

Modelo de simulación en SIMIO del proceso de arribo de vuelos internacionales de un aeropuerto en el estado de Puebla

L. M. González Cos-Alcocer¹, L. Fuentes-Rosas², L.G. Tobón-Galicia², M. Hernández-Cortez²

Resumen— Se realizó un estudio de simulación en SIMIO para la optimización del proceso de arribo (registro) de pasajeros de vuelos internacionales de un aeropuerto de la ciudad de Puebla México. El proceso de arribo presenta congestión de pasajeros debido a las medidas de contingencia sanitaria por el COVID-19 provocando que un pasajero espere más de 20 minutos para salir del sistema. El objetivo del estudio es evaluar la viabilidad de obtener una redistribución del área en cuestión, a través de un modelo de simulación (MS) representativo del sistema actual. Se aplicó la metodología de Law & Kelton (2014) para la obtención de dicho modelo. Se identificaron seis variables de entrada de las cuales se recabó información y se construyeron bases de datos. Las bases de datos fueron tratadas estadísticamente mediante pruebas de bondad de ajuste ajustándose a distribuciones de probabilidad uniforme y lognormal. Como resultado se obtuvo, con un 95% de confianza, un gemelo digital del sistema de arribos de pasajeros al área internacional de dicho aeropuerto en el cual se probará la redistribución de planta.

Palabras claves—aeropuerto, distribución de planta, logística, SIMIO, simulación

Abstract— A simulation study was carried out in SIMIO for the optimization of the process of arrival (registration) of passengers of international flights from an airport in the city of Puebla Mexico. The arrival process presents congestion of passengers due to the sanitary contingency measures due to COVID-19 causing a passenger to wait more than 20 minutes to leave the system. The objective of the study is to evaluate the feasibility of obtaining a redistribution of the area in question, through a simulation model (MS) representative of the current system. The methodology of Law & Kelton (2014) was applied to obtain this model. Six input variables were identified from which information was collected and databases were constructed. The databases were statistically treated by goodness of fit tests adjusting to uniform and lognormal probability distributions. As a result, a digital twin of the passenger arrivals system to the international area of said airport was obtained with 95% confidence, in which the redistribution of the plant will be tested.

Keywords—airport, layout planning, logistics, SIMIO, simulation

I. INTRODUCCIÓN

En el invierno de 2019 – 2020 se desató un virus a nivel internacional (Covid-19) que paralizó a la mayoría de las actividades mientras se adoptaban las medidas y controles de esta nueva enfermedad [1], así como se estudiaba su desarrollo en las personas infectadas y como se podía controlar.

La reactivación de las actividades económicas en la época COVID presenta un nuevo reto ya que el virus y sus consecuencias en la salud de las personas generan una situación de control rígido en cuanto a higiene personal, aislamiento social y sana distancia entre las individuos [2], se generaliza el uso de cubrebocas, la toma de temperatura, lavado de manos a profundidad, desinfección con gel antibacterial u otro desinfectante, lo cual ha generado un proceso riguroso en todos los hogares, oficinas y comercios, así como cuestionario médico y revisión en caso de ameritarlo [3]. Sólo actividades realmente esenciales no se detuvieron en los primeros meses de esta contingencia [4], situación que ha generado en todos los sectores económicos, de producción de bienes como servicios, requieran de cambios y ajustes en todos los procesos a los que se llamarán protocolos, las organizaciones que deseen permanecer en estos tiempos deben adoptar una variada serie de protocolos de bioseguridad [5] para garantizar a los clientes o usuarios seguridad al realizar trámites, compras o consultas dentro de ellas [6]. La industria de servicios que gira alrededor de la aeronáutica no se ha quedado atrás debe innovarse constantemente, dentro de estas empresas se tienen las que dan servicio a las líneas aéreas y a los clientes finales que son los pasajeros.

De acuerdo con las nuevas disposiciones en materia de espacios para evitar contagios, los aforos antiguos han disminuido [7], optimizando el espacio y brindando la atención adecuada al pasajero sin aglomeraciones. “Esto [la arquitectura] se proyecta con dispositivos detectores de Covid-19 incorporados a las entradas de las estructuras o espacios, se plantea el diseño con materiales antibacteriano y

Héroes de Puebla, Col PEMEX, C.P. 95180., Tierra Blanca, Veracruz, México.

