



Pulp and Paper Business Logistics

Entrega 3: modelo conceptual, computacional y mejorado

Alumnos:

Ignacio Acevedo
Ignacio Barría
Daniel Carrasco
Kevin Johnson

Fecha Entrega: 28 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 del modelo base y del modelo mejorado.

En primer lugar, respecto a las bases conceptuales, 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 del caso base 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, se indica conceptualmente la política de operación mejorada que se ha desarrollado, la que, mediante la operación coordinada de los entes de la industria, pretende disminuir los costos de operación.

En cuarto lugar, se indica cómo se realizó la modelación en SIMIO del caso inicial con las políticas de operación mejoradas, mostrándose la implementación de los aspectos modificados.

Finalmente, con el modelo computacional base y el mejorado ya ejecutados se extrajeron los resultados, donde se muestra analíticamente evidencia estadística de que mejora la situación de la industria forestal al implementar nuestras sugerencias.



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

Índice

1. Introducción
2. Modelo conceptual
 - 2.1. Contextualización
 - 2.2. Entidades que fluyen por el sistema
 - 2.3. Recursos y capacidades
 - 2.4. Política de operación
 - 2.5. Límites del modelo
 - 2.6. Supuestos
 - 2.7. Variables aleatorias de INPUT y de OUTPUT
 - 2.8. Eventos
 - 2.9. Aspectos a estudiar
3. Modelo computacional base
 - 3.1. Descripción general
 - 3.2. Contexto
 - 3.3. Caminos
 - 3.4. Madera
 - 3.5. Aserraderos
 - 3.6. Papeleras
 - 3.7. Camiones
 - 3.8. Demanda



3.9. Stock outs

4. Política de operación mejorada

4.1. Reducción de costos de almacenamiento

4.2. Reducción de costos de transporte

4.3. Prevención de stockouts

5. Resultados estimados

5.1. Estimación de costos de transporte

5.2. Estimación de costos de inventario

5.3. Estimación cantidad de madera cortada por aserradero

6. Resultado comparativo de la simulación

6.1. Costo de transporte

6.2. Inventario promedio

6.3. Costo total de inventario

6.4. Gastos por penalización debido a inventario bajo

6.5. Días perdidos respecto al mal tiempo

6.6. Número de stockouts

6.7. Cantidad máxima de madera talada en los territorios

6.8. Cantidad promedio de madera cortada por aserradero

6.9. Tiempo de espera promedio en cada scalehouse

6.10. Cantidad de reparaciones de grúa en cada año

6.11. Días de producción perdidos debido a stockouts



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

7. Conclusión

7.1. Razonabilidad del modelo conceptual y computacional

7.2. Principales resultados

7.3. Evaluación de la nueva política logística

8. Bibliografía

9. Anexos



Índice de ilustraciones

Ilustración 1: vista de una planta de procesamiento

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

Ilustración 3: asignación aserraderos-plantas

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

Ilustración 5: vista general del entorno gráfico de la simulación

Ilustración 6: vista de un aserradero en la simulación

Ilustración 7: vista de una papelería en la simulación

Ilustración 8: modelo de optimización para asignar los aserraderos a las papeleras

Ilustración 9: Ejemplo de viaje al molino (70 millas) desde un aserradero.

Ilustración 10: Costo inventario Enero-marzo

Ilustración 11: Costo inventario Abril-Mayo

Ilustración 12: Costo inventario Junio-Diciembre

Ilustración 13: Costo inventario total



Índice de tablas

Tabla 1: días de reparación y descanso

Tabla 2: distribución de camiones que salen de un aserradero

Tabla 3: resultados de las réplicas para la simulación en costo total de transporte

Tabla 4: resultados de las réplicas para la simulación en inventario promedio en Koala

Tabla 5: resultados de las réplicas para la simulación en inventario promedio en PaperTech

Tabla 6: resultados de las réplicas para la simulación en inventario promedio en Bright

Tabla 7: resultados de las réplicas para la simulación en costo total de inventario

Tabla 8: resultados de las réplicas para la simulación en gasto en multas por inventario bajo en Koala

Tabla 9: resultados de las réplicas para la simulación en gasto en multas por inventario bajo en PaperTech

Tabla 10: resultados de las réplicas para la simulación en gasto en multas por inventario bajo para Bright



Tabla 11: resultados de las réplicas para la simulación en días perdidos por mal tiempo

Tabla 12: resultados de las réplicas para la simulación en número de stockouts

Tabla 13: resultados de las réplicas para la simulación en cantidad máxima de madera talada en los territorios

Tabla 14: resultados de las réplicas para la simulación en cantidad promedio talada en los aserraderos

Tabla 15: resultados de las réplicas para la simulación en tiempo de espera promedio en scalehouse de entrada de Koala

Tabla 16: resultados de las réplicas para la simulación en tiempo de espera promedio en scalehouse de entrada de PaperTech

Tabla 17: resultados de las réplicas para la simulación en tiempo de espera promedio en scalehouse de entrada de Bright

Tabla 18: resultados de las réplicas para la simulación en número de reparaciones de grúa

Tabla 19: resultados de las réplicas para la simulación en días de producción perdidos por stockout en Koala

Tabla 20: resultados de las réplicas para la simulación en días de producción perdidos por stockout en PaperTech



Tabla 21: resultados de las réplicas para la simulación en días de producción perdidos por stockout en Bright

Tabla 22: principales resultados

Anexos

Anexo 1: Código en Python para elegir al azar 1 o 2 días libres para cada aserradero (L.O.)

