

# Análisis del proceso de reinscripción de los estudiantes del TecNM campus Tierra Blanca: modelación y simulación en SIMIO

F. Ríos Martínez<sup>1</sup>, L. Fuentes Rosas<sup>1</sup>, M. S. Flores Serrano<sup>1</sup>, V. Sánchez Vázquez<sup>1</sup>.

**Resumen**— Este artículo presenta un estudio de simulación del proceso de reinscripción de los estudiantes de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca, con el objetivo de obtener un modelo de simulación representativo del sistema actual que sirva de base para evaluar escenarios que propicien la mejora continua en el proceso antes mencionado. Se aplicó la metodología de modelado y simulación propuesta por Law y Kelton, valorando las características del sistema, tomando datos de las variables de entrada tales como tiempos de atención y tiempos de arribos. Para la obtención de las bases de datos de cada una de las variables de entrada se diseñaron instrumentos de recolección mismos que fueron piloteados y validados. Las bases de datos fueron tratadas estadísticamente mediante la prueba de bondad de ajuste (Anderson Darling y Kolmogorov Smirnov) encontrando que todas las variables se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas. Para la construcción del modelo de simulación se utilizó el software SIMIO, desarrollado por el equipo de Arena, permitiendo aplicar tecnología orientada a objetos y potencias de los procedimientos en animación 3D. Los resultados avalan, con un 95% de confianza, un modelo representativo del sistema de reinscripción.

**Palabras claves**— *m*studiantes, *modelado*, *proceso*, *simulación*, *SIMIO*, *tecnológico*

**Abstract**— This article presents a simulation study of the re-enrollment process of Industrial Engineering students of the National Technological Institute of Mexico campus Tierra Blanca, with the aim of obtaining a simulation model (MS) representative of the current system that serves as a basis for evaluating scenarios that promote continuous improvement in the aforementioned process. The modeling and simulation methodology proposed by Law and Kelton was applied, assessing the characteristics of the system, taking data from the input variables such as attention times and arrival times. To obtain the databases of each of the input variables, collection instruments were designed and piloted and validated. The databases were statistically treated using the goodness of fit test (Anderson Darling and Kolmogorov Smirnov) finding that all variables were adjusted to known theoretical distributions. For the construction of the MS, the SIMIO software developed by the Arena team was used, allowing the application of object-oriented technology and powers of the procedures in 3D

animation. The results guarantee, with 95% confidence, an MS representative of the re-registration system.

**Keywords**— *students*, *modeling*, *process*, *simulation*, *SIMIO*, *technological*

## I. INTRODUCCIÓN

Las instituciones educativas públicas o privadas necesitan contar con recursos materiales y humanos para gestionarse; la administración de dichos recursos debe ser inteligente de tal manera que ofrezca servicios que satisfagan las exigencias de sus clientes. Actualmente, las organizaciones educativas enfrentan el reto de brindar una enseñanza de calidad, la cual se ocupa de la formación profesional de una persona con las exigencias laborales [1], para ello despliegan una serie de procesos internos que las ayuden a tal fin.

De acuerdo a Mallar [2], un proceso es un “conjunto de actividades de trabajo interrelacionadas, que se caracterizan por requerir ciertos insumos (inputs: productos o servicios obtenidos de otros proveedores) y actividades específicas que implican agregar valor, para obtener ciertos resultados (outputs)”. Por otra parte, Pepper [3], indica que los procesos “son aquello que constituye el núcleo de una organización, son las actividades y tareas que realiza a través de las cuales produce o genera un servicio o producto para sus usuarios”. El punto central implícito en la gestión de la calidad de un proceso es “agregar valor” a este resultado o salida.

La gestión de procesos de negocio combina la aplicación de metodologías y herramientas para una adecuada gestión de los mismos [4], “es una disciplina que se convierte en un medio para el logro de los objetivos” [5].

En general, en un ambiente universitario, la estructura organizacional se caracteriza porque cada departamento se enfoca en resolver las tareas asignadas, en este contexto, la necesidad de una mejor gestión de los procesos en las Instituciones de Educación Superior (IES), es un tema importante y desafiante que las IES deben abordar.