*luis.gca@alvarado.tecnm.mx

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, División de Estudios de Ingeniería Industrial, Escolleras Norte S/N, Col La Trocha, C.P. 95250, Alvarado, Ver.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, División de Estudios de Ingeniería Industrial, Av. Veracruz s/n, Esq.

de sencilla desinfección como el cobre y el bronce, debe ser un planeamiento que facilite el cumplimiento de las medidas de bioseguridad y la distancia de 1,5m a 2m entre cada individuo” [8]. Para Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) estas medidas representan un reto debido a que en cada uno de sus unidades de negocio deben de establecerse controles y medidas para salvaguardar la seguridad de los pasajeros y el personal que labora en cada área de trabajo, una de las más crítica es el área de inmigración, ya que por los controles es más lenta que el resto generando cuellos de botellas y aglomeraciones.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Metodología

Para la realización del presente trabajo se siguió la metodología propuesta por Law y Kelton [9] que consta de 10 pasos, mismos que se ilustran en la figura 1.

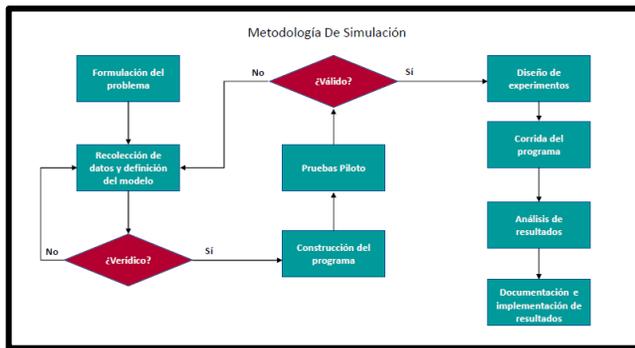


Figura 1. Metodología de simulación (Fuente [9])

A. Formulación del problema.

La parte del sistema a modelar se encuentra dentro del Aeropuerto Hermanos Serdán (AHS) de la ciudad de Puebla, México. La sala de arribo de pasajeros internacionales es un vestíbulo de 167.44 m² el cual conecta con el vestíbulo de migración y el de sanidad en donde se cuenta con 72 m² de espacio, más un par de oficinas donde se llevan a cabo revisiones más exhaustivas de tanto de condiciones migratorias como de salud, de ser así necesarias.

B. Recolección de datos y formulación del modelo.

El proceso del sistema que se simuló, queda definido con las actividades siguientes:

- Banda transportadora.
- Migración.
- Control sanitario.
- Aduana y Semáforo Fiscal.
- Revisión.
- Pago de derechos.

El proceso que siguen los pasajeros se aprecia en la figura 2. Como puede observarse el proceso inicia con el desembarque de la nave e ingreso a la sala de llegadas internacionales se encuentran dos variantes, que el equipaje

vaya documentado en la sección de carga o que lo lleven como equipaje ligero de mano. Estos últimos serán los primeros en ingresar al sistema haciendo una fila de espera en el proceso de migración, posteriormente pasarán a control sanitario, declaración de aduanas y semáforo fiscal. Los seleccionados pasan a revisión de equipaje, si exceden la franquicia de importación son remitidos a pagar los derechos correspondientes para después salir del sistema.

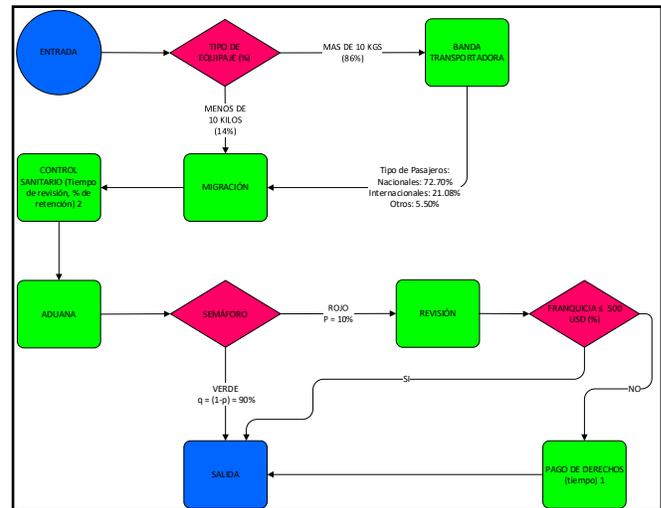


Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de arribo

La toma de datos significó la identificación de las variables de entrada al sistema, y posteriormente se realizó la toma de datos durante el período comprendido del julio a octubre de 2021. Se identificaron ocho variables, se muestran en la tabla 1.

