



Pulp and Paper Business Logistics

Entrega 2: modelo Conceptual y computacional

Alumnos:

Ignacio Acevedo
Ignacio Barría
Daniel Carrasco
Kevin Johnson

Fecha Entrega: 17 de abril del 2017



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS3723 – SIMULACIÓN

Resumen ejecutivo

En esta entrega, en el contexto del concurso de simulación de SIMIO titulado “*Pulp and Paper Business Logistics*”, se presentan tanto las bases conceptuales de la modelación como el desarrollo del modelo computacional y sus primeros resultados.

En primer lugar, respecto a las bases conceptuales, se consideraron las sugerencias recibidas en la primera entrega y se aplicaron en este informe, por lo que se definieron clara y específicamente las entidades que fluyen en el sistema, los recursos y capacidades, la política de operación (detallada), los límites del modelo, los supuestos, las variables aleatorias, los eventos y los aspectos a estudiar.

En segundo lugar, se indica el detalle de la modelación computacional en el programa SIMIO, mostrándose el esquema general de la modelación, las principales variables y procesos utilizados, y los “experimentos” diseñados para extraer resultados.

En tercer lugar, con el modelo computacional ya ejecutado se extrajeron los primeros resultados, de los cuales se presenta un primer análisis que guiará la definición de la política a implementar en el modelo mejorado.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS3723 – SIMULACIÓN

Índice

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS3723 – SIMULACIÓN

Índice de ilustraciones

-
-
-
-



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS3723 – SIMULACIÓN

Índice de tablas

-
-



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS3723 – SIMULACIÓN

Anexos

-
-
-
-



1. Introducción

En el presente informe se presentarán las bases conceptuales, el modelo computacional y los principales resultados de la simulación para el concurso de simulación de SIMIO, titulado “Pulp and Paper Business Logistics”.

Primero se analizarán y explicarán las entidades que fluyen en el sistema, las capacidades y los recursos involucrados, las políticas de operación, los límites del modelo, los supuestos, las variables aleatorias de INPUT y de OUTPUT, y los eventos.

Luego se describirá cómo se elaboró el modelo computacional en SIMIO, para lo que se agrupará la información entorno a tópicos como la región, caminos, papeleras y aserraderos.

Posteriormente se plantean los principales resultados pedidos por la organización de simio, para dar lugar, posteriormente, a las conclusiones.

2. Modelo conceptual

2.1. Contextualización

Se pretende que mediante un modelo de simulación se optimice coordinadamente la operación logística de los aserraderos del *midwest* estadounidense, para lo que debemos decidir qué aserradero produce para qué planta, entre otros aspectos de la política operacional.

Es importante considerar que, dada la libertad que deja la formulación del enunciado, aspectos fundamentales del negocio paplero fueron definidos por el equipo, lo que será explicado más adelante en los apartados de supuestos y políticas de operación.

2.2. Entidades que fluyen por el sistema

Solamente los camiones; conforme al enunciado, estas son las entidades utilizadas para transportar la madera desde los aserraderos hasta las plantas de procesamiento. Por lo que serán las entidades que modelaremos. La madera que poseen será un parámetro de esta entidad (y de los inventarios) que será modificado en la medida que el camión sea sometido a procesos de carga y descarga (además del gasto por parte del *digester*).



2.3. Recursos y capacidades

1. Grúas: son entidades utilizadas para transportar y acomodar la madera en los centros de acopio de las plantas.
2. Capacidades de inventario:
 - a. *Koala Paper*: 100.000 toneladas.
 - b. *Bright*: 120.000 toneladas.
 - c. *PaperTech*: 60.000 toneladas.
3. Cantidad de grúas por planta: seis.
4. Pistas de circulación de camiones en *scale-houses*: una por sentido.
5. Cantidad de manera al comenzar la simulación:
 - a. *Koala Paper*: 60.000 toneladas.
 - b. *Bright*: 60.000 toneladas.
 - c. *PaperTech*: 55.000 toneladas.

2.4. Política de operación

- i. Funcionamiento de los aserraderos y sus camiones
 - a. Las horas de operación de los aserraderos corresponden a las horas de luz, la información al respecto fue extraída de www.tutiempo.net/calendario-solar/ (se considerará la ubicación de Minneapolis, ciudad del *midwest* estadounidense en Minnesota).
 - b. En los caminos se desplazan los camiones llenos a una velocidad de 45mph cuando están cargados y a 55mph cuando no, mientras que, dentro de las plantas de procesamiento, por razones de seguridad, se desplazan a 10mph.
 - c. El costo de transportar un camión desde un aserradero hacia una planta de procesamiento es de 0,12 USD/ (tonelada milla). Se asumirá que el costo de regreso es despreciable.
 - d. La descarga de camiones en las papeleras se realiza con política FIFO.
 - e. Los aserraderos saben al inicio de la jornada laboral (cuando amanece) la cantidad máxima de camiones cargados que podrían enviar durante el día.
 - f. El aserradero tiene las cargas de madera ya disponibles para el envío cuando recibe los pedidos (sujeto a la disponibilidad de camiones y cantidad máxima que se puede enviar al día).
 - g. Los aserraderos envían los cargamentos desde el centro de sus instalaciones.



