flexible

**ÁREA DE CONOCIMIENTO:** Industria 4.0

**TIPO DE PROYECTO:**

- Investigación aplicada

### CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO

Apellido y nombre	Institución	Función
Urrutia Silvia	FIO – UNICEN	Profesora - Investigadora
Roark Geraldina	FIO – UNICEN	Profesora - Investigadora
Chiodi Franco	FIO – UNICEN	Profesor - Investigador
Villalba Luciano	FIO – UNICEN	Profesor - Investigador
De Paula Mariano	FIO – UNICEN	Profesor - Investigador
Saavedra Sueldo Carolina	FIO – UNICEN	Alumna de Doctorado
Pérez Colo Ivo	FIO – UNICEN	Alumno de Doctorado

### PROBLEMA A ABORDAR Y ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Las organizaciones en general se encuentran experimentando una transición en torno a la era digital. Los procesos de fabricación no son ajenos a esta transición y requieren imperiosamente de una combinación de habilidades entre ingeniería, fabricación y tecnología de la información para llevar a cabo una planificación eficiente de la producción. En esta *transición digital*, las empresas deben repensar la organización de los recursos productivos alrededor de una nueva generación denominada como fábricas inteligentes, producto de lo que se conoce como la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 y que a su vez definen nuevas demandas tanto en materia de producción, con requisitos de productividad, efectividad, calidad y sustentabilidad, así como de habilidades por parte de los profesionales involucrados [1]. Un común denominador que se plantea en esta nueva era de digitalización para los sistemas flexibles de producción es la disposición y aprovechamiento de una gran cantidad de datos, provenientes de fuentes heterogéneas, con fuerte valor táctico y estratégico para la toma de decisiones operativas y estratégicas.

En el nuevo paradigma de las “Fábricas 4.0” ha surgido la implementación del concepto de “gemelo digital” (*Digital Twin*) [2], [3], [4]. Este concepto es una de las tecnologías centrales que está irrumpiendo fuertemente y cambiando la dinámica del sector industrial [5]. Un gemelo digital es una “*réplica virtual*” de objetos y procesos que simula el comportamiento de sus homólogos reales [6] [7], cuyo fin es analizar su eficacia o comportamiento bajo determinadas suposiciones para mejorar la eficiencia y eficacia del sistema productivo en su conjunto [8]. Los gemelos digitales emplean la simulación (dinámica y de eventos discretos) [9], en conjunto con una variedad de datos provenientes de los equipos y sistemas físicos de planta, para mantener actualizado continuamente los modelos digitales con el fin de reflejar cualquier cambio que ocurra en los equivalentes físicos a lo largo del tiempo. De esta manera, se logra un esquema de retroalimentación en un entorno virtual que facilita la toma de decisiones apoyándose en estos “gemelos digitales” buscando así minimizar el riesgo de las decisiones escogidas permitiendo, al

mismo tiempo, optimizar continuamente la producción y el rendimiento por un coste e impacto mínimo.

Este plan de trabajo plantea como eje principal la problemática inherente a la necesidad de generar nuevas propuestas para el desarrollo de sistemas de toma de decisiones en el segmento de manufactura flexible dentro del contexto sustentable de la Industria 4.0, mediante el desarrollo de gemelos digitales a través de la combinación de métodos y técnicas de simulación. Cabe destacar que, a lo largo de la historia la simulación dinámica de procesos es una herramienta que se ha adoptado como la base fundamental para representar sistemas complejos a través de modelos simples y fáciles de comprender [10]–[12] y que sirven de apoyo a la toma de decisiones estratégicas y tácticas de toda una organización [13], [14]. Particularmente, se hará un especial énfasis en el uso de los recientes recursos tecnológicos incorporados y disponibles en la FIO para tal fin, como lo son los simuladores Tecnomatix – Siemens® y FlexSim®.

