

# Informe del Trabajo Integrado

## “Simulación de Eventos Discretos”

Martín Bojorque, Iván Ulloa  
*Carrera de Computación*  
*Universidad Politécnica Salesiana*  
*Cuenca, Ecuador*  
*mbojorque@est.ups.edu.ec; iulloa@est.ups.edu.ec*

**Abstract** – In this document we detail the tools and procedures to simulate a bank that sends and receives money from other countries based on discrete events. We explain the uses of MatLab/Simulink in the simulation space, as well as how we ultimately decided to use AnyLogic for the final model. The model produced uses information gather from different sources that describes the consignments done to different countries in Guayas (Province of Ecuador). Then we build a model to simulate the whole process, gather information and present it in reports.

**Keywords** – simulation, discrete events, consignments, simulation software

### I. INTRODUCCION

Simular eventos de un sistema genera información valiosa acerca del comportamiento de dicho sistema y como este se relaciona con componentes de la naturaleza. Si bien de manera controlada, un modelo de experimentos más avanzado puede lograr determinar que dicho sistema está o no listo para su aplicación en un entorno real. En este trabajo nos centramos en la construcción de un modelo basado en eventos discretos que busca determinar cómo las remesas de la provincia del Guayas se comportan teniendo en cuenta países de origen y sectores. Este es un sistema ya existente, sin embargo, aporta información interesante acerca de la economía de nuestro país y proporciona una oportunidad para la aplicación de conceptos vistos en esta materia en un sistema más acercado a la realidad.

El documento consta de la introducción de la herramienta utilizada para el desarrollo del modelo de simulación, un tutorial simple y un ejemplo. La siguiente sección detalla el desarrollo del modelo y como se obtuvo la información de las remesas para desarrollarlo. Por último, tenemos los resultados en forma del modelo concluido junto con conclusiones de la realización de este trabajo detallando lo que se aprendió.

### II. HERRAMIENTAS SELECCIONADAS PARA EL DESARROLLO

Se presentan las herramientas utilizadas en nuestro trabajo, sus funcionalidades, características y particularidades que las hacen una buena elección para este tipo de simulación.

#### A. MatLab

MATLAB (Matrix Laboratory) es una plataforma de programación de alto rendimiento enfocado en computación técnica utilizada en ingeniería para el diseño y análisis de sistemas por medio de modelos. Integra soluciones para la computación, visualización y programación utilizando notación matemática familiar. Sus usos son, entre otros:

- Cómputo matemático
- Desarrollo de algoritmos
- Modelado, simulación y prototipado
- Análisis, exploración y visualización de datos
- Gráficos científicos
- Gráficos para ingeniería
- Desarrollo limitado de aplicaciones con interfaz de usuario

Esta herramienta cuenta con una extensa librería de funciones matemáticas que permiten procesar información de distintas fuentes como pueden ser archivos, bases de datos o el internet. El código desarrollado en Matlab utiliza un compilador (denominado JIT por “Just in Time Compiler”) que ayuda en su rápida ejecución siendo más eficiente que un código escrito en un lenguaje como Java.

#### B. Simulink

Es una extensión de Matlab que provee un ambiente gráfico para el desarrollo de modelos con el objetivo de analizar, simular y visualizar sistemas dinámicos utilizando las funciones matemáticas incluidas en las librerías en conjunto con la posibilidad de crear tus propias funciones. Las

funciones de tipo *drag and drop* ayudan en el proceso de modelado funcionando en manera de bloques conectados por líneas de flujo pudiendo simular y analizar el comportamiento de un sistema en mucho menos tiempo del que tomaría modelar uno mediante otros métodos. Simulink soporta la creación de:

- Generación automática de código
- Diseño a nivel de sistema
- Simulación
- Verificación y pruebas de sistemas embebidos

También posee una característica denominada Design Verifier (Verificación de diseño) que permite identificar errores en el modelo y generar escenarios de prueba para comprobación.