El departamento de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Tierra Blanca, posee

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca, División de Estudios de Ingeniería Industrial. Av. Veracruz s/n esq. Héroes de Puebla,

Colonia Pemex, C.P. 95180, Tierra Blanca, Veracruz, México.  
\*fernando.rios@itstb.edu.mx

procesos con acciones repetitivas durante un periodo escolar, entre ellos al inicio de cada semestre los estudiantes requieren un servicio para su reinscripción, realizando varias acciones en donde esperan un turno para ser atendidos, provocando tener largas filas de espera y con tiempos prolongados, las colas (líneas de espera) son parte de la vida diaria: todos esperan en colas para comprar en un supermercado, hacer un depósito en el banco, enviar un paquete por correo, obtener comida en la cafetería, comprar billetes para el teatro, etc. [6]. Se ha generado una costumbre a una considerable cantidad de esperas, lo cual es molesto y aún más si estas son demasiado largas.

La simulación ayuda a las organizaciones a predecir, comparar y mejorar el resultado operativo sin los costos y riesgos involucrados. Su importancia radica en su utilidad para sugerir la estrategia de la empresa desde un punto de vista empírico, para generar observaciones sobre variables clave y para el análisis estadístico de los datos resultantes. [7]. La simulación de eventos discretos opera bajo la generación y gestión el tiempo de eventos, los eventos se van ordenando en una cola para su ocurrencia, de esta forma que el simulador lee la cola y empieza a desencadenar los eventos [8]. La simulación de eventos discretos en comparación con la de eventos continuos es relativamente más fácil de simular permite modelar situaciones con un alto grado de complejidad con funciones relativamente simples, y de esta forma se pueden construir modelos representativos, con la realidad y con el nivel de detalle requerido.

Simio, es un software de simulación inteligente basado en objetos que permite construir los modelos usando la biblioteca estándar predeterminada (para simular eventos discretos) o crear nuevos objetos con gráficos, permitiendo resaltar áreas de riesgos o cuellos de botella presentados por las operaciones actuales para así simular los mejores escenarios y lograr mejores resultados de servicio al cliente [9] está equipado con una animación 3D que permite crear modelos con una realidad sumamente atractiva.

El objetivo de la presente investigación es proporcionar un modelo de simulación (MS) representativo del sistema actual del proceso de inscripción de estudiantes de la carrera de ingeniería industrial del campus Tierra Blanca que permita conocer su comportamiento y servir de base para probar escenarios de mejora.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La metodología seguida para la realización del MS fue la propuesta por Law y Kelton [10], integrada por 10 pasos.

### A. Formulación del modelo

El proceso de reinscripción, objeto de estudio, presenta el inconveniente de largas filas de espera con tiempos prolongados, situación que genera inconformidades entre el

alumnado principalmente.

El proceso de reinscripción se presenta dos veces por año y convoca a una cantidad de alumnos de poco menos de 630 alumnos (matrícula correspondiente a la carrera de Ingeniería Industrial en sistema escolarizado), el horario de atención es de 9:00 a 14:00 horas durante tres días, involucrando a tres áreas del campus: subdirección de finanzas con departamento de ingresos propios, dirección académica con el departamento de ingeniería industrial y dirección de planeación y vinculación con servicios escolares. En el área académica la participación de la división de ingeniería industrial está representada por docentes que apoyan a la labor de asesoría reticular, proceso mediante el cual se verifica que la carga propuesta por el alumno sea válida en cuanto a número de créditos, no violación de retícula, etc., y el jefe de división a quien se le remiten los casos especiales (alumnos con problemas generalmente ocasionados por la reprobación de materias). El proceso inicia con la obtención de línea de captura (orden de pago para la reinscripción), pago correspondiente en institución bancaria, asesoría reticular (administración efectiva de la retícula), y obtención de horario de clases al nuevo semestre por parte del departamento de servicios escolares.

### B. Recolección de datos y definición del modelo

El enfoque sistemático de reunir información en un estudio de simulación es de gran importancia, de ella depende la alimentación correcta del modelo en perfeccionamiento. Para efectos de este trabajo se realizaron las mediciones correspondientes en el sistema real durante el primer periodo de reinscripción del año 2022, que comprendió del 17 al 28 de enero.

Las actividades que se realizaron para la recolección de datos fueron: identificación de variables de entrada y salida del sistema; diseño del instrumento de recolección de datos; recolección de datos del sistema real y análisis estadístico de los datos.

Se identificaron 10 variables en el proceso de reinscripción (Tabla 1).