#### **FUNDAMENTACIÓN** (máximo 400 palabras)

Este plan de investigación tiene como eje central la problemática inherente a la necesidad de generar nuevas propuestas para el desarrollo de gemelos digitales para el segmento de manufactura flexible dentro del contexto sustentable de la Industria 4.0 (I4.0) el que demanda imperiosamente propuestas y soluciones que partan desde el ámbito académico. Particularmente, se plantea el desarrollo e integración de gemelos digitales desarrollados en base a las técnicas y metodologías de simulación sistemas (dinámicos y de eventos discretos) a través del uso de sistemas informáticos, incorporando conceptos y herramientas de manufactura esbelta y Six Sigma para contribuir a la excelencia operacional, facilitando los procesos de toma de decisiones en ambientes complejos [15]–[17]. Se pondrá énfasis en utilizar las herramientas de software y hardware disponibles en la FIO-UNICEN con miras a generar propuestas tecnológicamente adoptables por las capacidades disponibles de las pequeñas y medianas empresas de la región. En el desarrollo de las propuestas, se buscará que las mismas sean tecnológicamente transferibles y extrapolables a plantas industriales de la región, poniendo especial atención en las pequeñas y medianas empresas. Vale la pena mencionar que en la región de influencia de la FIO UNICIEN existe un número importante de empresas de producción industrial que potencialmente se beneficiarían con la incorporación de las propuestas surgidas de la ejecución de este plan de investigación. La actividad industrial de la región está fuertemente conformada por la industria cementera, la industria cerámica y también por la industria metalmeccánica y de producción de máquinas agrícolas (fundamentalmente para exportación), las cuales no son ajenas al fenómeno global de transformación digital, convirtiéndose directamente en potenciales receptores de los futuros desarrollos, como lo demuestran estudios previos [18]–[21]. Por otra parte, los procesos de adaptación a los nuevos requisitos impuesto por la I4.0, sin lugar a dudas requerirán de profesionales con nuevas competencias para afrontar los procesos de transición y adaptación a esta nueva era. Por esto, el apoyo a la formación y actualización de los conocimientos de los actores del ámbito académico es una cuestión fundamental para poder brindar a los estudiantes, es decir a los nuevos profesionales, las herramientas necesarias para transformarse en los agentes de cambio que lideren las transformaciones de las empresas y las organizaciones en esta nueva era que se avecina.

#### **OBJETIVO GENERAL** (máximo 150 palabras)

Actualmente en nuestro país es casi inexistente, o excesivamente incipiente, la generación de propuestas tecnológicas para aprovechar las potencialidades de contar con sistemas de apoyo para la toma de decisiones en sistemas productivos asociadas a la planificación y control de la producción. La idea de generar nuevos conocimientos para acompañar a las empresas

locales en esta nueva era de *transformación digital*, en vistas a repensar la organización de sus recursos productivos en este nuevo paradigma de *fábricas inteligentes*, va en el sentido de generar tecnología industrial de utilidad y alto valor agregado en pos de mejorar la competitividad. En consecuencia, el **objetivo general del proyecto** es *generar una propuesta de soporte para la toma de decisiones para procesos de producción manufacturera flexible*, propios de la nueva era de la Industria 4.0, compatible especialmente con las posibilidades tecnológicas de las pequeñas y medianas empresas de la región.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS** (máximo 150 palabras)

- I. Identificar en la región de influencia de la FIO-UNICEN las potenciales industrias que estén impulsando una transformación digital, acompañada por metodologías de mejora de procesos tales Lean Manufacturing y Six Sigma, con el fin de potenciar su competitividad.
- II. Relevar la situación actual, capacidades y posibilidades de las industrias identificadas en el paso anterior y las necesidades asociadas con la potencialidad de los desarrollos de este plan de trabajo.
- III. Familiarizarse con los métodos y técnicas de Manufactura esbelta (Lean Manufacturing) y Six sigma, respecto de sus potencialidades y aplicabilidad en empresas PyMEs industriales.
- I. Familiarizarse con los métodos y técnicas de simulación de sistemas y el paradigma de gemelo digital.
- V. Familiarizarse con los lenguajes propios de los simuladores de sistemas de producción disponibles en la FIO, *Tecnomatix Plant Simulation®* y *FlexSim®*.
- VI. Estudiar e investigar las posibles formas de integración de instrumental diverso y equipos heterogéneos para disposición de los datos requeridos por un gemelo digital.
- VII. Proponer y desarrollar un prototipo de Gemelo Digital para un caso particular identificado en los puntos I y II.
- VIII. Publicación de resultados parciales en congresos y/o revistas pertinentes.

#### **MÉTODOS Y TÉCNICAS A EMPLEAR**

La propuesta de este proyecto consiste en la investigación y desarrollo para generar tecnología para empresas de manufactura flexible frente a condiciones de producción y demanda variables y muchas veces incierta, en busca de maximizar la competitividad y sustentabilidad de las organizaciones. Particularmente, el énfasis se enfoca en desarrollar gemelos digitales tecnológicamente compatibles con las posibilidades de las industrias PyMe de la región. La metodología que se aplicará en la etapa de investigación es la habitual en la investigación científica aplicada, que comprende los siguientes pasos:

Paso 1: Relevamiento de la situación actual regional.

