

# Trabajo práctico Integrador AnyLogic

Corsetti, Ornella Milagros<sup>a</sup>, Goltzman, Gabriel<sup>a</sup>, Bengoechea, Guadalupe María<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Rosario

## Enunciado

En este trabajo práctico realizaremos la simulación de la entrada de fanáticos a un estadio de rock mediante la utilización de la herramienta *AnyLogic*. El objetivo del mismo es analizar dos configuraciones diferentes para poder observar cuál es preferible en lo que respecta al manejo del congestionamiento al momento del ingreso.

*Palabras Clave:*

AnyLogic, simulación, modelo, estadio, sensibilidad, escenarios

## Índice

<b>1. Marco Teórico</b>	<b>2</b>	<b>9. Determinación de los escenarios para el análisis</b>	<b>7</b>
1.1. Pasos para realizar un estudio de simulación . .	2	9.1. Número promedio de fanáticos, en cada cola . .	7
1.1.1. Definición del sistema bajo estudio . .	2	9.2. Utilización promedio de cada servidor . . . . .	8
1.1.2. Generación de modelo de simulación base	2	9.3. Tiempo promedio de servicio . . . . .	9
1.1.3. Recolección y análisis de datos . . . . .	2	9.4. Determinación de las corridas ideales . . . . .	9
1.1.4. Generación del modelo preliminar . . .	2	<b>10. Análisis de sensibilidad</b>	<b>10</b>
1.1.5. Verificación del modelo . . . . .	2	10.1. Marco teórico . . . . .	10
1.1.6. Validación del modelo . . . . .	2	10.2. Aplicación en nuestro modelo . . . . .	10
1.1.7. Generación del modelo final . . . . .	2	<b>11. Documentación del modelo, sugerencias y conclusiones</b>	<b>10</b>
1.1.8. Determinación de los escenarios para el análisis . . . . .	2	11.1. Conclusiones . . . . .	10
1.1.9. Análisis de sensibilidad . . . . .	3	11.2. Bibliografía . . . . .	11
1.1.10. Documentación del modelo, sugerencias y conclusiones . . . . .	3		
<b>2. Definición del sistema bajo estudio</b>	<b>3</b>		
<b>3. Generación de modelo de simulación base</b>	<b>3</b>		
<b>4. Recolección y análisis de datos</b>	<b>3</b>		
<b>5. Generación del modelo preliminar</b>	<b>3</b>		
<b>6. Verificación del modelo</b>	<b>4</b>		
<b>7. Validación del modelo</b>	<b>4</b>		
<b>8. Generación del modelo final</b>	<b>4</b>		
8.1. Número promedio de fanáticos, en cada cola . .	4		
8.2. Utilización promedio de cada servidor . . . . .	5		
8.3. Tiempo promedio de servicio . . . . .	6		
8.4. Determinación de corridas ideales . . . . .	6		

## 1. Marco Teórico

### 1.1. Pasos para realizar un estudio de simulación

Debemos considerar que - igual a como ocurre con otras herramientas de investigación - la realización de un estudio de simulación requiere la ejecución de una serie de actividades y análisis que permitan sacarle mejor provecho. A continuación mencionaremos los pasos básicos para realizar un estudio de simulación, aunque en muchas ocasiones será necesario agregar otros o suprimir algunos de los aquí enumerados, de acuerdo con la problemática a estudiar en cuestión.

#### 1.1.1. Definición del sistema bajo estudio

En esta etapa es necesario conocer el sistema a modelar. Para ello se requiere saber que origina el estudio de simulación y establecer los supuestos del modelo: es conveniente definir con claridad las variables de decisión del modelo, determinar las interacciones entre éstas y establecer con precisión los alcances y limitaciones que aquél podría llegar a tener.

#### 1.1.2. Generación de modelo de simulación base

Una vez que se ha definido el sistema en términos de un modelo conceptual, la siguiente etapa del estudio consiste en la generación de un modelo de simulación base. No es preciso que este modelo sea demasiado detallado, pues se requiere mucha más información estadística sobre el comportamiento de las variables de decisión del sistema. La generación de este modelo es el primer reto para el programador de la simulación, toda vez que debe traducir un lenguaje de simulación la información que se obtuvo en la etapa de definición del sistema, incluyendo las interrelaciones de todos los posibles subsistemas que existan en el problema a modelar. En caso de que se requiera una animación, este también es un buen momento para definir qué gráfico pueda representar mejor el sistema que se modela.

#### 1.1.3. Recolección y análisis de datos

De manera paralela a la generación del modelo base, es posible comenzar la recopilación de la información estadística de las variables aleatorias del modelo. En esta etapa se debe determinar que información es útil para la determinación de las distribuciones de probabilidad asociadas a cada una de las variables aleatorias innecesarias para la simulación. Aunque en algunos casos se logra contar con datos estadísticos, suele suceder que el formato de almacenamiento o de generación de reportes no es apropiado facilitar el estudio. Por ello es muy importante dedicar el tiempo suficiente a esta actividad. De no contar con la información necesaria o en caso de desconfiar de la que se tiene disponible, será necesario realizar un estudio estadístico del comportamiento de la variable que se desea identificar, para posteriormente incluirla en el modelo. El análisis de los datos, necesarios para asociar una distribución de probabilidad de una variable aleatoria, así como las pruebas que se debe aplicar a los mismos, se analizarán más adelante. Al finalizar la recolección y análisis de datos para todas las variables del modelo, se tendrán las condiciones necesarias para generar una versión preliminar del problema que se esta simulando.

#### 1.1.4. Generación del modelo preliminar

En esta etapa se integra la información obtenida a partir del análisis de los datos, los supuestos del modelo y todos los datos que se requieran para tener un modelo lo más cercano posible a la realidad del problema bajo estudio. En algunos casos no se cuenta con información estadística, por lo que debe estimarse un rango de variación a determinar (con ayuda del cliente) valores constantes que permitan realizar el modelado. Si éste es el caso, el encargado de la simulación puede, con base en su experiencia, realizar algunas sugerencias de distribuciones de probabilidad que comúnmente se asocian al tipo de proceso que se desea incluir en el modelo. Al finalizar esta etapa el modelo está listo para su primera prueba: su verificación o, en otras palabras, la comparación con la realidad.