Para la toma de datos de cada una de las variables se diseñaron instrumentos de recolección que además de coleccionar los tiempos correspondientes tuvieran la sensibilidad de identificar situaciones no contempladas tales como porcentaje de alumnos que llenan incorrectamente los formatos, porcentaje de alumnos que requieren pasar con el jefe de carrera y número de hombres y mujeres.

TABLA I. VARIABLES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Número de Variable	Descripción (tiempo)
1	Llegada a la caja
2	Obtención de línea de captura
3	Traslado al banco
4	Pago de línea de captura
5	Validación del pago (sello)
6	Llenado de formatos de asesoría
7	Asesoría reticular
8	Alta en grupo
9	Impresión de horario
10	Atención del jefe de carrera

Una vez terminado el tiempo de colección de datos se procedió al tratamiento estadístico de cada una de las bases de datos generadas por las variables. Para tal actividad se utilizó el paquete estadístico Stat::fit versión 3, se realizaron las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov y Anderson Darling.

C. Verificación del modelo

En el diagrama de flujo del proceso de reinscripción que se muestra en la figura 1.

El estudiante realiza la asesoría reticular en departamento de ingeniería industrial con la ayuda de un asesor (docente) para analizar su situación académica, en el caso del que estudiante tenga una situación de asesoría no autorizada, acude con el jefe de carrera para un análisis más complejo de la trayectoria académica. Una vez autorizado la asesoría reticular, el estudiante procede a realizar su reinscripción en el departamento de control escolar, donde el estudiante obtiene su carga académica (horario de materias del próximo semestre a cursar).

El diagrama de flujo fue presentado al jefe de carrera (criterio de comparación) quien avaló la veracidad del modelo conceptual proporcionando la continuidad del proceso de simulación.

D. Construcción del modelo

Para construir el modelo de simulación, el modelo conceptual se tradujo al lenguaje de programación SIMIO. Donde se finieron objetos tales como: *Server*, *ModelEntity*, *Source*, *TransferNode*, *Sink* y *Path*.

E. Pruebas piloto

Realizar experimentos pilotos (simulaciones cortas), brindan orientación sobre cómo abordar el estudio y calcular el número de repeticiones necesarias [11]. En este se realizaron 10 corridas piloto que sirvieron para verificar que la animación no tuviera deficiencias y para tener información para el soporte de la validación del modelo.

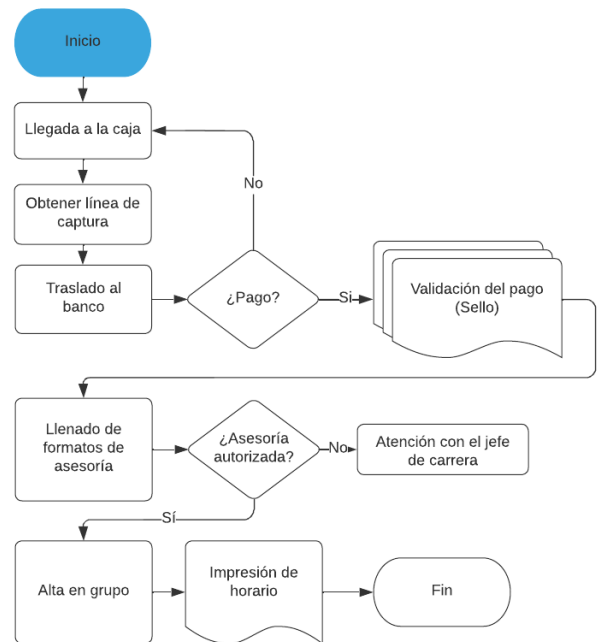


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso

F. Validación del modelo

La mayoría de los modelos corresponden a una sola representación matemática, cuyos parámetros primero deben determinarse a partir del proceso de validación del modelo, utilizando datos experimentales [12]. EL método de validación se realiza mediante la prueba de t-pareada, que es una prueba de hipótesis que compara una muestra aleatoria de un sistema real con una muestra aleatoria de un modelo simulado [13]. Cada una de las variables fue validada mediante la prueba correspondiente.

G. Diseño de experimentos y corridas del modelo

Uno de los peligros al realizar un estudio de simulación es pretender que una sola corrida (réplica) del modelo es suficiente para la toma de decisiones [13], [14], [15] para evitar incurrir en tal peligro se debe realizar el diseño de experimentos que consiste en determinar matemáticamente el número óptimo de corridas utilizando dado valor a un error absoluto  $\beta$ .