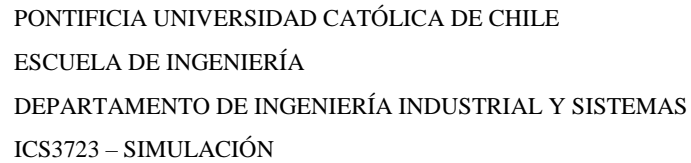
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
 ICS3723 – SIMULACIÓN

- h. Los aserraderos reforestan plantando un árbol en la misma ubicación donde talan.
- i. Se considerará que los aserraderos dejan días para el mantenimiento de los equipos y descanso de acuerdo a la Tabla 1.

Aserradero 1	Aserradero 2	Aserradero 3	Aserradero 4	Aserradero 5	Aserradero 6	Aserradero 7	Aserradero 8	Aserradero 9	Aserradero 10
Martes	Viernes	Sábado	Domingo	Miércoles	Martes	Martes	Domingo	Domingo	Domingo
	Domingo	Jueves	Miércoles		Jueves	Lunes	Lunes	Jueves	
Aserradero 11	Aserradero 12	Aserradero 13	Aserradero 14	Aserradero 15	Aserradero 16	Aserradero 17	Aserradero 18	Aserradero 19	Aserradero 20
Domingo	Viernes	Sábado	Miércoles	Sábado	Domingo	Martes	Domingo	Domingo	Domingo
	Sábado			Miércoles	Sábado		Jueves	Jueves	Miércoles
Aserradero 21	Aserradero 22	Aserradero 23	Aserradero 24	Aserradero 25	Aserradero 26	Aserradero 27	Aserradero 28	Aserradero 29	Aserradero 30
Domingo	Domingo	Miércoles	Martes	Martes	Domingo	Jueves	Jueves	Martes	Miércoles
Miércoles	Martes	Domingo	Domingo	Domingo		Domingo	Domingo		Jueves
Aserradero 31	Aserradero 32	Aserradero 33	Aserradero 34	Aserradero 35	Aserradero 36	Aserradero 37	Aserradero 38	Aserradero 39	Aserradero 40
Jueves	Viernes	Viernes	Domingo	Jueves	Lunes	Martes	Domingo	Domingo	Domingo
Sábado		Domingo			Jueves	Domingo	Lunes	Sábado	
Aserradero 41	Aserradero 42	Aserradero 43	Aserradero 44	Aserradero 45	Aserradero 46	Aserradero 47	Aserradero 48	Aserradero 49	Aserradero 50
Jueves	Lunes	Viernes	Lunes	Martes	Jueves	Sábado	Domingo	Miércoles	Jueves
	Martes			Miércoles	Miércoles		Miércoles	Jueves	Domingo
Aserradero 51	Aserradero 52	Aserradero 53	Aserradero 54	Aserradero 55	Aserradero 56	Aserradero 57	Aserradero 58	Aserradero 59	Aserradero 60
Lunes	Domingo	Lunes	Viernes	Domingo	Domingo	Miércoles	Domingo	Domingo	Miércoles
		Domingo		Martes	Lunes		Martes	Sábado	Domingo
Aserradero 61	Aserradero 62	Aserradero 63	Aserradero 64	Aserradero 65	Aserradero 66	Aserradero 67	Aserradero 68	Aserradero 69	Aserradero 70
Domingo	Domingo	Domingo	Lunes	Domingo	Domingo	Domingo	Lunes	Domingo	Domingo
Martes		Sábado		Miércoles	Lunes				
Aserradero 71	Aserradero 72	Aserradero 73	Aserradero 74	Aserradero 75	Aserradero 76	Aserradero 77	Aserradero 78	Aserradero 79	Aserradero 80
Martes	Jueves	Miércoles	Viernes	Sábado	Sábado	Domingo	Lunes	Lunes	Domingo
	Domingo	Domingo		Domingo	Viernes			Jueves	Martes
Aserradero 81	Aserradero 82	Aserradero 83	Aserradero 84	Aserradero 85	Aserradero 86	Aserradero 87	Aserradero 88	Aserradero 89	Aserradero 90
Sábado	Lunes	Domingo	Martes	Martes	Sábado	Domingo	Sábado	Lunes	Domingo
Viernes			Jueves	Domingo	Miércoles		Domingo	Domingo	
Aserradero 91	Aserradero 92	Aserradero 93	Aserradero 94	Aserradero 95	Aserradero 96	Aserradero 97	Aserradero 98	Aserradero 99	Aserradero 100
Miércoles	Domingo	Domingo	Lunes	Domingo	Martes	Domingo	Jueves	Sábado	Domingo
			Viernes		Viernes			Miércoles	

Tabla 1: días de reparación y descanso

- ii. Funcionamiento de las papeleras
- a. La forma de una papelería es de acuerdo a la Ilustración 1, donde se tienen las estaciones de pesaje en la vía de ida y la de vuelta, las grúas (móviles), el centro de acopio de madera (del tamaño de 4 campos de fútbol americano) y el edificio de procesamiento (*digester*) en la parte superior. Para efectos del modelo no se toma en cuenta la distancia extra del *digester*, solo está en la figura para poder explicar de mejor manera. Un camión recorre la planta desde la entrada hasta donde esté el primer