#### 1.1.5. Verificación del modelo

Una vez que se han identificado las distribuciones de probabilidad de las variables del modelo y se han implantado los supuestos acordados, es necesario realizar un proceso de verificación de datos para comprobar la propiedad de la programación del modelo, y comprobar que todos los parámetros usados en la simulación funcionen correctamente. Una vez que se ha completado la verificación, el modelo está listo para su comparación con la realidad del problema que se esta modelando.

#### 1.1.6. Validación del modelo

Consiste en realizar una serie de pruebas al mismo, utilizando información de entrada real para observar su comportamiento y analizar sus resultados. Si el problema bajo simulación involucra un proceso que se desea mejorar, el modelo debe someterse a prueba con las condiciones actuales de operación, lo que nos dará como resultado un comportamiento similar al que se presenta realmente en nuestro proceso. Por otro lado, si se ésta diseñando un nuevo proceso la validación resulta más complicada. Una manera de validar el modelo en este caso, consiste en introducir algunos escenarios sugeridos por el cliente y validar que el comportamiento sea congruente con las expectativas que se tienen de acuerdo con la experiencia.

#### 1.1.7. Generación del modelo final

Una vez que el modelo se ha validado, el analista esta listo para realizar la simulación y estudiar el comportamiento del proceso. En caso de que se desee comparar escenarios diferentes para un mismo problema, este será el *modelo raíz*; en tal situación, el siguiente paso es la definición de los escenarios a analizar.

#### 1.1.8. Determinación de los escenarios para el análisis

Tras validar el modelo es necesario acordar con el cliente los escenarios que se quiere analizar. Una manera muy sencilla de determinarlos consiste en utilizar un escenario pesimista, uno optimista y uno intermedio para la variable. Por su parte, el analista también puede contribuir a la selección de escenarios, sugiriendo aquellos que considere más importantes; al hacerlo dará pie a que se reduzca el número de combinaciones posibles.

### 1.1.9. Análisis de sensibilidad

Una vez que se obtienen los resultados de los escenarios es importante realizar pruebas estadísticas que permiten comparar los escenarios con los mejores resultados finales. Si dos de ellos tienen resultados similares será necesario comparar sus intervalos de confianza respecto de la variable de respuesta final. Si no hay intersección de intervalos podremos decir con certeza estadística que los resultados no son iguales; sin embargo, si los intervalos se traslapan será imposible determinar, estadísticamente hablando, que una solución es mejor que otra. Si se desea obtener un escenario "ganador," en estos casos, será necesario realizar más replicas de cada modelo y/o incrementar el tiempo de simulación de cada corrida. Con ello se busca acortar los intervalos de confianza de las soluciones finales, y por consiguiente, incrementar la probabilidad de diferenciar soluciones.

### 1.1.10. Documentación del modelo, sugerencias y conclusiones

Una vez realizado el análisis de los resultados, es necesario efectuar toda la documentación del modelo.

Esta documentación es muy importante, pues permitirá el uso del modelo generado en caso de que se requieran ajustes futuros. En ella se deben incluir los supuestos del modelo, las distribuciones asociadas a sus variables, todos sus alcances y limitaciones y, en general, la totalidad de las consideraciones de programación.

También es importante incluir sugerencias tanto del uso del modelo como sobre los resultados obtenidos, con el propósito de realizar un reporte más completo. Por último, deberán presentarse asimismo como conclusiones del proyecto de simulación, a partir de las cuales es posible obtener los reportes ejecutivos para la presentación final.

En esta sección demostraremos como fuimos aplicando los 10 pasos de la simulación enunciados más arriba a el modelo que nosotros elegimos para este trabajo práctico integrador.

## 2. Definición del sistema bajo estudio

El modelo a simular seleccionado es el control de ingresos a un estadio en donde se lleva a cabo un concierto (o cualquier tipo de evento social multitudinario). Nuestro propósito es controlar el congestionamiento y demora de personas cuando se las somete a revisiones previas a entrar a el estadio.

Las medidas de rendimiento que nosotros analizaremos son el **número promedio de clientes en cola** para cada cola, la **utilización promedio del servidor** para cada servidor, y el **tiempo promedio de servicio** en la simulación.

## 3. Generación de modelo de simulación base

Consideramos distintos tipos de fanáticos, separados por género (mujer y hombre), por si llevan objetos (mochila, bolso, etc.) o no,, cada uno con una tasa de servicio diferente para los distintos puestos de control. Los puestos de control son:

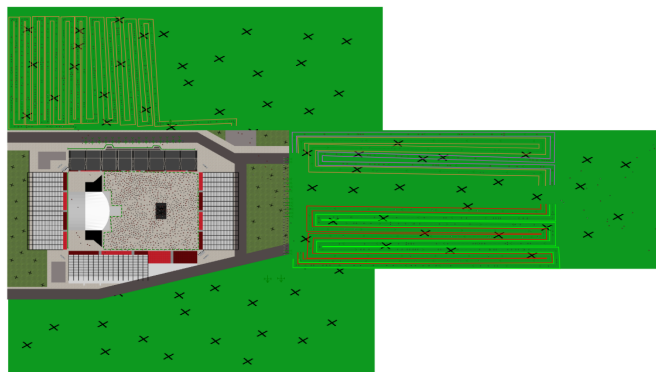
1. Chequeo policial previo a el ingreso al área del estadio, donde se revisan las posesiones personales que se ingresan al estado.
2. Chequeo de entrada previo al ingreso al estadio (o zona de concierto), donde se revisa las posesión del ticket en cuestión.

Aplicamos cuatro colas, por las cuales pasarán las cuatro combinaciones de fanáticos (mujer/hombre, con mochila/sin mochila) que se dirigirán hacia los servicios de chequeo policial previo al ingreso al área del estadio.

La cantidad de servidores que realizan dicho chequeo se estableció mediante estimación tomando como referencia la cantidad de cada uno de los tipos de fanáticos, teniendo en cuenta la probabilidad de existencia que les daremos.