### C. Requerimientos de hardware y software

- Sistema Operativo: Windows 10/11/Server 2019 (7 o Server 2016 no soportado)
- Procesador: Cualquier procesador x64-86 de Intel o AMD (se recomiendan procesadores con 4 o más núcleos lógicos)
- RAM: 4GB (8GB recomendado)
- Disco: 10GB de espacio en disco (31.5GB para la instalación de todas sus herramientas)
- Gráficos: No se requiere ninguna tarjeta gráfica específica (al menos 1GB de memoria virtual gráfica es recomendado para ciertas tareas)

### D. Instalación y Configuración

*El primer paso es la descarga del instalador en la página oficial de MathWorks, donde nos vamos a la opción “Obtener MATLAB”. Para poder descargar el instalador tendremos que crear una cuenta en el sitio, si su institución posee una licencia de Matlab es necesario crear la cuenta con la dirección de correo de su institución. Al momento de crear nuestra cuenta se iniciará sesión y nos encontraremos en la página de nuestro perfil, hacemos click en “Instalar MATLAB en su ordenador”. El proceso sigue los siguientes pasos:*

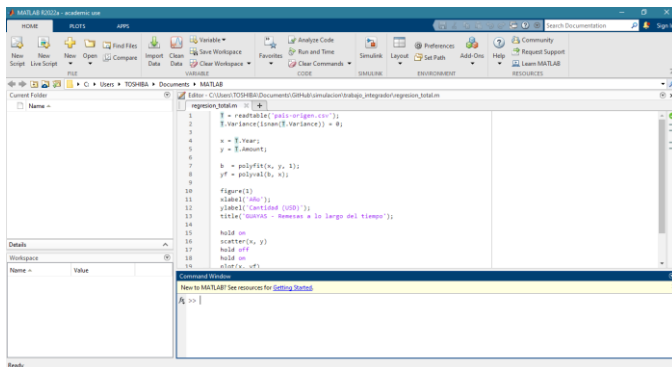


Fig. 1. Interfaz de MatLab

- 1) El primer paso es la descarga del instalador en la página oficial de MathWorks, donde nos vamos a la opción “Obtener MATLAB”.

- 2) Para poder descargar el instalador tendremos que crear una cuenta en el sitio, si su institución posee una licencia de Matlab es necesario crear la cuenta con la dirección de correo de su institución. Al momento de crear nuestra cuenta se iniciará sesión y nos encontraremos en la página de nuestro perfil, hacemos click en “Instalar MATLAB en su ordenador”
- 3) Aquí se nos dará la posibilidad de descargar el instalador dependiendo de nuestro sistema operativo. Damos click en “Descargar para ... “ en este caso Windows.
- 4) Al momento de iniciar el instalador por primera vez se realizará la descompresión de los archivos necesarios para MATLAB donde se nos mostrará la siguiente pantalla:
- 5) Al momento de concluir con la descompresión se habrá generado una carpeta denominada “\_temp\_matlab\_R2022a\_win64” (o la versión descargada). Esta podrá ser eliminada una vez que la instalación concluya.
- 6) Una vez que el instalador haya iniciado tendremos que iniciar sesión con la cuenta creada anteriormente.
- 7) Aceptamos los términos de licencia para MATLAB.
- 8) En la pestaña de licencias se nos listará todas las licencias se nos listaran todas las licencias que se encuentran relacionada a esa cuenta o también podemos ingresar una llave de activación si tenemos una licencia comprada recientemente. En mi caso tengo una licencia individual de tipo académico proporcionada por mi institución educativa.
- 9) Confirmamos el uso de esa cuenta y esa licencia. Determinamos el directorio en disco en el que se instalarán las herramientas, en este caso lo dejo con el directorio por defecto.
- 10) A continuación, seleccionaremos los paquetes que queremos instalar en nuestra computadora, tener en cuenta que mientras más herramientas se necesiten el espacio en disco recomendado no será suficiente. En nuestro caso seleccionaremos MATLAB y Simulink.
- 11) Después de esto se nos mostrarán opciones generales y posteriormente el instalador nos pedirá confirmación mostrando información de la licencia, del usuario local de la computadora actual, el directorio, los productos y por último el espacio necesario en disco. Damos a iniciar instalación (Begin Install).

*\*NOTA:* es necesario tener una conexión al internet estable y evitar que la máquina se bloquee mientras se realiza la instalación.