Este diagrama de flujo ilustra el proceso de manejo de residuos sólidos en la planta de Bogotá. El proceso comienza con la llegada de camiones cargados (ruta roja) a la zona de pesaje de entrada (BrightPesajeEntrada). Desde allí, los residuos son transportados (ruta roja) a la grúa (GruaBright) y luego (ruta amarilla) al depósito lleno (zona del depósito llena, representada por un círculo púrpura). Los residuos también pueden ser transportados directamente (ruta roja) al digestor (Digester). Los residuos vacíos (ruta azul) son transportados desde el depósito lleno al digestor y luego (ruta azul) a la zona de pesaje de salida (BrightPesajeSalida). Finalmente, los residuos son transportados (ruta azul) a la salida de la planta. El diagrama también muestra la ubicación de la casa de escala (Scale-house) y el digestor (Digester).

b. El camino que deben recorrer los camiones dentro de una planta depende del estado de saturación del depósito, donde recorren menos si está más lleno (ver Ilustración 1). El área del depósito corresponde al área de cuatro canchas de fútbol americano (distribuidas conforme a la Ilustración 1). Las dimensiones de una cancha de fútbol americano son 110 metros de largo por 50 metros de ancho.



- c. Las papeleras funcionan todo el tiempo (política 24/7).
 - d. Las papeleras saben su demanda al principio del día (00:00).
 - e. Las papeleras pueden solicitar camiones cargados a los aserraderos desde que sale el Sol hasta que este pone.
 - f. Las grúas se mantienen cada 250 horas de trabajo.
 - g. El tiempo de pesaje de los camiones salientes es de un minuto.
 - h. Una papelera define al principio del día cuántas cargas pedirá a cada aserradero de acuerdo al siguiente mecanismo:
 - i. Define cuántas cargas solicitará dividiendo su demanda en 30 toneladas (el valor esperado de la carga de cada camión).
 - ii. Divide la cantidad de cargas homogéneamente entre el total de aserraderos asignados (división entera). El resto de las cargas son pedidas a los aserraderos más cercanos de una en una (se pide una al más cercano, luego una al siguiente más cercano, y así sucesivamente hasta completar lo necesario). La justificación de esta política es no dar tanto poder de mercado al aserradero más cercano.
 - iii. Para realizar el proceso anterior no se consideran los aserraderos que no tienen madera o los que estén en día libre.
 - iv. Los aserraderos distribuyen sus envíos en la jornada laboral, de modo tal que el tiempo entre los envíos en un día dado es constante (por la magnitud de las distancias y que la jornada laboral de los aserraderos en horas de Sol no puede ocurrir que llegue un envío después de las 24:00).
- iii. *Stockouts*
- a. Ante un *stockout* se detiene la operación de los aserraderos hasta que el inventario esté nuevamente en al menos 1000 toneladas.
 - b. Si en algún momento del día en una papelera se tiene un *stock* de madera menor a 20.000 toneladas (riesgo de *stockout*) esta pedirá adicionalmente la cantidad máxima que los aserraderos pueden enviar en el resto del día (según nivel de cercanía), hasta completar (de ser posible) una demanda adicional de $20.000 - Q + R$, donde Q representa la cantidad de toneladas en el depósito y R es la cantidad de demanda del día que aún no ha llegado (para sobrepasar las 20.000 y no se quede en riesgo de que ocurra la situación nuevamente).
- iv. Distribución espacial de las instalaciones



- a. La distribución espacial de los aserraderos y las plantas es de acuerdo a una grilla cuadrada de 11 por 11, donde cada lado mide 110 millas, en ella se ubican los molinos en las posiciones centrales y en cada una de las casillas restantes un aserradero, quedando 7 desocupadas (ver Ilustración 2).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35		36		37	38	39	40
41	42	43	KOALA		PAPERTECH			44	45	46
47	48	49					51	52	53	54
55	56	57		BRIGHT			59	60	61	62
63	64	65	66	67		68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
	84	85	86	87	88	89	90	91	92	
		93	94	95	96	97	98	99	100	
				KOALA PAPER						
				PAPERTECH						
				BRIGHT						
				NO WOOD						

Ilustración 2: distribución espacial de los aserraderos y las papeleras, indexados por los números de 1 a 100

- b. La forma de funcionamiento inicial (*basemodel*), es decir, la asignación entre aserraderos y plantas, es la que indica la Ilustración 2 (se hizo al azar con un código programado en Python¹).

¹ Lo que hace el código es generar una lista en que se mantienen las proporciones deseadas y luego reordenarlas aleatoriamente para hacer la asignación a las papeleras, para más detalle vea el anexo disponible al final del documento.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
 ICS3723 – SIMULACIÓN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35		36		37	38	39	40
41	42	43		KOALA		PAPERTECH		44	45	46
47	48	49	50				51	52	53	54
55	56	57	58		BRIGHT		59	60	61	62
63	64	65	66	67		68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
	84	85	86	87	88	89	90	91	92	
		93	94	95	96	97	98	99	100	
		KOALA PAPER								
		PAPERTECH								
		BRIGHT								
		NO WOOD								

Ilustración 3: asignación aserraderos-plantas

- c. Para que los camiones viajen desde un aserradero a una planta respectiva se considerarán caminos cada 2 filas de la grilla, con una circunvalación en el centro, como se muestra en la Ilustración 3. Así, cada aserradero enviará sus camiones por la carretera que pasa por su costado.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35		36		37	38	39	40
41	42	43		KOALA		PAPERTECH		44	45	46
47	48	49	50				51	52	53	54
55	56	57	58		BRIGHT		59	60	61	62
63	64	65	66	67		68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
	84	85	86	87	88	89	90	91	92	
		93	94	95	96	97	98	99	100	
				KOALA PAPER						
				PAPERTECH						
				BRIGHT						
				NO WOOD						

Ilustración 4: distribución espacial de los caminos (en rojo)



2.5. Límites del modelo

La representación del funcionamiento original de la industria es limitada, pues se consideró, por la falta de organización colectiva, una distribución definida al azar entre los aserraderos y las plantas.