Luego, agregamos una cola en donde se englobarán los fanáticos con los 3 tipos de entradas que consideramos (Campo, Preferencial Derecha, Preferencial Izquierda)

Figura 1: Imagen del modelado de simulación primera configuración corriendo



## 4. Recolección y análisis de datos

Para la generación del modelo base, definimos que el fanático tendrá:

- Una probabilidad de 0,45 de ser mujer y 0,55 de ser hombre.
- Una probabilidad de 0,2 de entrar con mochila y 0,8 de no poseer mochila.
- Una posibilidad de 0,6 de tener entrada a campo y 0,4 de que sea una entrada a preferencial (dividiendo en 0,2 y 0,2, respectiva a las dos preferenciales).

Estos valores fueron obtenidos de los sitios web dentro de la sección 11.2. Se realizó una abstracción de las estadísticas del Twitter oficial de la banda de rock *Queen*.

## 5. Generación del modelo preliminar

Tomando en cuenta nuestra experiencia con modelos de colas anteriores dentro de la cátedra de simulación, sugerimos una distribución exponencial tanto para la tasa de servicio de los distintos chequeos como para la tasa de arribo a las distintas colas.

## 6. Verificación del modelo

Tomamos la ventana de 7 horas de ingreso al estadio dentro de la hora permitida de simulación y a cada persona como representación de un grupo de 5 fanáticos.

A modo de simplificación en el uso de la herramienta *Anylogic*, para un análisis inicial consideramos las 7 horas de la solución a una misma tasa de arribos, para un análisis futuro nos queda considerar la posibilidad de utilizar un *schedule* para cambiar la tasa aumentando la cantidad de gente que ingresa a medida que se aproxima el horario de inicio del recital (fin de la simulación).

Dadas las simplificaciones mencionadas previamente, calculamos la tasa de arribo de los fanáticos de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Capacidad del Estadio}}{\text{Horas Ingreso} \times 10(\text{Personas}) \times 60(\text{Minutos})}$$

De esta forma obtenemos que el numero promedio de arribos por unidad de tiempo (segundos) es:

$$\lambda = \frac{8000}{7 \times 60} = 19,01476 \approx 19$$

Por ende, estarían ingresando las personas a una razón de 19 personas por minuto (0,32 personas por segundo). Por lo tanto la tasa que utilizaremos en la exponencial es:

$$\text{Tasa de Arribos} = 0,32$$

Para lo que es el numero promedio de clientes atendidos en una estación, calculamos que una persona en promedio demora 30 segundos en realizar un control de mochilas, 20 segundo en realizar un control de personas sin mochilas y 10 segundos en escanear la entrada en el control de entradas. Bajo estos supuestos, el numero promedio de clientes atendidos por estación en una unidad de tiempo (Minutos) son:

$$\mu_{\text{Mochila}} = \frac{60}{40} = 1,5$$

$$\mu_{\text{SinMochila}} = \frac{60}{20} = 3$$

$$\mu_{\text{Entradas}} = \frac{60}{10} = 6$$

Por lo tanto, la tasa para la distribución exponencial para los servicios es:

$$\text{Tasa de Servicios con Mochila} = \frac{1}{\mu_{\text{Mochila}}} = \frac{1}{1,5} = 0,67$$

$$\text{Tasa de Servicios sin Mochila} = \frac{1}{\mu_{\text{SinMochila}}} = \frac{1}{3} = 0,33$$

$$\text{Tasa de Servicios de Control de Entrada} = \frac{1}{\mu_{\text{Entradas}}} = \frac{1}{6} = 0,16$$

## 7. Validación del modelo

Se le fueron realizando distintas pruebas al modelo para garantizar su funcionamiento correcto. En particular, la aplicación de valores fijos de arribo de una cantidad de gente por minuto al estadio, para ir pensando y aplicando las abstracciones necesarias debido a nuestro limite respecto a la capacidad de procesamiento que poseemos.

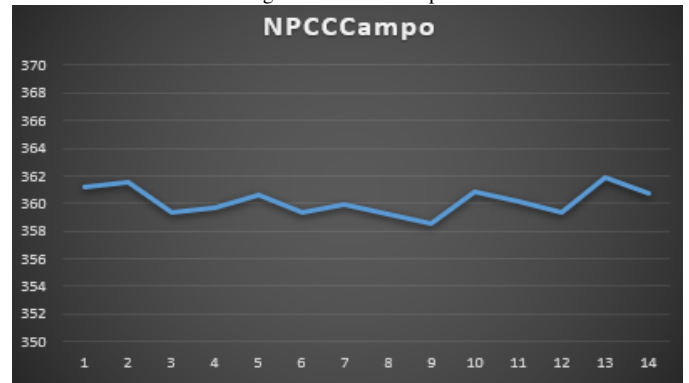
## 8. Generación del modelo final

Corrimos el modelo base, ahora si con las tasas calculadas de la manera especificada en la sección 6 y obtuvimos los siguientes valores finales para cada una de las medidas de rendimiento, luego de realizar 14 veces la simulación: Los valores finales obtenidos para este escenario de análisis son:

### 8.1. Número promedio de fanáticos, en cada cola

- Número promedio fanáticos en cola, ingreso a campo: 360, 16

Figura 2: NPCC Campo



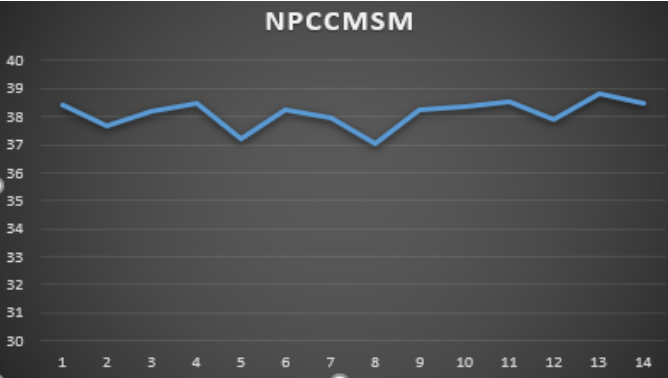
- Número promedio fanáticos en cola, ingreso mujer con mochila: 8, 80