### E. Uso en la Nube

MathWorks también ofrece la posibilidad de usar la plataforma de MATLAB y todas sus herramientas por medio de la nube si se posee cualquier tipo de licencia. Regresamos a la pantalla de perfil donde descargamos el instalador y nos vamos a la opción que nos dice “Abrir MATLAB Online”. A

continuación, se nos abrirá una pestaña con la aplicación de MATLAB virtualmente idéntica a su versión de escritorio y con la posibilidad de usar todas las herramientas incluidas, guardar archivos en la nube y ejecutar tareas pesadas que nuestro computador puede no ser capaz de realizar.

*\*NOTA:* Tener en cuenta que algunos navegadores pueden no ser compatibles con MATLAB en la nube (para el ejemplo se usó Google Chrome). Solo se podrá iniciar una sesión a la vez, si se detecta otra la aplicación preguntará si quiere cerrar la anterior sesión para continuar.

#### F. Uso Básico de la Aplicación de Simulink

Al iniciar Matlab en el menú superior de Inicio podemos visualizar un botón que dice Simulink. O también podemos utilizar la línea de comandos y tipear simulink para realizar la misma acción. Al iniciar Simulink podremos directamente crear un nuevo modelo en blanco desde la pantalla de inicio. De igual manera podemos iniciar nuestro modelo con plantillas o continuar trabajando en un modelo ya guardado. La interfaz separa a la aplicación de Simulink por herramientas en categorías en distintas pestañas. Tenemos la pestaña de simulación con los comandos básicos para construir y correr simulación. La pestaña de debugging para realizar pruebas en el modelo, herramientas de modelo, el formato que se centra en el aspecto estético del modelo y por último aplicaciones incorporadas dentro del ambiente de Matlab.

Para ingresar bloques (funciones) en nuestro espacio de trabajo para comenzar a modelar nuestro sistema nos situaremos en la parte superior en la opción Library Browser (Buscador de librerías). Esto nos abrirá una ventana que contiene todos los bloques existentes en Simulink y también mostrará los bloques existentes en librerías adicionales instaladas en Matlab. Todas estas representan una función matemática, genera una señal de entrada, visualizar datos, entre otras. En la sección de “Commonly Used Blocks” podemos encontrar bloques para modelos estándar que no requieren librerías especiales, en nuestro caso los usaremos para construir nuestro primer modelo de ejemplo. Podemos encontrar bloques con operaciones matemáticas básicas, funciones de transferencia, bloques de incremento, osciloscopio, entre otros.

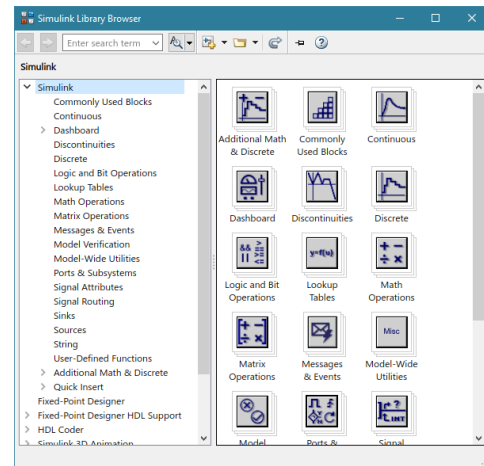


Fig. 2. Paleta de bloques para simulación en Simulink

#### G. Problema de Ejemplo

Como un ejemplo se realizará un Sistema Masivo de Resortes y Antivibradores (Fig. 3). Esto describe un modelo físico que consiste en nodos discretos masivos conectados mediante una red de antivibradores (dampers) y resortes, ideado para modelar objetos con propiedades materiales complejas en entornos de gráficos por computadora y animación por computadora. El modelo se define por la siguiente ecuación (en verde) donde esencialmente  $ma$  representa la aceleración,  $bv$  la velocidad y  $kx$  el desplazamiento (cada variable con su respectiva constante).