El modelo no considera fluctuación en los tiempos de trabajo de los aserraderos.

No considera eventuales variaciones de precio.

Se estima total fidelidad de los aserraderos con las asignaciones.

2.6. Supuestos

- i. Papeleras
 - a. Para obtener el costo Inventario, se tomará la cantidad de madera en el inventario (toneladas de madera) a las 23:59 de cada día, se multiplicará por US\$50/tonelada luego este valor será multiplicado por la tasa de WACC dividida por 365. De esta manera obtendremos el costo diario de inventario.
 - b. El tiempo que tome la circulación de un camión dentro de una papelera será proporcional a la distancia a recorrer (considerando la velocidad de 10mph) y a la saturación del centro de acopio de la planta. Es decir, si en el molino hay mucho inventario el camión deberá descargar en la entrada de la zona de depósito.
 - c. La interpretación que se hará de la descripción del tiempo de pesaje que entrega el enunciado será mediante una distribución triangular de parámetros (2,2,7).
 - d. El tiempo de descarga de un camión se comporta como una variable aleatoria normal de media 10 minutos y desviación estándar 2.
 - e. El tiempo de mantención de las grúas, en base a lo descrito en el enunciado, se comporta de acuerdo a una distribución triangular de parámetros (1,1,5).
- i. Aserraderos
 - a. No hay fallas en el funcionamiento de los camiones ni en la operación de los aserraderos.
 - b. La cantidad máxima de camiones que puede salir en un día de un aserradero es determinada por la temporada, conforme a la Tabla 2.



Cargas por día	Meses
UniformeDiscreta(6,8)	Enero a marzo
95%UniformeDiscreta(3,5) 5% nada	Abril a mayo
UniformeDiscreta(5,7)	Otros meses

Tabla 2: distribución de camiones que salen de un aserradero

- c. Se considera que los días de no producción producto del clima son comunes a todos los aserraderos, pues enfrentan las mismas condiciones climáticas.
- d. Se considerará que el peso de un camión luego de ser cargado se comporta como una variable triangular de parámetros (25,30,35).
- e. El costo de regreso de los camiones es despreciable, por lo que se considera solo el costo de ida.

ii. Bosques de la región

- a. Se asume que el árbol talado en la región es *Pupulus tremuloides* (álamo temblón), esto pues es la principal especie usada para la producción papelera (Confederation of Paper Industries, 2008) disponible en Minnesota (Forest Service, 2008).
- b. Los bosques producen 35 toneladas/acre anualmente de materia procesable (Forest Service, 2008).
- c. Los árboles en las instalaciones de los aserraderos tienen entre 0 y 55 años (vamos a asumir que los árboles más viejos ya fueron contados) y se pueden cortar desde los 40 años (Kidd,1998).
- d. Si se tiene que las papeleras consumen 60.000 toneladas al año no habrá problemas, pues se tienen aproximadamente 40.000 toneladas de árboles de cada edad, por lo tanto, en los dos años de simulación se tiene que la tasa de crecimiento será mayor a la tasa de tala.



2.7. Variables aleatorias de **INPUT** y de **OUTPUT**

- I. Variables aleatorias de INPUT
 - a. Consumo diario de madera en Koala Paper: Normal(4000,200).
 - b. Consumo diario de madera en Bright: Normal(4000,100).
 - c. Consumo diario de madera PaperTech: Triangular(4500, 5000, 5500).
 - d. Tiempos de pesaje en cada papelera: Triangular(2,2,7).
 - e. Tiempo de descarga de los camiones: Normal(10,2).
 - f. Tiempo de mantención de las grúas: Triangular(1,1,5).
 - g. Cantidad máxima de camiones que sale en un día de un aserradero es determinada por la temporada, conforme a la Tabla 2.
 - h. Peso de los camiones luego de ser cargados: Triangular(25,30,35).
- II. Variables aleatorias de OUTPUT
 - a. Costo por *stockout*.
 - b. Costo por viajes.
 - c. Inventario promedio.
 - d. Costo en inventario.
 - e. Días perdidos por mal tiempo.
 - f. Cantidad de ocurrencias de *stockout*.
 - g. Máximo de madera cortada en un territorio.
 - h. Promedio de madera cortada por aserradero.
 - i. Cantidad de reparaciones de las grúas.
 - j. Días no trabajados producto de los *stockout*.

2.8. Eventos

Los eventos asociados a la entidad camión que producen cambios en el sistema y que serán simulados por el modelo son, en orden lógico, los siguientes:

- i. Un camión sale de su aserradero en dirección a la planta asignada.
- ii. Un camión llega al *scale-house* para el pesaje y papeleo de entrada.
- iii. Un camión sale del *scale-house* en dirección al depósito de madera.
- iv. Un camión llega al punto de descarga pertinente.
- v. Un camión sale de un punto de descarga.
- vi. Un camión llega nuevamente al *scale-house* para el re-pesaje de salida.
- vii. Un camión sale del *scale-house* en dirección a su aserradero.