Paso 2: Revisión bibliográfica y estado del arte actual de las metodologías de simulación dinámica y de eventos discretos aplicada a la industria de manufactura flexible.

Paso 3: Revisión bibliográfica y relevamiento de los simuladores computacionales.

Paso 4: Revisión de las cualidades, potencialidades y aplicabilidad de los simuladores Tecnomatix Plant Simulation y FlexSim disponibles en la FIO.

Dentro de estos pasos, varios pequeños pasos intermedios deben realizarse para alcanzar sub-objetivos. En cada paso intermedio, a partir de las eventuales discrepancias observadas, los pasos previos pueden ser reformulados. La aplicación sistemática de esta metodología asegura que cualquier desarrollo teórico que se efectúe sea probado experimentalmente.

## ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA

Etapa	Bimestre											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E1												
E2												
E3												
E4												
E5												
E6												
E7												
E8												

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] L. Da Xu, E. L. Xu, and L. Li, "Industry 4.0: state of the art and future trends," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 56, no. 8, pp. 2941–2962, Apr. 2018.
- [2] S. Haag and R. Anderl, "Digital twin – Proof of concept," *Manuf. Lett.*, vol. 15, pp. 64–66, Jan. 2018.
- [3] Q. Qi, F. Tao, Y. Zuo, and D. Zhao, "Digital Twin Service towards Smart Manufacturing," *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 237–242, Jan. 2018.
- [4] S. Baskaran *et al.*, "Digital human and robot simulation in automotive assembly using siemens process simulate: A feasibility study," *Procedia Manuf.*, vol. 34, pp. 986–994, 2019.
- [5] J. Cheng, H. Zhang, F. Tao, and C. F. Juang, "DT-II: Digital twin enhanced Industrial Internet reference framework towards smart manufacturing," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 62, p. 101881, Apr. 2020.
- [6] D. Botkina, M. Hedlind, B. Olsson, J. Henser, and T. Lundholm, "Digital Twin of a Cutting Tool," *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 215–218, Jan. 2018.
- [7] R. P. Rolle, V. D. O. Martucci, and E. P. Godoy, "Architecture for Digital Twin implementation focusing on Industry 4.0," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, no. 5, pp. 889–898, 2020.
- [8] I. Mahdavi, B. Shirazi, and M. Solimanpur, "Development of a simulation-based decision support system for controlling stochastic flexible job shop manufacturing systems," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 18, no. 6, pp. 768–786, 2010.
- [9] D. Antonelli, P. Litwin, and D. Stadnicka, "Multiple System Dynamics and Discrete Event Simulation for manufacturing system performance evaluation," *Procedia CIRP*, vol. 78, pp. 178–183, 2018.
- [10] N. Furian, M. O. Sullivan, C. Walker, S. Vössner, and D. Neubacher, "Simulation Modelling Practice and Theory A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 56, pp. 82–96, 2015.
- [11] A. Natasya, A. Wahab, M. Mukhtar, and R. Sulaiman, "A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions," *Procedia Technol.*, vol. 11, no. Iccci, pp. 1292–1298, 2013.
- [12] S. Hartini and U. Ciptomulyono, "The Relationship between Lean and Sustainable Manufacturing on Performance: Literature Review," *Procedia Manuf.*, vol. 4, no. less, pp. 38–45, 2015.
- [13] B. Mrugalska and M. K. Wyrwicka, "Towards Lean Production in Industry 4.0," *Procedia Eng.*, vol. 182, pp. 466–473, 2017.
- [14] K. Ding, J. Lei, F. T. S. Chan, J. Hui, F. Zhang, and Y. Wang, "Hidden Markov model-based autonomous manufacturing task orchestration in smart shop floors," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 61, no. September 2018, pp. 1–9, 2020.
- [15] H. Cortes, J. Daaboul, J. Le Duigou, and B. Eynard, "Strategic Lean Management: Integration of operational Performance Indicators for strategic Lean management," *IFAC-PapersOnLine*, 2016, doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.551.
- [16] S. Tyagi, X. Cai, K. Yang, and T. Chambers, "Lean tools and methods to support efficient knowledge creation," *Int. J. Inf. Manage.*, 2015, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2014.12.007.
- [17] H. Felizzola and C. Luna, "Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico Lean Six Sigma in small and medium enterprises: a methodological approach," *Rev. Chil. Ing.*, vol. 22, no. 2, pp. 263–277, 2014.
- [15] A. Alkhoraif, H. Rashid, and P. McLaughlin, "Lean implementation in small and medium enterprises: Literature review," *Oper. Res. Perspect.*, no. November, p. 100089, 2018.
- [16] J. Enke, R. Glass, A. Kreß, J. Hambach, M. Tisch, and J. Metternich, "Industrie 4.0 - Competencies for a modern production system: A curriculum for Learning Factories,"