TABLA I. VARIABLES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Número de Variable	Descripción (tiempo)
1	Tiempo de arribo de pasajeros
2	Número de pasajeros por viaje
3	Tiempo de espera por equipaje en banda transportadora
4	Tiempo de atención en área de migración
5	Tiempo de atención en control sanitario
6	Tiempo de atención en aduana-semáforo
7	Tiempo de atención de área de revisión
8	Tiempo de atención en área de pago de servicios

El análisis estadístico de las variables implicó la realización de pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling, para ello se utilizó el software Stat::Fit versión 3. Los resultados de las pruebas arrojaron que todas las variables se ajustaron a distribuciones teóricas

conocidas. La figura 3 muestra el tratamiento estadístico de una de ellas.

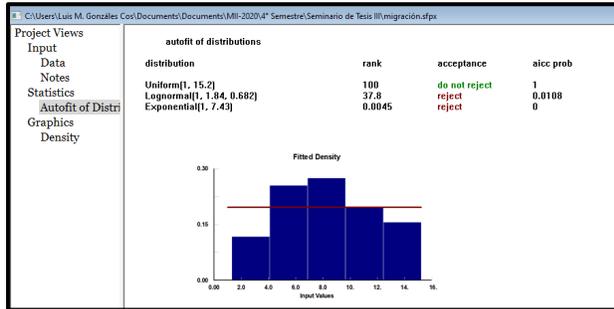


Figura 3. Tratamiento estadístico variable tiempo de atención en área de migración

C. Verificación del modelo

El diagrama de flujo mostrado en la figura 2 se mostró al director de proyectos de ASA para constatar que el modelo conceptual corresponde al proceso bajo estudio; se obtuvo el aval del director.

D. Construcción del modelo de simulación

Una vez verificado el modelo conceptual se procedió a la traducción de éste a lenguaje del simulador SIMIO se incluyeron elementos tales como: Source, ModelEntities, Servers, TimePaths, BasicNodes y Sink, el diseño rústico se muestra en la figura 4.

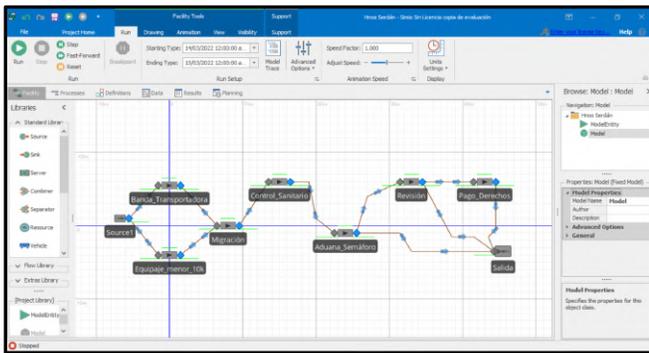


Figura 4. Vista del MS en su versión rústica

La figura 5 muestra una vista en 3D de la versión animada del MS.

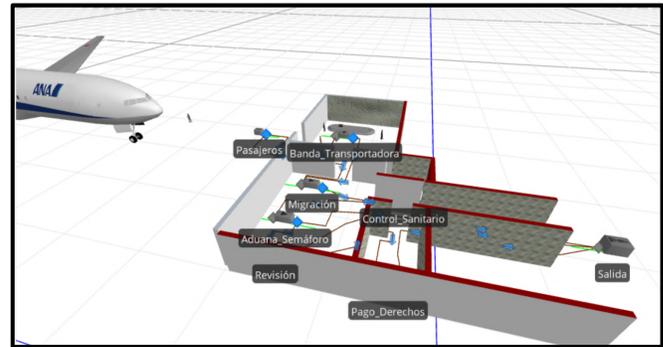


Figura 5. Vista 3D del MS

E. Pruebas piloto

El MS fue corrido 10 veces para constatar que la animación y programación no tuvieran deficiencias y además para tener información para la validación del mismo.