Por otra parte, existen eventos asociados a las operaciones de planta, estos son:

- i. Una grúa de descarga necesita mantenimiento.
- ii. Ocurre un *stockout* que detiene las operaciones del molino hasta que el inventario llegue a 1.000.
- iii. El inventario baja de 20.000 y se asume una multa de \$1M.

2.9. Aspectos a estudiar (medidas de desempeño)

- i. Costo de transporte total en el sistema.
- ii. Inventario Promedio en cada planta.
- iii. Costo total de inventario.
- iv. Gasto por penalización por bajo inventario.
- v. Cuántos días se perdieron debido al mal tiempo.
- vi. ¿Cuántos *stockouts* ocurrieron?
- vii. Cantidad máxima de madera talada en los territorios.
- viii. Cantidad promedio de madera cortada por aserradero.
- ix. Tiempo de espera promedio de cada *scalehouse* para camiones que llegan.
- x. Cuántas reparaciones de grúas ocurrieron en el año.
- xi. Días perdidos de producción en cada molino debido a *stockouts*.

3. Modelo computacional

3.1. Descripción general

Tal como se planificó el modelo conceptual (ver Ilustración 4) se construyó una grilla en un modelo SIMIO, manteniendo las proporciones que se definieron, ubicando las papeleras en el centro, los aserraderos en sus respectivas casillas y los caminos en las posiciones establecidas. Como se explicará con más detalle más adelante en los respectivos apartados, para modelar estos objetos se usaron *paths*, *servers* y subclases. Puede ver la Ilustración 5 para hacerse una primera idea general de cómo se usaron estos objetos de SIMIO y cómo interactúan entre sí (se explicará con más profundidad más adelante).