Figura 3: NPCC mujer con mochila



- Número promedio fanáticos en cola, ingreso mujer sin mochila: 38, 10

Figura 4: NPCC mujer sin mochila



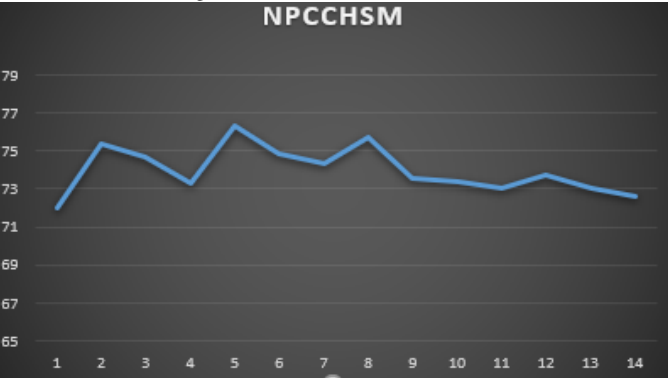
- Número promedio fanáticos en cola, ingreso hombre con mochila: 18, 22

Figura 5: NPCC hombre con mochila



- Número promedio fanáticos en cola, ingreso hombre sin mochila: 73, 98

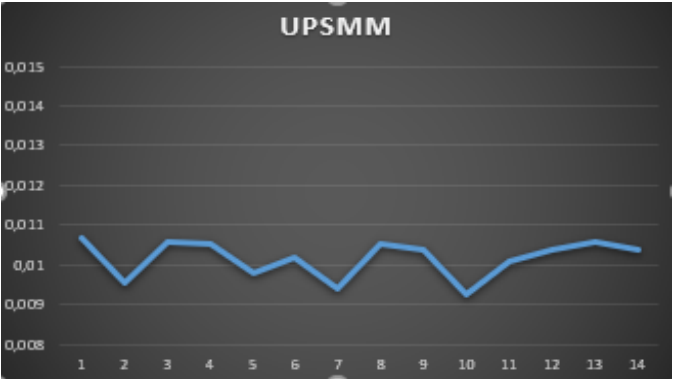
Figura 6: NPCC hombre sin mochila



8.2. Utilización promedio de cada servidor

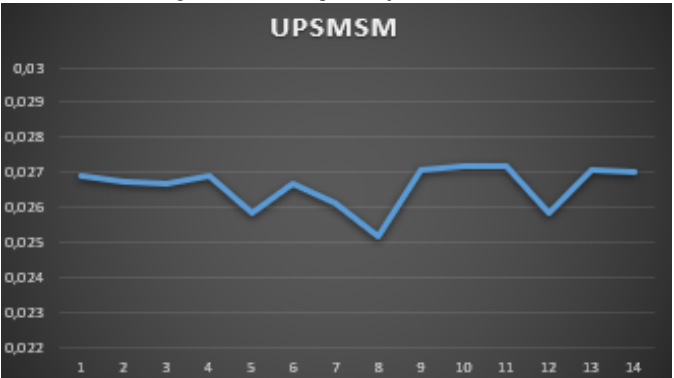
- Utilización promedio del servicio de chequeo mujer con mochila: 0, 01

Figura 7: UPS chequeo mujer con mochila



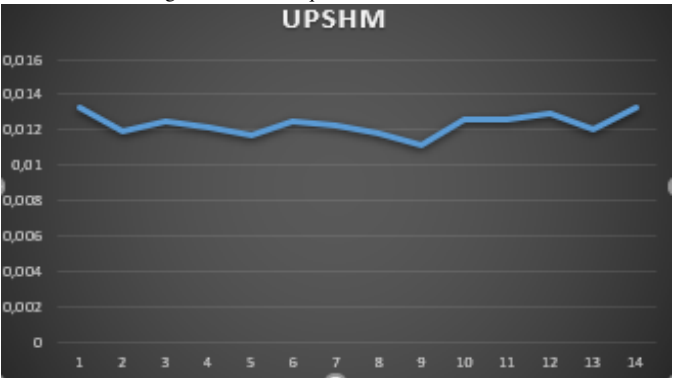
- Utilización promedio del servicio de chequeo mujer sin mochila: 0, 03

Figura 8: UPS chequeo mujer sin mochila



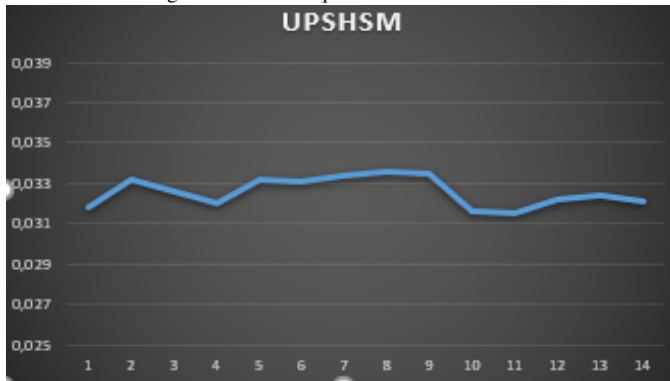
- Utilización promedio del servicio de chequeo hombre con mochila: 0, 012

Figura 9: UPS chequeo hombre con mochila



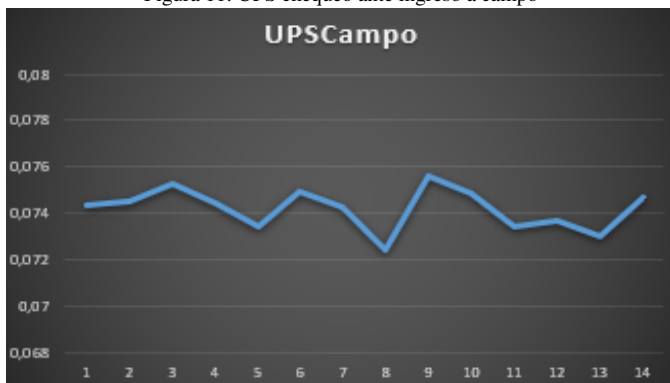
- Utilización promedio del servicio de chequeo hombre sin mochila: 0,03