Una vez determinado el número de corridas se procedió a realizarlas en el modelo.

III. RESULTADOS

Del tratamiento estadístico de datos se obtuvo que todas las variables se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas, la figura 2 ilustra el resultado de una de ellas.

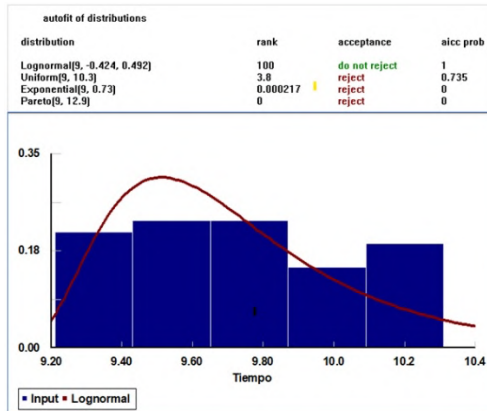


Figura 2. Resultados del tratamiento estadístico a variable tiempo de atención

Las figuras 3 y 4 muestran vistas de la construcción del modelo de simulación (MS).

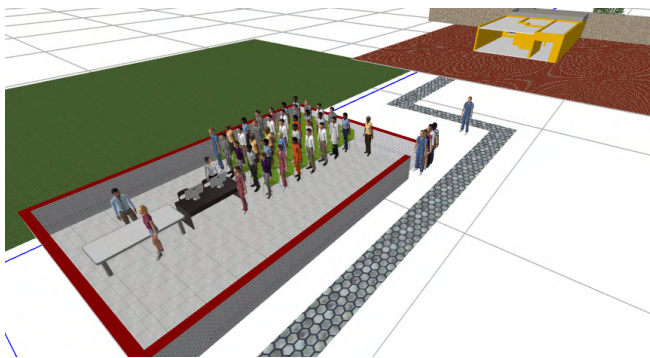


Figura 3. Vista en 3D de una parte del proceso de reinscripción (llenado de formatos y asesoría reticular)



Figura 4. Vista en 3D de una parte del proceso de reinscripción (arribo del alumnado)

Del procedimiento de validación, cada una de las variables estudiadas fueron sometidas a dicho procedimiento, en la tabla 2 se muestra la validación de una de ellas; aparecen muestras de datos tanto datos reales como simulados de la variable de tiempo de atención del jefe de carrera:

$X_i$  = tiempo promedio de atención (minutos) con el jefe de carrera del sistema real

$Y_j$  = tiempo promedio de atención (minutos) con el jefe de carrera del modelo de simulación

Las hipótesis involucradas son:

$$H_0: X_i = Y_j$$

$$H_1: X_i \neq Y_j$$

TABLA II. MUESTRAS APAREADAS DE LA VARIABLE TIEMPO DE ATENCIÓN DEL JEFE DE CARRERA

Corridas	Reales $X_i$	Simulados $Y_{ji}$	Diferencias observadas $Z_j = X_i + Y_j$	Desviaciones al cuadrado $(Z_j - Z_{10})^2$
1	2.31	2.01	0.3	13.37
2	8.96	9.92	-0.96	24.17
3	6.66	8.46	-1.8	33.14
4	41.51	20.86	20.65	278.65
5	17.85	16.94	0.91	9.28
6	16.35	16.94	-0.59	20.67
7	34.33	26.44	7.89	15.46
8	11.70	11.29	0.41	12.58
9	25.08	12.32	12.76	77.49
10	10.86	10.86	0	15.65
Suma			39.57	
Promedio			3.957	

Se utilizó un nivel de confianza del 95% con un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ) y se determinó el intervalo de confianza de acuerdo con (1)

$$Z_{10} \pm t_{n-1,1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{Var(Z_n)} = (-1.377, +9.291) \quad (1)$$

El intervalo de confianza obtenido incluyó al cero por lo cual no se puede rechazar la  $H_0$ , concluyendo, con un 95% de confianza, la validez del modelo y que cualquier diferencia observada entre los datos del sistema real y el MS no es estadísticamente significativamente y esto se deben a fluctuaciones aleatorias.