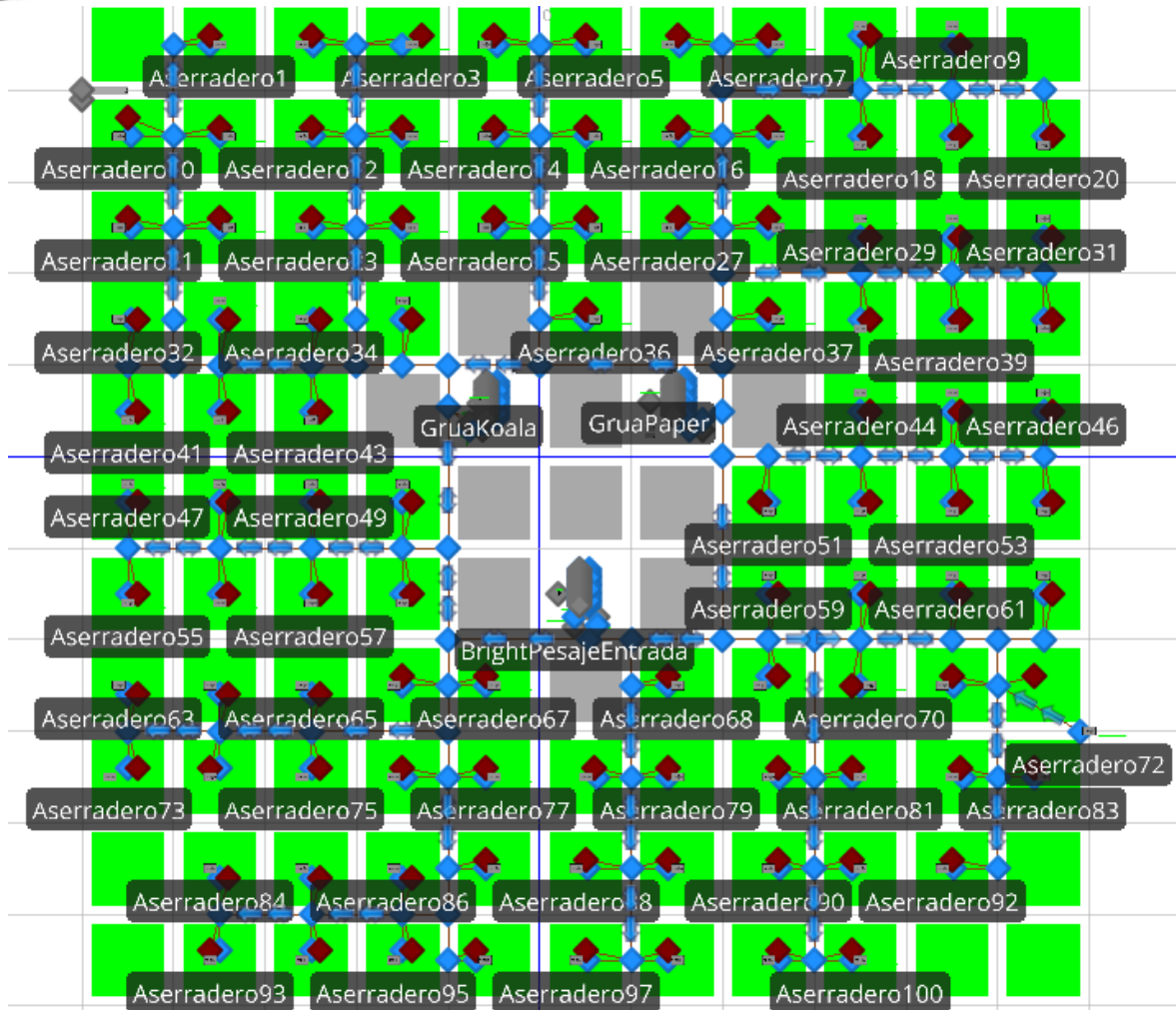


Ilustración 5: vista general del entorno gráfico de la simulación

3.2. Contexto

Conforme a la realidad del clima del *midwest* la cantidad de camiones cargados máxima que puede enviar un aserradero en un día viene limitada por las condiciones climáticas de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 2. Para modelar esta situación se construyó un proceso que primero genera un vector con los días no trabajables (con las probabilidades indicadas en la Tabla 2), luego, otro proceso que genera el máximo de cargas que puede enviar en un día un aserradero, el que asigna cero automáticamente si el proceso anterior indica que no se puede trabajar ese día y si



no es así, genera dicha cantidad conforme a las distribuciones indicadas en la Tabla 2. Finalmente, se creó un tercer proceso que llama al anterior 100 veces, de modo tal que da lugar a una matriz que tiene la cantidad máxima de cargas diarias que puede enviar cada uno de los aserraderos.

3.3. Caminos

Todos los caminos de ida y vuelta se representaron con *Paths* unidireccionales dibujados a escala, donde 1 metro en el modelo equivale a 1 milla de la realidad. Dichos caminos son unidos por *TransferNodes*. La grilla que se representó para esto es la de la Ilustración 4, obteniéndose como resultado los caminos apreciables en la Ilustración 5.

3.4. Madera

En nuestro modelo la madera no es una entidad, sino un atributo del inventario de cada aserradero (una variable de estado de cada aserradero que tiene una capacidad máxima, de acuerdo a lo que se indicó en el punto 2.3 del informe) y de los camiones. Cuando un camión es cargado en un aserradero (ver el apartado Aserraderos para más detalle del proceso) se le aumenta su variable peso, la que indica la madera que este posee, mientras que cuando un camión es descargado (ver apartado Papeleras para más detalle del proceso) se le disminuye dicha variable y se aumenta la variable de inventario de la correspondiente papelera, lo que indica que aumentó el *stock* de madera de esta. Finalmente, cuando la madera es procesada por el *digestor* de una papelera, se disminuye la variable de inventario, lo que indica que se consumió la madera (ver apartado papeleras para más detalle).

3.5. Aserraderos

El aserradero es el lugar donde se extrae la madera para ser llevada a las papeleras. Estos aserraderos están representados por una subclase de *Source* (ver Ilustración 6) que mediante procesos crea y destruye entidades, según la cantidad que la papelera respectiva le haya solicitado (ver apartado Demanda para más detalle) y respetando el tope diario y su cantidad máxima de camiones (ver apartado Contexto para más detalle).

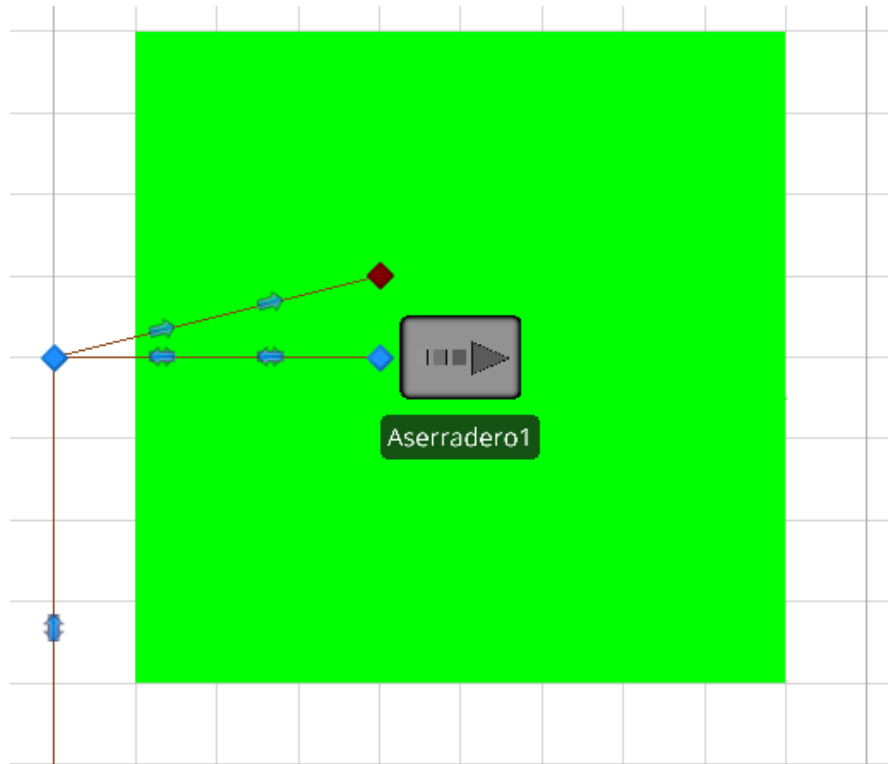


Ilustración 6: vista de un aserradero en la simulación

Un proceso importante que se realiza en los aserraderos es el de carga de camiones, el que se ejecuta cuando se crea una entidad. Este proceso asigna a la variable peso de la entidad (camión) una cantidad que corresponde a una instancia de una distribución Triangular(25,30,35).