Figura 10: UPS chequeo hombre sin mochila



- Utilización promedio del servicio de chequeo ante ingreso a campo: 0,07

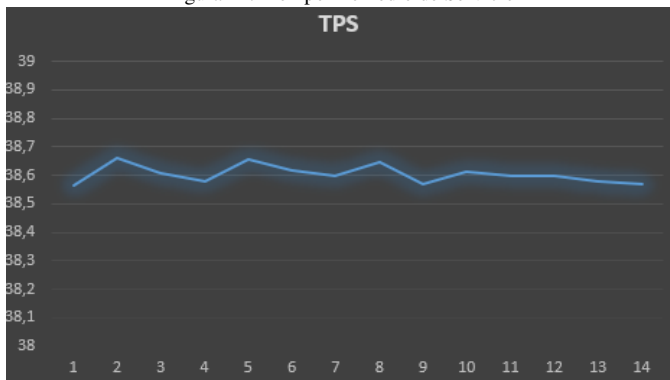
Figura 11: UPS chequeo ante ingreso a campo



### 8.3. Tiempo promedio de servicio

- Tiempo promedio de servicio desde que un cliente llega al área de el estadio hasta que entra al mismo (pasa por los dos tipos distintos de chequeos): 38,60

Figura 12: Tiempo Promedio de Servicio



### 8.4. Determinación de corridas ideales

Se realizaron un número primario de corridas (que determinamos como 7) y luego, asumiendo que nuestro estimador de la varianza poblacional no cambiará al aumentar el número de réplicas, el número total de replicas  $n_\alpha(\beta)$  requerido para obtener un error absoluto de  $\beta$  es:

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

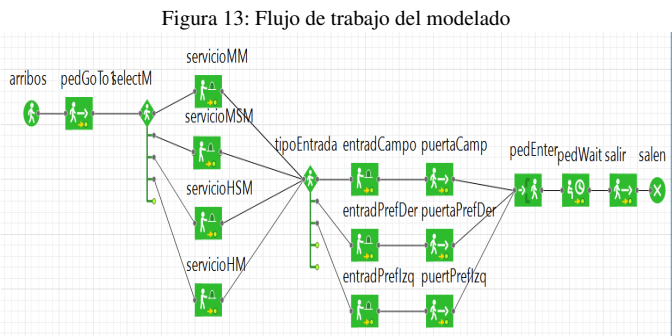
Las medidas que analizamos sus corridas ideales son las 5 medidas para las 5 colas (numero promedio de clientes en cola) y nuestra medida principal, que es el tiempo promedio de servicio. Se determino un error  $\beta$  de 0,5 para las medidas de NPCC y de 0,1 para el tiempo promedio de servicio (un error absoluto aproximado de 6 segundos) Entonces, para poder estimar una media  $\mu = E[X]$  con un error absoluto  $\beta$ :

- Número promedio de clientes en cola al ingreso a campo.
  - Desviación a las 7 corridas: 0,83
  - Cantidad de corridas ideales: 11
  - Error absoluto resultante: 0,49
- Número promedio de clientes en cola mujer con mochila.
  - Desviación a las 7 corridas: 0,24
  - Cantidad de corridas ideales: 5
  - Error absoluto resultante: 0,47
- Número promedio de clientes en cola mujer sin mochila..
  - Desviación a las 7 corridas: 0,51
  - Cantidad de corridas ideales: 8
  - Error absoluto resultante: 0,48
- Número promedio de clientes en cola hombre con mochila.
  - Desviación a las 7 corridas: 0,47
  - Cantidad de corridas ideales: 8
  - Error absoluto resultante: 0,46
- Número promedio de clientes en cola hombre sin mochila.
  - Desviación a las 7 corridas: 1,30
  - Cantidad de corridas ideales: 15
  - Error absoluto resultante: 0,5
- Tiempo Promedio de Servicio.
  - Desviación a las 7 corridas: 0,03
  - Cantidad de corridas ideales: 11
  - Error absoluto resultante: 0,1

9. Determinación de los escenarios para el análisis

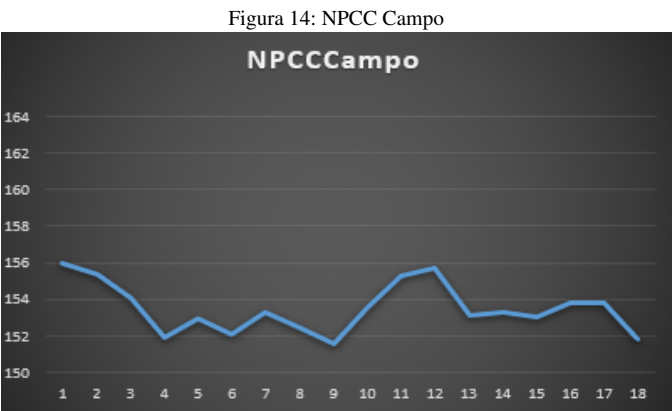
Luego del análisis del modelo de simulación y la comparativa de las medidas de rendimiento, se propuso otro escenario para el análisis, el cual posee una configuración distinta, las diferencias destacadas son:

- Se subdivide la cola de control de entradas en 3 colas separadas, una para cada uno de los distintos tipos de entrada.
- Se agregan personas en el control de accesos para cada una de las nuevas colas, y se mantienen las del ingreso general.
- Se acorta el largo de la cola (Para disminuir el tiempo que se demora en arribar a la misma).



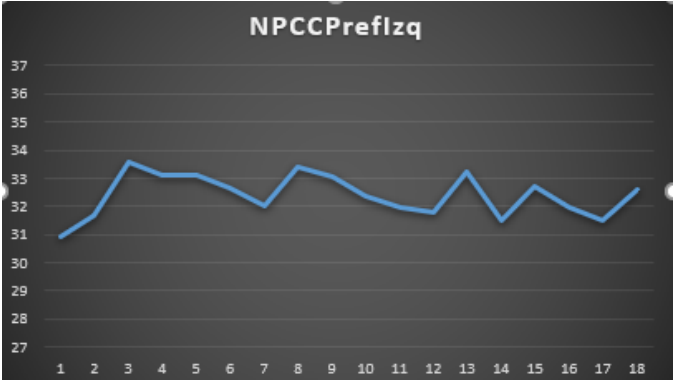
9.1. Número promedio de fanáticos, en cada cola