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos de la media, varianza y  $\beta$ , información necesaria para determinar el diseño de experimentos (número de corridas). El procedimiento fue realizado con un 95% de confianza y un error absoluto de 5%.

TABLA III. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PILOTO

Corridas	Tiempo promedio simulado
1	2.01
2	9.92
3	8.46
4	20.86
5	16.94
6	16.94
7	26.44
8	11.29
9	12.32
10	10.86
Varianza muestral	42.32
$\beta$	0.50

Una expresión aproximada para el número total de replicaciones  $n^*(\beta)$  requerido para obtener un error absoluto  $\beta$  es dado por:

$$n * (\beta) = \min \left\{ i \geq n: t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2(n)}{i}} \leq \beta \right\} \quad (2)$$

Es posible determinar  $n^*(\beta)$  incrementando  $i$  en uno hasta que un valor de  $i$  cumpla la condición. Realizando el procedimiento resultó que el número de replicaciones óptimas es 652.

$$i=652 \quad 1.96 \sqrt{\frac{42.32}{652}} \leq 0.50 \quad (3)$$

El modelo se corrió 652 veces. Algunas de las medidas de desempeño más representativas se reportan en la tabla 4.

TABLA IV. RESULTADOS DE LAS 652 CORRIDAS

Medida de desempeño	Valor
Alumnado atendido por día	95
Tiempo promedio que un alumno pasó en el proceso (minutos)	173
Alumnado que llenan incorrectamente sus formatos	25
Cuello de botella más crítico	Caja
Tiempo máximo que un alumno pasa en la cola más crítica (minutos)	75
Alumnado que pasan con jefe de carrera	17
Utilización del servidor caja (%)	99

De la tabla puede observarse que del 100% de alumnado atendido por día el 26% se regresa a la actividad de llenado de formatos por haber hecho incorrecta la actividad lo que significa un reproceso para los asesores reticulares. Los alumnos que requieren intervención del jefe de carrera representan el 18%. El cuello de botella más significativo lo representa el área de ingresos propios con un solo servidor y

un factor de ocupación del 99%, es importante hacer hincapié en que el servidor en esta área no solo atiende a alumnos de ingeniería industrial sino también al alumnado de otras carreras.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Con un 95% de confianza se tiene un MS representativo del proceso de reinscripción de los alumnos de ingeniería industrial del campus Tierra Blanca abonando a la causa de otras investigaciones que demuestran la versatilidad de la técnica de simulación que no solo se aplica a sistemas de transformación y servicios, también puede modelar problemas sociales y climáticos.

Con este modelo se analizó un proceso dentro de una institución educativa que fue útil para observar los cuellos de botella, colas prolongadas durante el proceso de la atención a estudiantes en su proceso de reinscripción; con los resultados se tiene la visión del comportamiento del sistema y se perfilan alternativas de mejora mismas que, a partir del presente trabajo, abren posibilidades a investigaciones futuras cuyo propósito sea la generación y comprobación de alternativas en el MS para constatar la mejora.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Chisaguano Garcia, E.A (2018) "Optimización de procesos administrativos y contables en una institución educativa privada en la ciudad de Quito", Facultad de Ciencias Administrativas y Contables, Pontificia Universidad Católica de Ecuador.
- [2] Mallar, M. A. (2010.). La gestion por procesos: Un enfoque de gestión eficiente. *Revista Científica Visión de Futuro*. [en línea]. 13(1), Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357935475004>
- [3] Papper, S. (2011). Definition of process management. *Medwave* [en línea]. 11(05). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5867/medwave.2011.05.5032>
- [4] Barrera R. A.; Barrientos V. V.; Santiago P. J. y Canepa S. A (2018). Gestión de procesos de negocio. *Inventio* [en línea] 14(1), pp. 43-48. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.30973/inventio/2018.14.32/8>
- [5] Congacha A. E. y Garcia, V. J. (2017, Jun.). Modelación, Simulación y automatización de procesos en la gestión de servicios académicos universitarios. *3C Tecnología* [en línea] 22(6), pp 32-51. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno.2017.v6n2e22.32-51>
- [6] Velazquez G. E (2018, Feb) "Modelo de Teoría de colas", Facultad de Matemáticas, Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Sevilla.
- [7] Belda. F. C. y Grande E. (2015) Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación. *Encuentros multidisciplinares*, 11, 37-48.
- [8] Pérez J. E (2018) Simulación de un modelo de atención al usuario en confiterías, Universidad de la Sabana, Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas, Chía Colombia.