Otra actividad relevante que se ejecuta es el de direccionamiento al *scalehouse* que corresponde a la papelera donde hay que llevar la madera, lo que se hace estableciendo como nodo de destino (del nodo de *Output* del aserradero) el nodo de *Input* del *scalehouse*.

También, una vez que los camiones regresan descargados, son “destruidos” (como entidad del sistema) mediante un proceso que se ejecuta en el “nodo de salida” del aserradero (nodo rojo en la Ilustración 6), el que ejecuta un proceso que destruye a las entidades cuando llegan.



3.6. Papeleras

Procesan la madera que piden a los aserraderos, para lo que poseen un sistema de pesaje de camiones, un centro de acopio y grúas para mover la madera de los camiones (ver Ilustración 7 para una idea sobre cómo se modela la situación).

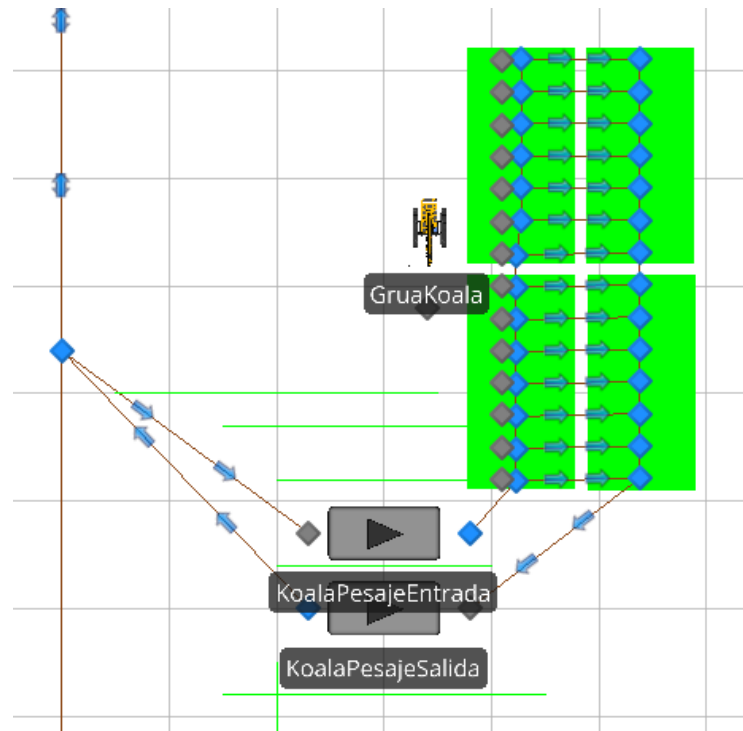


Ilustración 7: vista de una papelería en la simulación

En primer lugar, para modelar cada *scalehouse* (donde se ejecuta el proceso de pesaje) se utilizaron dos *servers* (ver Ilustración 7), uno en donde se hace el pesaje de entrada y uno donde se hace el pesaje de salida. En el pesaje de entrada se procesa con un tiempo que corresponde a una instancia de una variable Triangular(2,2,7), mientras que el proceso del pesaje de salida tiene un tiempo de un minuto.

Un aspecto sumamente relevante es el *routing* de los camiones que llegan para que estos puedan dejar la madera en el lugar del depósito que corresponde. Esto se hace mediante, en prime lugar, un proceso en el nodo de entrada del *server* donde se hace el pesaje de entrada. Allí se establece mediante un proceso el “peso” de algunos de los caminos en cero, conforme al nivel de inventario, de modo tal que



el camión es direccionado al lugar donde debe depositar la madera (mientras menor sea el inventario el camión deberá recorrer una mayor distancia en la zona de descarga, esto debido a que suponemos que el *digestor* está al final de dicha zona). En segundo lugar, en el nodo de salida de dicho *server* se cambia la velocidad de los camiones a 10mph, de modo que cumpla la normativa de seguridad. En tercer lugar, una vez que se llega al lugar donde se debe depositar la madera (representados por la columna izquierda de nodos celestes sobre el fondo verde en la Ilustración 7) se ejecuta un proceso que llama a una de las grúas (en el próximo párrafo se hablará de ellas con más detalle), se espera su llegada, se realiza la descarga del camión (poniendo su peso en cero y subiendo en inventario de la papeleras en la cantidad que tenía el camión), la que toma un tiempo que corresponde a una instancia de una variable Normal(10,2), paralelamente se actualiza una de las variables de estado (costo de transporte), sumándole el costo de haber traído el camión, el que se calcula como multiplicando el valor de costo por tonelada milla por la distancia recorrida por el camión. Una vez que el camión es descargado es dirigido al nodo de *input* del *server* que representa al pesaje de salida, allí, como el camión, allí es pesado nuevamente (lo que toma un minuto). En el nodo de salida de dicho *server* se direccionan los camiones “al nodo de salida” (estableciendo como nodo de destino el *HomeNode* de la entidad) del aserradero de donde vienen, donde son “destruidos” (ver el apartado Aserraderos para más detalle de este proceso).

Otro aspecto importante tiene relación con las grúas que utilizan las papeleras para vaciar los camiones, estas son seis y fueron modeladas mediante el objeto *vehicle* de SIMIO, donde se estableció la cantidad inicial de seis, su velocidad de movimiento (la que indica el enunciado), sus tiempos de falla técnica (cada 250 horas de trabajo) y los tiempos de reparación (Triangular(1,1,5)).