F. Validación del modelo

La validación de un MS es el procedimiento matemático por medio del cual se demuestra que los datos que arroja el son estadísticamente iguales a los del sistema real [10]. El procedimiento se realiza utilizando la prueba t-pareada, ya que como prueba de hipótesis se desarrolla comparando una muestra aleatoria del sistema real contra una muestra aleatoria del MS. En la Tabla 2 se aprecian dos muestras de datos, reales y simulados de la variable tiempo de atención en área de migración

X_i = tiempo promedio de atención en el área de migración del sistema real

Y_i = tiempo promedio de atención en el área de migración del modelo de simulación

TABLA II. MUESTRA DE DATOS REAL Y SIMULADOS

Corridas	Datos		$Z_j = X_i - Y_i$	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
	Reales	Simulados		
1	X_i	Y_i		
1	5.03	2.36	2.67	6.145
2	2.14	1.21	0.93	0.546
3	1.75	6.31	-4.56	22.572
4	3.61	4.65	-1.04	1.515
5	4.90	3.68	1.22	1.058
6	6.11	5.45	0.66	0.219
7	4.26	2.15	2.11	3.682
8	1.57	3.27	-1.70	3.575
9	7.42	7.76	-0.34	0.281
10	4.42	2.46	1.96	3.129
	Promedio		0.191	

Se definieron las siguientes hipótesis:

- H_0 : No existe diferencia significativa entre la media del conjunto de datos del sistema real y la media del conjunto de datos del MS.

- H_1 : Existe una diferencia significativa entre la media del conjunto de datos del sistema real y la media del conjunto de datos del MS.

Utilizando un nivel de confianza del 95% se determinó el intervalo de confianza de acuerdo con (1)

$$Z_{10} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{Var(Z_n)} = (-1.367, +1.749) \quad (1)$$

Dado que el intervalo obtenido incluye al cero se concluye, con un 95% de confianza, que el MS es representativo del sistema real y que las diferencias presentadas no son estadísticamente significativas. Cada una de las variables fue sometida a validación encontrando en todos los procesos intervalos que incluyen al cero por lo que se acepta la validez del MS.

G. Diseño de experimentos y corrida del modelo

Se obtuvo el número de corridas óptimas, para ello se tomaron 10 corridas piloto usando un nivel de confianza (1- α) del 95% [12], La tabla 3 muestra los resultados de los cálculos de la varianza y β , datos que son necesarios para determinar el número de corridas (diseño de experimentos).

TABLA III. DATOS PARA EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Corridas	Tiempo promedio Simulado
1	2.36
2	1.21
3	6.31
4	4.65
5	3.68
6	5.45
7	2.15
8	3.27
9	7.76
10	2.46
Varianza muestral	4.316
β	0.2

El número total de replicaciones $n^*(\beta)$ requerido para obtener un error absoluto β es dado por:

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

Incrementando i en uno hasta que un valor de i cumpla la condición es posible determinar $n^*(\beta)$. Realizando el procedimiento resultó que el número de replicaciones óptimas es 418.

$$i=418 \quad 1.96 \sqrt{\frac{4.316}{418}} \leq 0.20 \quad (3)$$

El modelo se corrió 418 veces.

III. RESULTADOS

Una vez realizada la metodología paso a paso se procedió al análisis de las estadísticas que arroja el simulador, dentro de las medidas de desempeño más representativas se encuentran las referidas en la tabla 4.

TABLA IV. RESULTADOS DEL MS

Medida de desempeño por día	Valor
Número promedio de pasajeros que arriba al aeropuerto	140
Tiempo promedio que un pasajero pasó en el sistema (minutos)	86
Tiempo máximo que un pasajero pasó en el sistema (minutos)	198
Cuello de botella más crítico (CBC)	Migración
Tamaño máximo de cola en el CBC	65
Tiempo promedio que un pasajero pasa en la cola más crítica (minutos)	66
Tiempo máximo que un pasajero pasa en la cola más crítica (minutos)	172
Número promedio de pasajeros que lleva equipaje documentado	21
Número promedio de pasajeros que pasa a revisión	14
Número promedio de pasajeros que realiza pago de derechos	4

De la tabla puede observarse que del 100% de pasajeros que llegan por día el 15% lleva equipaje documentado, lo que significa como consecuencia lógica mayor tiempo en el sistema, se observa que el cuello de botella crítico es el área de migración.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo un Modelo representativo del sistema real (95% de confianza) resultado del seguimiento a la metodología con rigor científico por lo que los experimentos que se lleven a cabo tendrán la certeza de estarse refiriendo al sistema bajo estudio.

Con las estadísticas obtenidas se fortalece la visión para proponer escenarios de mejora, por lo que los trabajos a futuro serían justamente la generación, modelado y evaluación de dichos escenarios de tal manera que se pueda generar una propuesta factible y eficiente al Aeropuerto.

Se comprobó la flexibilidad de la técnica de simulación pudiendo modelar un sistema complejo y apoyándose en un simulador de última generación como Simio se obtuvo el gemelo digital con una animación muy atractiva en 3D, por lo que se recomienda ampliamente el uso de dicho simulador.