- Número promedio fanáticos en cola, ingreso a campo: 153, 51



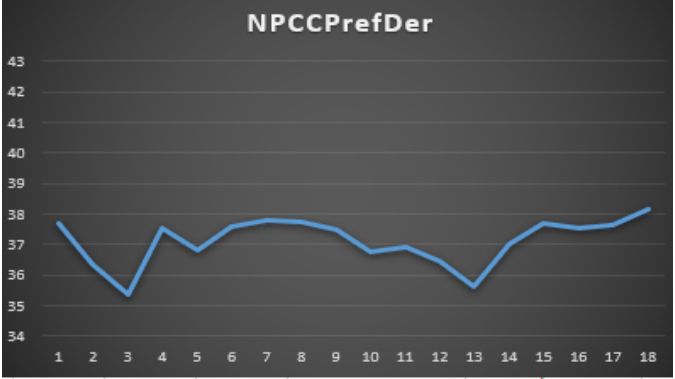
- Número promedio fanáticos en cola, ingreso a preferencial izquierda: 37, 10

Figura 15: NPCC Preferencial Izquierda



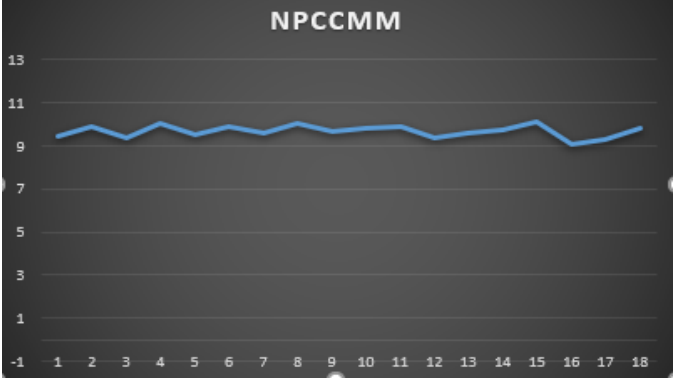
- Número promedio fanáticos en cola, ingreso a preferencial derecha: 32, 53

Figura 16: NPCC Preferencial Derecha



- Número promedio fanáticos en cola, ingreso mujer con mochila: 9, 73

Figura 17: NPCC mujer con mochila



- Número promedio fanáticos en cola, ingreso mujer sin mochila: 42, 05



Figura 18: NPCC mujer sin mochila

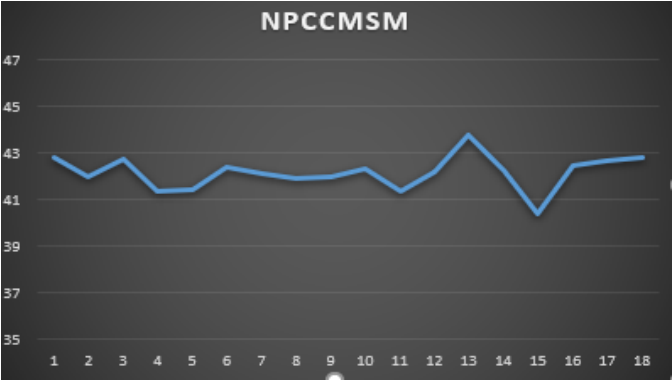
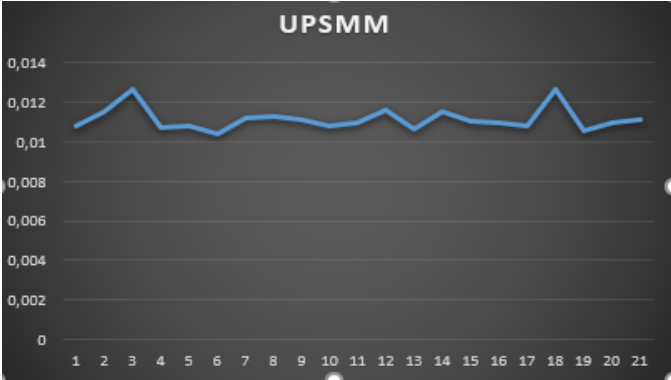


Figura 21: UPS chequeo mujer con mochila



- Número promedio fanáticos en cola, ingreso hombre con mochila: 20, 24
- Utilización promedio del servicio de chequeo mujer sin mochila: 0, 02

Figura 19: NPCC hombre con mochila

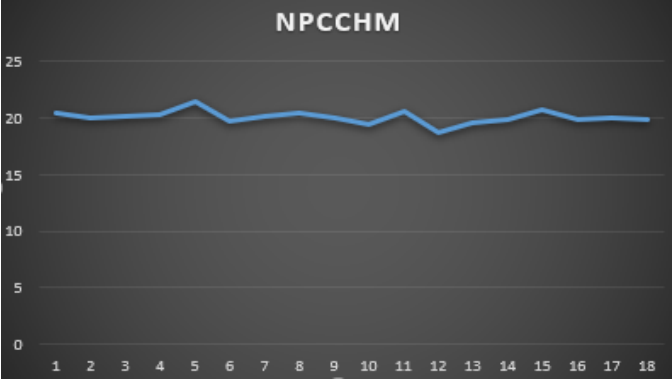
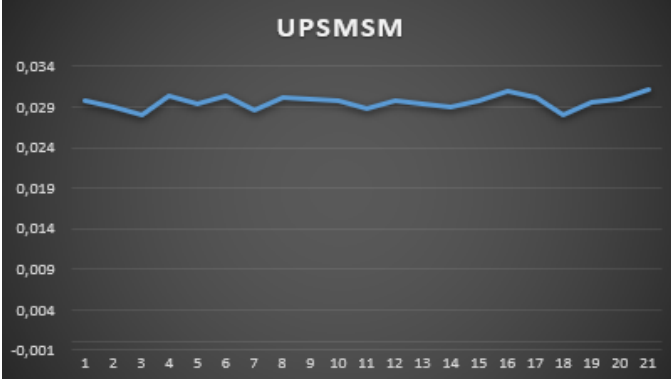


Figura 22: UPS chequeo mujer sin mochila



- Número promedio fanáticos en cola, ingreso hombre sin mochila: 82, 45
- Utilización promedio del servicio de chequeo hombre con mochila: 0, 01