Debe mencionarse también que, como se trata de papeleras, hay consumo de madera, el que se modeló mediante dos *timers*, uno con un periodo de 24 horas que todos los días a las 00:00 instancia el consumo del día y otro con un periodo de 30 minutos que disminuye el inventario en 1/48 del consumo del día (a no ser que deje el inventario en 0). Debe indicarse también que el *timer* de 24 horas también actualiza el costo de inventario, multiplicando el costo por tonelada diario por la cantidad de toneladas de madera que hay en el inventario y sumando esta cantidad a una variable que almacena el costo acumulado de inventario.



Dada la complejidad del proceso de generación de demanda por parte de los aserraderos, esta será tratada en detalle en su propio apartado (3.7).

3.7. Camiones

Fueron modelados como *ModelEntity*. Como deben partir de los aserraderos y volver a ellos ingresan al sistema a través de *servers* en la ubicación de los aserraderos. Para administrar la madera que transporta cada uno, mediante la herramienta *States* en *ModelEntity*, se generó la variable “peso”, la que representa la cantidad de madera que tiene el camión (no nos interesa el peso del camión en sí, por lo que solo nos referimos a la madera). Como inicialmente se usan los caminos convencionales con el camión cargado se establece su velocidad inicial en 45mph.

En su trayecto los camiones son cargados en los aserraderos y dirigidos al *scalehouse* de la papelera que les corresponde (ver el apartado Aserraderos para más detalle), luego allí se les aplican los procesos de pesaje, se les indica dónde depositar la madera y se les redirige de vuelta a un nodo en sus aserraderos (ver apartado Papeleras para más detalle). Finalmente, allí son destruidos mediante un *process* (ver el apartado Aserraderos para más detalle).

Para evitar que en el sistema haya más camiones que los que realmente tiene un aserradero en el proceso de generación de entidades se puso una restricción que indica que no puede haber más camiones trabajando simultáneamente que los camiones que tiene el aserradero (ver apartado de Demanda para más detalles).

3.8. Demanda

Para generar la demanda se considera el valor del consumo diario (explicado en el punto 3.6). Esta es satisfecha (idealmente) mediante la generación de entidades (camiones cargados) en los *source* que representan a los aserraderos. La cantidad de entidades que se debe generar en un aserradero en un día para una papelera viene dada por el siguiente proceso desencadenado por un *timer* cuyo periodo es de 24 horas. Se obtiene la parte entera de la división de la demanda diaria por 30 (esperanza del peso de un camión), esto da el número de cargas necesarias en un día. Luego se obtiene la parte entera de la división de dicho valor por el número de aserraderos asociados a la papelera. Esto es, en principio, el número de entidades



que debe generar en cada aserradero, no obstante, como queda parte de la demanda no satisfecha, se añade, según nivel de cercanía, una carga a cada aserradero hasta que se supere la demanda diaria (para el algoritmo se respetan los límites de producción diarios de cada aserradero según el clima, los días de descanso y la cantidad de camiones que tiene cada aserradero, distribuyendo entre el resto lo que no puedan satisfacer, no considerando más en el algoritmo a los que no puedan aportar más, de modo que no se les asignen más cargas).

Con este número para cada aserradero, el proceso desencadena un *timer* que se inicia cuando sale el Sol y se detiene cuando este se pone (se construyó una tabla con la hora de salida y puesta del Sol conforme al año 2016 según el sitio web www.tutiempo.net/calendario-solar/) y cuyo periodo es dado por el número de horas de Sol del día dividido por el número de cargas necesarias menos 1. Este *timer* desencadena la generación de una entidad. De modo que con la generación de estas se satisface la demanda de las papeleras.

3.9. Stockouts

Un *stockout* ocurre cuando el inventario llega a cero. Mediante un proceso desencadenado por un *monitor* del inventario (que revisa cuando este cruza el cero) se desactiva el consumo del *digester* de la respectiva papelería y se disminuye en una unidad el divisor de la demanda (en el proceso descrito para la generación de la demanda descrito en el punto 3.8), valor utilizado para calcular la cantidad de camiones cargados a solicitar en el día. Luego el proceso espera hasta que el inventario llegue a mil toneladas para reactivar el *digester*.

También mediante monitores, cuando el inventario baja de las 20.000 toneladas se aplica una multa de un millón de dólares, lo que es modelado mediante una variable de estado que parte en cero y aumenta en dicha cantidad cuando se produce la condición de multa.

4. Resultados de la simulación

4.1. Costo de transporte

4.2. Inventario promedio

4.3. Costo total de inventario

4.4. Gastos por penalización debido a inventario bajo

4.5. Días perdidos respecto al mal tiempo

4.6. Número de *stockouts*

4.7. Cantidad máxima de madera talada en los territorios



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS3723 – SIMULACIÓN

4.8. Cantidad promedio de madera cortada por aserradero

4.9. Tiempo de espera promedio en cada *scalehouse*

4.10. Cantidad de reparaciones de grúa en cada año

4.11. Días de producción perdidos debido a *stockouts*

5. Conclusión

5.1. Razonabilidad del modelo conceptual y computacional

5.2. Principales resultados

5.3. Posibles nuevas políticas de operación

6. Bibliografía

7. Anexos