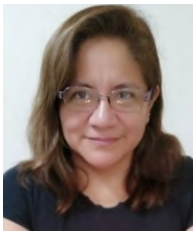
- [9] Kelton D. S (2013). *Simio and Simulation: Modeling, Analysis, Application*, 3rd ed., Ed. Createspace Independent Pub.
- [10] Law, A.M. y Kelton, W.D. (2000). *Simulation Modeling & Analysis*. Ed. USA: McGraw-Hill.
- [11] Rodríguez J., Serrano D., Manleón T. y Caro, J. (2008). Los modelos de simulación de eventos discretos en la evaluación económica de tecnologías y productos sanitarios. *Gaceta Sanitaria*, 22(2), 151-161.
- [12] Cepeda, J., Verdugo, P. (2018). Automatic Voltage Regulator Model Validation Based on Mean-Variance Mapping Optimization and Field Tests. *Revista Técnica Energía*, 14, 165-173
- [13] Fuentes, L., Rojas, M. y López, A. (2021). Determinación del número óptimo de unidades en un sitio de taxis, usando simulación en simio. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo*, 1(7), 76-80.
- [14] Serrano, B. y Garzón, V. (2019). Estudio de la caída de las ventas de la farmacia Farmicentro MM a través de la simulación de eventos discretos. *Revista Conrado*, 15(67), 38-44.
- [15] Robinson, S. (2014). *Simulation: The practice of model development and use*. Basingstoke: Red Globe Press.

## VI. BIOGRAFÍA



**Ríos Martínez Fernando.** El maestro es originario de Tierra Blanca, Veracruz. Maestro en Ingeniería Electrónica por la Universidad del Centro de Veracruz, Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca. El actualmente labora en Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca en la división de Ingeniería Industrial. Las líneas en la que trabaja son: diseño y optimización de productos y procesos, tecnologías de la información en la

administración y control de procesos, tecnologías emergentes de la información y comunicación. EL maestro Ríos cuenta con certificados de competencia laboral, es miembro activo de la Sociedad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología (SOLACYT), de la Red Iberoamericana de Academias de Investigación. Es perfil deseable por PRODEP y es responsable técnico de proyectos de desarrollo e innovación tecnológica por parte del Tecnológico Nacional de México.

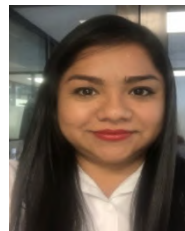


**Fuentes Rosas Liliana.** Es doctoranda en Ciencias de la Administración en la Universidad Cristóbal Colón, Veracruz, México. Maestra en Ciencias en Ingeniería Administrativa y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México, en la División de Posgrado e Investigación en la Maestría de Ingeniería Industrial y en la División de Ingeniería

Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación y redes logísticas, estadística aplicada y productividad humana. La Maestra Fuentes pertenece al Colegio Nacional de Ingenieros Industriales (CONAI), a la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones (SMIO) y a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI). Es Perfil Deseable por PRODEP y líder del Cuerpo Académico Productividad y Mejora continua.



**Flores Serrano María del Socorro.** Maestra en Ingeniería Industrial por la Universidad Cristóbal Colón de Veracruz, Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla. Docente de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, reconocimiento al perfil deseable otorgado por el Prodep, colaboradora en el cuerpo académico "Productividad y Mejora Continua", Certificada en Lean Manufacturing, ponente en Congresos Nacionales e Internacionales, publicaciones en revistas con arbitraje e indizadas, directora de tesis de maestría y licenciatura.



**Sánchez Vázquez Viridiana.** Doctora en Administración y Desarrollo empresarial, egresada del Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica, Xalapa, Veracruz, México. Maestra en Ingeniería con especialidad en Calidad y Productividad, egresada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México. Actualmente la Doctora labora en el Instituto

Tecnológico Superior de Tierra Blanca es docente de tiempo completo en la carrera de Ingeniería Industrial, forma parte del cuerpo Académico de Energías Renovables, ha participado como Instructora del Diplomado en Formación y Desarrollo de Competencias Docentes y en proyectos con financiamiento en el área de sustentabilidad y energías renovables. Además de contar con Perfil Deseable PRODEP.