Figura 20: NPCC hombre sin mochila

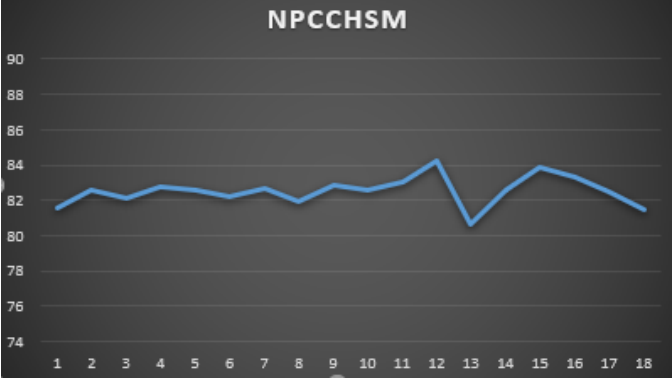
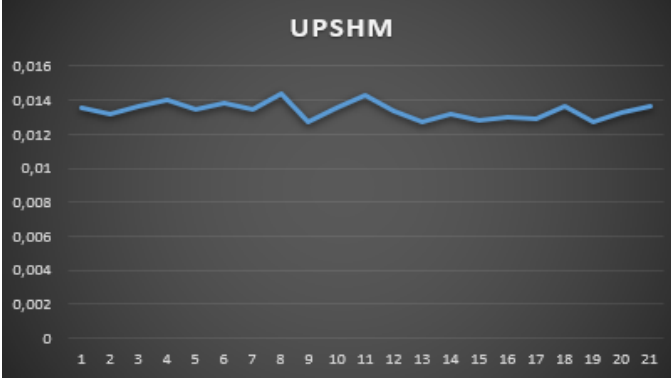


Figura 23: UPS chequeo hombre con mochila

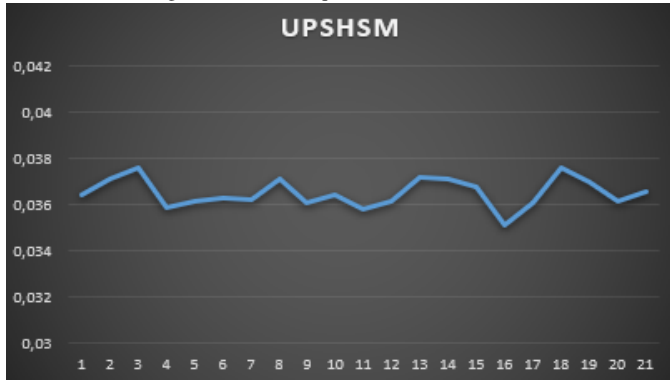


- 9.2. Utilización promedio de cada servidor
- Utilización promedio del servicio de chequeo mujer con mochila: 0, 01

- Utilización promedio del servicio de chequeo hombre sin mochila: 0, 03

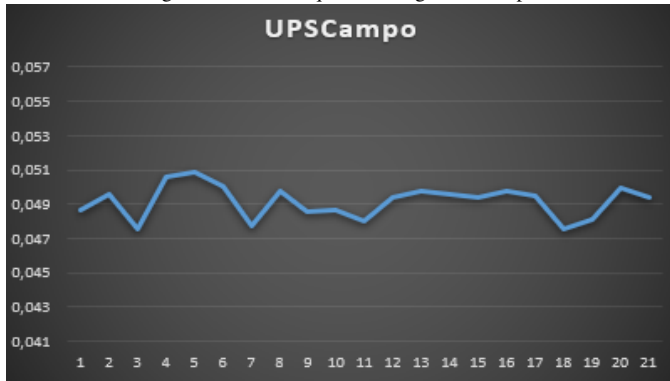


Figura 24: UPS chequeo hombre sin mochila



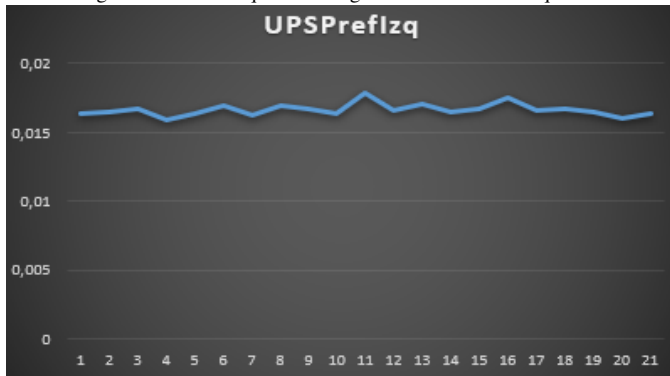
- Utilización promedio del servicio de chequeo ante ingreso a campo: 0,04

Figura 25: UPS chequeo ante ingreso a campo



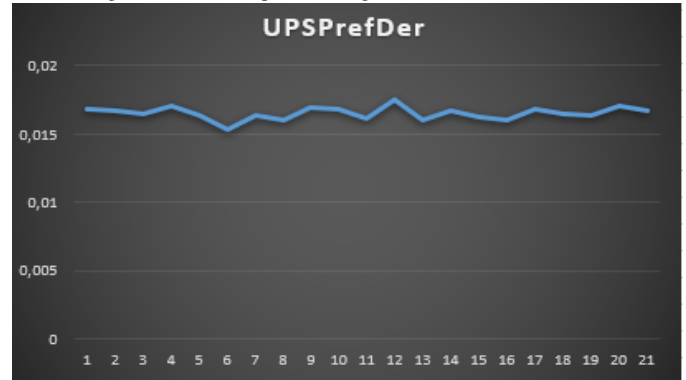
- Utilización promedio del servicio de chequeo ante ingreso a preferencial izquierda: 0,01

Figura 26: UPS chequeo ante ingreso a Preferencial izquierda



- Utilización promedio del servicio de chequeo ante ingreso a preferencial derecha: 0,04

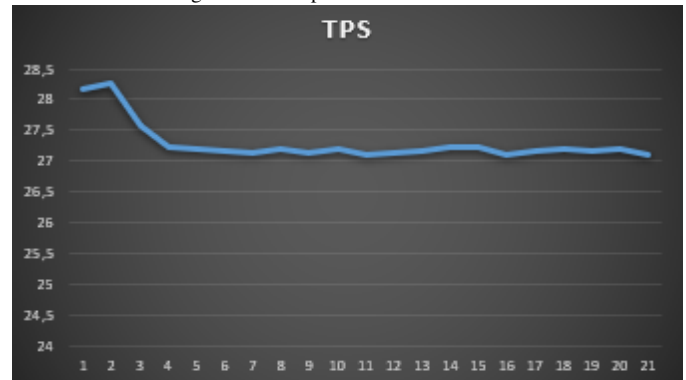
Figura 27: UPS chequeo ante ingreso a Preferencial Derecha