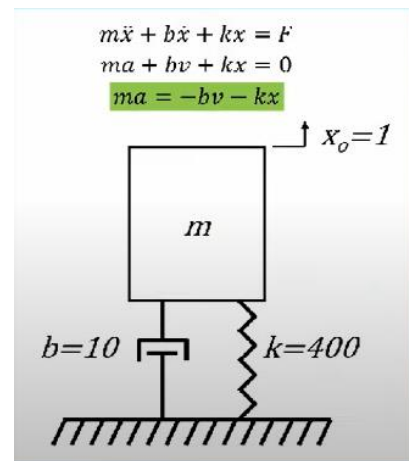


Fig. 3. Ecuación del problema de ejemplo

Ya que las variables son generadas por el script podemos modificarlas para sacar diferentes resultados en la simulación o incluso generar un script que nos permita realizar varias simulaciones cambiando variables. Como **resultado** obtenemos el comportamiento de nuestra función inicial representado en una gráfica, donde el modelo sería un material con las características físicas determinadas por las variables en el archivo de MATLAB, pudiendo modificarlas para ajustarse a las necesidades del material a simular.

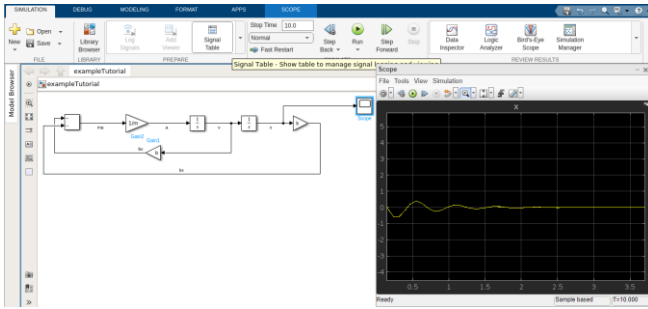


Fig. 4. Modelo de ejemplo aplicado en Simulink

### III. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

#### A. Uso de AnyLogic

Cuando se comenzaron las etapas iniciales del desarrollo del modelo pudimos notar que la simulación de eventos discretos incluida en MatLab iba a resultar en un modelo deficiente y complicado de desarrollar por las limitaciones que presentaba Simulink al momento de simular estos sistemas. Es posible que se puedan desarrollar funciones que específicamente se acomoden a nuestras necesidades, pero el tiempo hubiera sido insuficiente. Mejor optamos por otra opción para realizar nuestro modelo que tenga las suficientes características para cumplir nuestros objetivos sin la necesidad de recurrir a mucha codificación. La aplicación AnyLogic parecía acomodarse a los requerimientos y al ser desarrollada en un lenguaje el cual estamos familiarizados (Java) incluso si requerimos el desarrollo de funciones específicas, estas serán mucho más fáciles de codificar.

AnyLogic es una herramienta de simulación diseñada para la construcción sencilla de modelos que abarcan sistemas basados en eventos discretos, manejo de materiales, simulación de tránsito, cadenas de proveedores, simulación de fluidos, entre otras. Las librerías contienen las características necesarias para desarrollar un modelo dado, se separan por categoría dependiendo el tipo de simulación a conseguir. Estas librerías contienen bloques con funcionalidades usadas para simulación como retrasos, llegadas, acceso a recursos, etc. Los bloques se conectan mediante líneas de flujo a modo de diagrama, mientras que variables de cada bloque pueden ser modificadas de acuerdo a las necesidades. También ofrece la posibilidad de construcción de funciones personalizadas usando el lenguaje de Java y funcionalidades internas de la herramienta de simulación. Para la generación de números aleatorios se usa `Java.Random` como generador por defecto, pero también se soportan múltiples distribuciones de probabilidad. A pesar de ser un programa muy completo, la versión gratuita solo permite la construcción de modelos que no tengan más de 30 bloques. También se observó que funcionalidades encontradas en Python no son soportadas por Java, limitando nuestras posibilidades en algunas ocasiones. A su favor, la herramienta soporta la generación de gráficos en 2D y 3D, en conjunto con una generación de reportes.