- Procedia Manuf.*, vol. 23, no. 2017, pp. 267–272, 2018.
- [17] R. Henao, W. Sarache, and I. Gómez, “Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges,” *J. Clean. Prod.*, vol. 208, pp. 99–116, 2019.
- [18] T. Wagner, C. Herrmann, and S. Thiede, “Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems,” *Procedia CIRP*, vol. 63, pp. 125–131, 2017.

#### **RESULTADOS ESPERADOS (máximo 200 palabras)**

Respecto a los aportes concretos originados por los desarrollos de este proyecto se pretende generar soluciones ingenieriles vinculados al desarrollo de nuevas y más robustas metodologías que permitan la combinación de distintos simuladores computacionales para el desarrollo de gemelos digitales para la nueva tendencia de “fábricas inteligentes”.

Con las tareas asociadas a este plan de trabajo, se busca fortalecer y estimular las actividades de investigación del departamento de Ingeniería Industrial. Asimismo, se espera que los desarrollos realizados contribuyan a estimular la vocación científica - tecnológica de alumnos avanzados de la carrera de ingeniería industrial, vinculada con las incumbencias y competencias de la carrera, para fortalecer la formación en investigación. De esta forma se pretende contribuir en el fortalecimiento del equipo de investigación perteneciente al departamento de Ingeniería Industrial de la FIO. Dicho equipo se encuentra en una etapa de crecimiento, abordando ejes temáticos alineados a las demandas del siglo XXI en los sistemas productivos. Los aportes que se esperan alcanzar, se encuadran directamente en las líneas de investigación definidas de interés por el Departamento de Ingeniería Industrial y también se espera sea la base trabajos finales de carreras y que eventualmente sienten las bases posteriores planes de tesis doctorales.

#### **GRADO DE IMPACTO (máximo 200 palabras)**

Se espera que los desarrollos de este trabajo de investigación tenga un impacto tanto en el ámbito de la FIO, la comunidad empresarial local y la comunidad científica. Respecto al impacto en el ámbito de la FIO nos referimos principalmente con la actualización y desarrollo de nuevos conocimientos de los actores involucrados, los cuales se esperan derramen directamente hacia la actualización de algunas así asignaturas de la carrera de ingeniería industrial, así como hacia la creación de nuevos cursos (electivos) y seminarios. Respecto al impacto en el ámbito privado, se espera que los resultados parciales puedan ser adoptados y potenciados para resolver una problemática particular de alguna empresa del medio. Finalmente, el impacto en la comunidad científica se lograría mediante la publicación de los resultados obtenidos tanto en congresos nacionales como internacionales de primer nivel, así como en revistas científicas especializadas de alto impacto.

#### **EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE**

La FIO y el departamento cuentan con los principales recursos de software y hardware para el desarrollo del plan de investigación propuesto. Principalmente, se requieren equipos de computación potentes y licencias de simuladores de eventos discretos. Respecto a este último punto, cabe aclarar que el Departamento de Ingeniería Industrial ha logrado conseguir licencias completas del simulador *Flexsim*. También en el ámbito de la FIO, se cuenta con el simulador de procesos de manufactura, *Tecnomatix plant simulation* de SIEMENS y se encuentra a

disposición en el laboratorio de informática. También se cuenta con espacio físico para el desarrollo de las tareas diarias y los accesos a bibliotecas electrónicas a través del MINCYT.

#### **FINANCIAMIENTO**

#### **SALVAGUARDIA ÉTICA Y AMBIENTAL<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> En concordancia con las políticas establecidas por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y "Atendiendo a la responsabilidad ética y social que compete a la actividad científica y tecnológica, toda vez que un proyecto de investigación -ya sea durante su ejecución o por la aplicación de los resultados obtenidos- pudiera afectar los derechos humanos, o ser causa de un eventual daño al medio ambiente, a los animales y/o a las generaciones futuras, los investigadores responsables deberán informar las previsiones tomadas para evitar riesgos emergentes y garantizar el buen uso y manejo de la información, en la sección del formulario electrónico diseñado para tal fin."