### 9.3. Tiempo promedio de servicio

- Tiempo promedio de servicio desde que un cliente llega al área de el estadio hasta que entra al mismo (pasa por los dos tipos distintos de chequeos): 27,33

Figura 28: Tiempo Promedio de Servicio



### 9.4. Determinación de las corridas ideales

El proceso de determinación se realizo de manera similar al especificado en 8.4, solo que ajustando el error absoluto del tiempo de servicio a 0,3, obteniendo los siguientes valores:

- Número promedio de clientes en cola al ingreso a campo.
  - Desviación a las 7 corridas: 1,4
  - Cantidad de corridas ideales: 17
  - Error absoluto resultante: 0,5
- Número promedio de clientes en cola al ingreso a Preferencial Derecha.
  - Desviación a las 7 corridas: 0,82
  - Cantidad de corridas ideales: 11
  - Error absoluto resultante: 0,49
- Número promedio de clientes en cola al ingreso a Preferencial Izquierda.

- Desviación a las 7 corridas: 0,87
- Cantidad de corridas ideales: 12
- Error absoluto resultante: 0,48
- Número promedio de clientes en cola mujer con mochila.
  - Desviación a las 7 corridas: 0,26
  - Cantidad de corridas ideales: 5
  - Error absoluto resultante: 0,49
- Número promedio de clientes en cola mujer sin mochila..
  - Desviación a las 7 corridas: 0,49
  - Cantidad de corridas ideales: 8
  - Error absoluto resultante: 0,47
- Número promedio de clientes en cola hombre con mochila.
  - Desviación a las 7 corridas: 0,46
  - Cantidad de corridas ideales: 8
  - Error absoluto resultante: 0,46
- Número promedio de clientes en cola hombre sin mochila.
  - Desviación a las 7 corridas: 0,39
  - Cantidad de corridas ideales: 7
  - Error absoluto resultante: 0,46
- Tiempo Promedio de Servicio.
  - Desviación a las 7 corridas: 0,44
  - Cantidad de corridas ideales: 16
  - Error absoluto resultante: 0,3

## 10. Análisis de sensibilidad

### 10.1. Marco teórico

Enunciando los teoremas estudiados en el apunte del profesor Weitz de la cátedra de Simulación, podemos definir que para  $i = 1, 2$ , número respectivo de las configuraciones, y sea  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}, n_i$  observaciones independientes distribuidas idénticamente de dichos sistemas, siendo  $\mu_i = E(X_{ij})$  el valor de interés, queremos construir un intervalo de confianza para  $\zeta = \mu_1 - \mu_2$ .

Luego, establecemos un intervalo de confianza t-apareado. Si  $n_1 = n_2 = n$  número de corridas, que en nuestro caso fue establecido en 14, podemos emparejar  $X_{1j}$  con  $X_{2j}$  para definir  $Z_j = X_{1j} - X_{2j}$ , para  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Entonces, los  $Z_j$  son variables aleatorias independientes distribuidas idénticamente y  $E(Z_j) = \zeta$ . Por lo tanto, queda definido:

$$\bar{Z}(n) = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j}{n}$$

$$\text{Var}[\bar{Z}(n)] = \sum_{j=1}^n \frac{[Z_j - \bar{Z}(n)]^2}{n \times (n - 1)}$$

y formamos el intervalo de confianza para  $\zeta$ :

$$\bar{Z}(n) \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\text{Var}[\bar{Z}(n)]}$$

### 10.2. Aplicación en nuestro modelo

Para el análisis de la sensibilidad, tomamos los valores de las medidas de rendimiento: Número promedio de clientes en cola campo y Tiempo promedio de servicio. La base de esta decisión resulta de tratar de entender en cuanto se libera la entrada de los fanáticos que poseen entrada general (que, son la mayoría) y si disminuye significativamente el tiempo promedio de servicio de dichos fanáticos.

Recordemos que el tiempo promedio de servicio comienza a contar desde que el fanático entra a la primera cola hasta que ingresa al estadio. La cantidad  $n$  de corridas fueron 14.

- En lo que respecta al NPCC a campo:

- $\bar{Z}(n) = 206,54$
- $\sqrt{\text{Var}[\bar{Z}(n)]} = 0,37$

Entonces, podemos enunciar el intervalo del 90 % de confianza [205,89, 207,19] para nuestro  $\zeta = \mu_1 - \mu_2$ .

- En lo que respecta al TPS:

- $\bar{Z}(n) = 11,25$
- $\sqrt{\text{Var}[\bar{Z}(n)]} = 0,10$

Entonces, podemos enunciar el intervalo del 90 % de confianza [11,07, 11,43] para nuestro  $\zeta = \mu_1 - \mu_2$ .

## 11. Documentación del modelo, sugerencias y conclusiones

### 11.1. Conclusiones

Podemos concluir que la aplicación de la segunda configuración (dividir a cada fanático según el tipo de entrada que posea previo al último chequeo) nos permitió disminuir a más de la mitad el número promedio de clientes en cola hacia el campo. También, la segunda configuración permitió que el fanático llegue al estadio en **10 minutos menos** que con la configuración de modelo base.

El análisis de sensibilidad refleja estas mejoras, obteniendo a ambos valores medios de  $Z$  como positivos, indicando que el segundo modelo mejoró ambas medidas de rendimiento.

Para futuros escenarios a analizar, se podría tener en cuenta:

- Diferencia de tasas de arribo según el horario (más arribos a medida que se acerca la hora de comienzo del concierto).
- Mejoras asociadas a las colas previas al ingreso por tipo de entrada (mochila/sin mochila).

- Disminución de puestos de servicio, debido a la rapidez de los mismos para atender a los fanáticos ingresantes y de esa manera evitar los tiempos ociosos de los mismos.

Distribución de géneros de los fanáticos de la banda Queen

11.2. *Bibliografía*

Distribución de fanáticos en conciertos

Apunte cátedra Simulación Ing. Weitz 2018