#### B. Recopilación de Información

La provincia seleccionada fue el Guayas, uno de los centros económicos más importantes del país y la provincia con mayor número de ingreso de remesas al país. La información fue tomada de documentos oficiales provistos por el Banco Central de Ecuador (BCE) en los siguientes enlaces:

- <https://www.bce.fin.ec/index.php/informacioneconomics/sector-externo>
- [https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/BalanzaPagos/Remesas/RemesasIntegradoWEB\\_PUB.xlsx](https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/BalanzaPagos/Remesas/RemesasIntegradoWEB_PUB.xlsx)

Los datos encontrados solo detallan información verídica desde el año 2007 si hablamos de Provincias específicas, mucha de la información se presenta solamente en gráficas de las cuales nunca se citan fuentes o conjuntos de datos usados. Existe información por cantón y localidad actualizada hasta el año 2018. Posiblemente toda la información restante esté disponible para uso interno en el Banco Central, pero sin posibilidad de obtención para el público general. Existe información histórica de las remesas en el país que se puede observar en el Banco Internacional, pero esta es general y no detalla provincias o ciudades. Los datos encontrados están limitados a las remesas en USD que ingresaron al país, al igual que datos específicos de las remesas (limitadas al periodo 2007-2018). La información obtenida se encuentra en el repositorio. También se pudo encontrar dato acerca de los países de origen de las remesas, pero estos datos son generales para todo el país. Sin embargo, ofrecen información importante que puede ser utilizada en una simulación.

### IV. RESULTADOS

#### A. Modelo de Regresión

El problema de estudio tratará de centrarse en la información que se pudo obtener, en este caso nos centraremos en los ingresos recibidos en la provincia del Guayas y sus distintos cantones. Al estudiar la provincia con más ingresos de remesas del Ecuador incluso tomar información de todo el país (como es el caso de los datos de país de origen) brindará soporte en el desarrollo del modelo y la simulación. Se desarrolló un sistema simple que nos permite visualizar la evolución de las remesas en la provincia en general y también de cada uno de sus cantones en conjunto con la regresión lineal que nos brindará cierto grado de predicción. A continuación, tenemos un ejemplo:

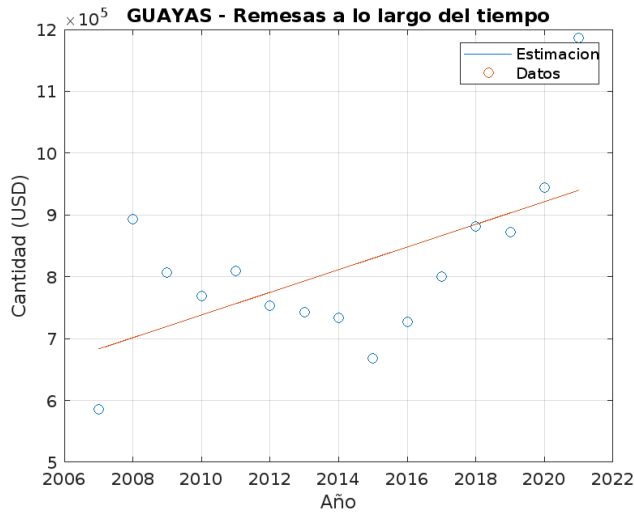


Fig. 5. Regresión lineal de las remesas recibidas en la provincia del Guayas a lo largo del tiempo

### B. Modelo de Simulación de Ingreso y Envío de Remesas

A partir de este paso nos reubicamos con la otra herramienta seleccionada, AnyLogic. Nuestro modelo comienza con la petición de ingreso de clientes que genera un cliente cada 10 minutos. Este cliente se pone en la cola y espera su turno, si la espera es muy larga saldrá de la cola. A partir de aquí se comienza nuestra caja, en donde el cliente llega y decide si realiza un envío o recepción de dinero; la capacidad de la caja es de 3 personas a la vez. Dentro de la caja se toman los datos del cliente, se le da un identificador y se asignan los recursos necesarios para realizar la acción; estos serían un empleado y una computadora, estos también pueden estar ocupados y causar que el cliente se retire. En el flujo de recepción es sencillo, se realiza el trámite y se recibe el dinero sin mayor problema. De lo contrario, si decide realizar un envío lo que se hace es similar al principio (toma de datos, identificador y realizar el trámite), pero al momento de tramitar se pone al cliente en espera cuando sale de la caja. El cliente esperará un mensaje de texto que le indique que se ha enviado la suma exitosamente, caso contrario regresará a la caja en un periodo de tiempo. Al final de cada caja se realiza la liberación de los recursos usados para continuar con el siguiente cliente.