V. REFERENCIAS

- [1] Duan, H. W. (2020). Coronavirus: limit short-term economic damage. *Nature (Vol. 578, Issue 7796)*, 515.
- [2] Aguilar Gómez, N. E., Hernández Soto, A. A., & Ibanes Gutierrez, C. (2020). Características del SARS-CoV-2 y sus mecanismos de transmisión. *Infectología Pediátrica*, 143-148.
- [3] Gaviria-Núñez, A. M. (2020). Estrategias de bioseguridad en tiempos de COVID-19. *Biociencias*, 4(1), 1-5.
- [4] Dávila-Flores, A., & Valdés-Ibarra, M. (16 de Febero de 2021). México. Costos económicos del cierre de las actividades “no esenciales” por la pandemia Covid-19. Análisis multisectorial y regional con modelos sam. *Economía Teoría Y Práctica*, 15-44.
- [5] Barbosa, E. O. (2020). Adaptación Del Protocolo De Bioseguridad Para Mitigar El Impacto Del Covid-19 En El Área De Producción De La Empresa Global Textil Sas, Ubicada En Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad De Ciencias Empresariales. Bogotá, Colombia: Corporación Universitaria Minuto De Dios.
- [6] Tropiano, Y., & Noguera, A. (Mayo de 2020). El protocolo de bioseguridad, bajo el modelo de varios países de América Latina, y papel de los servicios y/o comité de seguridad y salud laboral ante el Covid-19. *Cielo laboral*(5), 9.
- [7] ACTIU Medidas Protección - Espacios de Trabajo. (Junio de 2020). *Actiu*. Recuperado el 13 de Enero de 2021, de <https://www.actiu.com/es/actualidad/noticias/guia-espacios-de-trabajo-post-covid19/>
- [8] Salvador-Rerrín, M. (2020). Transformación de la arquitectura desde el COVID-19. *FINIBUS*, 3(6), 26-45.
- [9] Law, A.M. y Kelton, W.D. (2000). *Simulation Modeling & Analysis*. Ed. USA: McGraw-Hill.
- [10] Fuentes, L; López, A.G.; Tobón, L.G. y Moras (2019). Análisis de la red logística de un crucero vial utilizando simulación en SIMIO para evaluar la alternativa de colocar un semáforo. *Revista Ciencia Ingeniería y Desarrollo*, 1(5), pp. 1-6. Disponible en: <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2019/CID016.pdf>.
- [11] Fuentes, L; López, A.G, Rojas, L (2021). Determinación del número óptimo de unidades en un sitio de taxi, usando simulación en SIMIO. *Revista Ciencia Ingeniería y Desarrollo*, 1(7), pp. 76-80. http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2021/2021_Ciencia_Ingenieria_Desarrollo_Tec_Lerdo.pdf
- [12] Chung, C.A. (2004). *Simulation Modeling Handbook a Practical Approach*. Ed. Washington D.C.: CRC PPRESS

VI. BIOGRAFÍA



González Cos Alcocer, Luis Manuel. Es maestrante de Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México. Licenciado en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México.

Él actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz, México, en la División de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación,

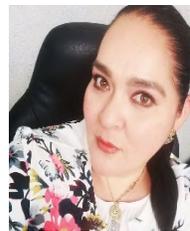
ergonomía, diseño de estaciones e instalaciones fabriles.

El maestro González pertenece a la Sociedad de Ergonomistas de México, A.C. (SEMAC).



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.



Tobón Galicia, Lucila Guadalupe. Doctora en Administración y Desarrollo empresarial, egresada del Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica, Xalapa, Veracruz, México. Maestra en Ingeniería Industrial y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca como docente de tiempo completo en la División de Ingeniería Industrial y en la División de Posgrado e Investigación en la Maestría en Ingeniería Industrial. La doctora Tobón pertenece a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI) y forma parte del cuerpo Académico Productividad y Mejora continua y cuenta con el reconocimiento de Perfil Deseable PRODEP.



Hernández Cortés, Magdalena. Doctora en Administración y Desarrollo empresarial, egresada del Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica, Xalapa, Veracruz, México. Maestra en Ingeniería Administrativa por el Instituto de Estudios Universitarios y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.

Ella labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca es docente de tiempo completo en la división de Ingeniería Industrial. La doctora Hernández pertenece a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI) y forma parte del cuerpo Académico Ingeniería aplicada a procesos productivos y cuenta con el reconocimiento de Perfil Deseable PRODEP.