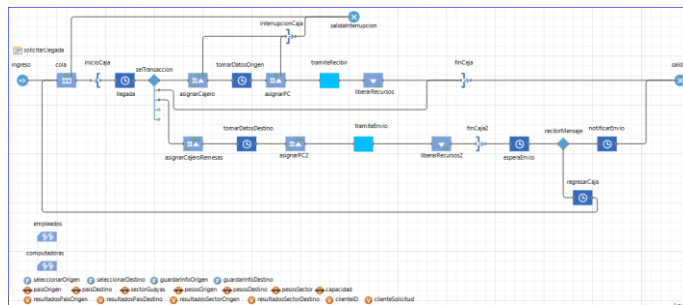


Fig. 6. Modelo de simulación obtenido en AnyLogic

Para obtener la información del país de origen o destino del dinero se utilizó la información obtenida en las páginas antes mencionadas que detallaban estadísticas que fueron

establecidas en el modelo como listas con pesos. Estos países son seleccionados aleatoriamente al momento de tomar los datos, pero estos obedecen a pesos establecidos que determinan la probabilidad de su ocurrencia. De manera similar se toma la información de los sectores del Guayas y sus envíos de remesas a modo de pesos. También guardamos nuestros resultados en listas que hacen referencia a el país y el sector del destinado o que se originó la remesa. También se utilizan algunas funciones personalizadas para generar los países y sectores aleatorios, al igual que guardar los datos de resultados.

## V. CONCLUSIONES

### A. Figuras y tablas

Simulink es una herramienta bastante confiable para la simulación computacional debido a las ventajas de tener la posibilidad de modelar sistemas usando bloques que representan funciones y operaciones básicas (e incluso de cierta complejidad) sin la necesidad de un conocimiento extendido en programación. También posee otra ventaja que permite realizar modelos incluso más complejos (esta vez con más conocimientos de programación) utilizando MATLAB como plataforma de desarrollo para las funciones necesarias en tu modelo si estas no se encuentran disponibles en la extensa biblioteca o no cumplen tus expectativas. Los bloques también pueden ayudar a simplificar la visualización del modelo, con las debidas etiqueta y orden de los bloques el modelo podría llegar a ser bastante descriptivo abstrayendo la información central del funcionamiento del sistema. MathWorks y su plataforma en la nube benefician a aquellos usuarios que no poseen los requerimientos necesarios de hardware y software para el desarrollo de su modelo. También habilita un desarrollo ágil en donde los modelos siempre estarán en la nube y podrán ser accedidos desde cualquier computador con un navegador compatible para continuar con su desarrollo o realizar pruebas.

Anylogic resultó ser una herramienta bastante competente en la simulación de eventos discretos, sus mayores fuertes son el uso de bloques y flujo a modo de un diagrama que puede ser fácilmente entendible con mínimo entrenamiento. También la posibilidad de inyectar código Java en las funciones es muy útil al momento de no encontrar un bloque que cumpla los requerimientos específicos solicitados. Pero esto también nos indica que algunas características no están incluidas por defecto, características que están incluidas en Python o C. También el uso de gráficos es mucho más simplista y a la vez difícil de descifrar a primera vista. Todo esto forman una aplicación que es lo suficientemente competente en la realización de la actividad que propone solucionar, pero que podría mejorar teniendo en cuenta las otras propuestas del mercado.

## REFERENCES

- [1] Knight, A. (2019). Basics of MatLab® and beyond. Chapman and Hall/CRC.
- [2] Gdeisat, M., & Lilley, F. (2012). MATLAB® by Example: Programming Basics. Newnes.
- [3] Choi, K., & Liu, H. (2016). Matlab and Simulink Basics.
- [4] MATLAB, I. (2016). MATLAB AND SIMULINK BASICS. Problem-Based Learning in Communication Systems Using MATLAB and Simulink, 1.
- [5] Karpov, Y. G. (2004, September). Anylogic: A new generation professional simulation tool. In VI International Congress on Mathematical Modeling, Nizni-Novgorog, Russia.
- [6] Borshchev, A., Brailsford, S., Churilov, L., & Dangerfield, B. (2014). Multi-method modelling: AnyLogic. Discrete-event simulation and system dynamics for management decision making, 248-279.