Anexo 2: Archivo de texto generado por el código del anexo 1

Anexo 3: Código en Python para asignar a cada aserradero un molino al azar

Anexo 4: Archivo de texto generado por el código de la figura 6

Anexo 5: cantidad de camiones que tiene cada aserradero

Anexo 6: proceso de creación de camiones y carga

Anexo 7: proceso de gestión de stockouts

Anexo 8: proceso de gestión de demanda

Anexo 9: generación de tasas medias diarias de camiones cargados a pedir por cada papelerera

Anexo 10: resultado de la generación de tasas medias diarias de camiones cargados a pedir por cada papelerera (se muestra una simulación)

Anexo 11: tasas diarias de camiones cargados promedio pedidos por cada aserradero (extracto)

Anexo 12: detalle del modelo en AMPL



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 (con un horizonte de simulación de dos años) 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.
6. Cantidad de camiones de cada aserradero: entre 4 y 6 (ver anexo 5 para más detalle).

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.



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

- 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.
- 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 papeleras 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 espacio desocupado (respecto al *digester*), lugar donde espera que una grúa lo descargue, para luego cruzar y dirigirse por la vía de retorno hasta la salida (para más claridad verla Ilustración 1).

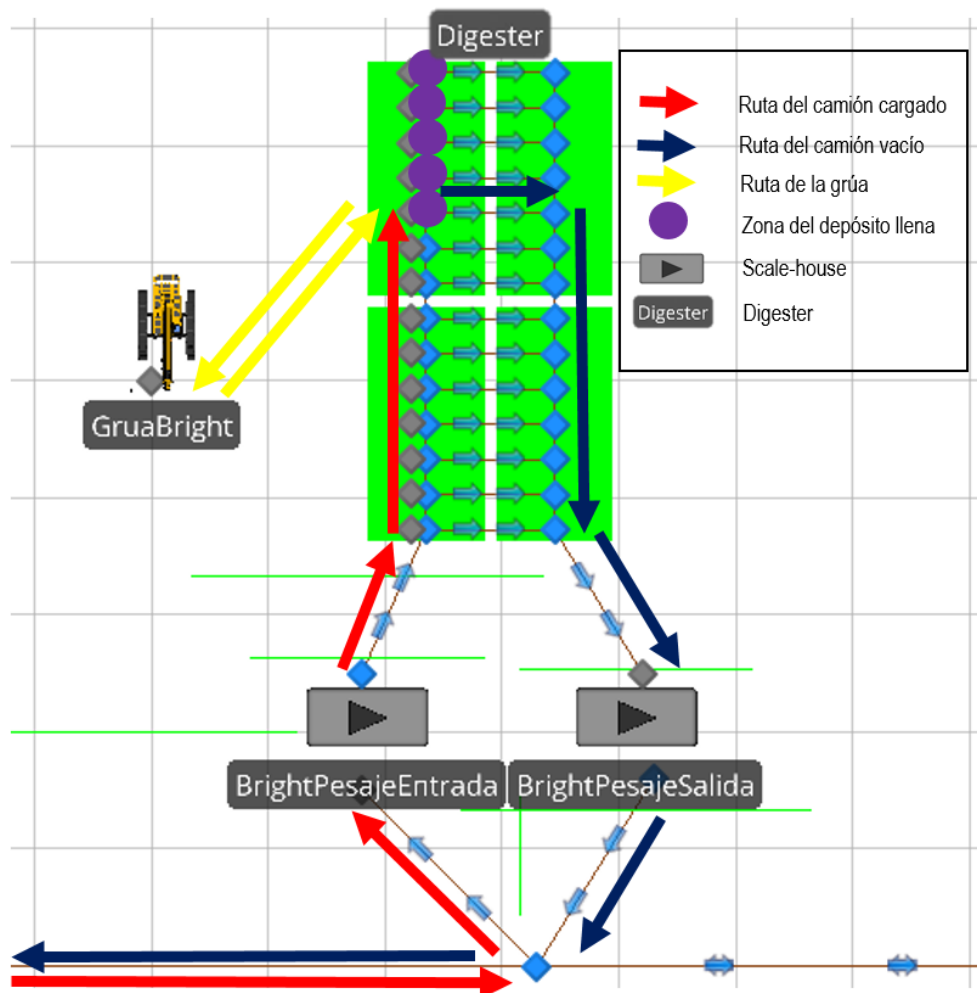


Ilustración 1: vista de una planta de procesamiento



- 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. *Stock-outs*
- 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	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 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 40 (distribución uniforme) años y se cortan solo estos últimos (Kidd,1998).
- d. Si se tiene que las papeleras consumen 60.000 toneladas al año no habrá problemas, pues se tienen aproximadamente 50.000 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.
- e. Los aserraderos plantan un árbol por cada árbol que cortan, de esta manera mantienen la tasa de regeneración en uno.



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 base

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).

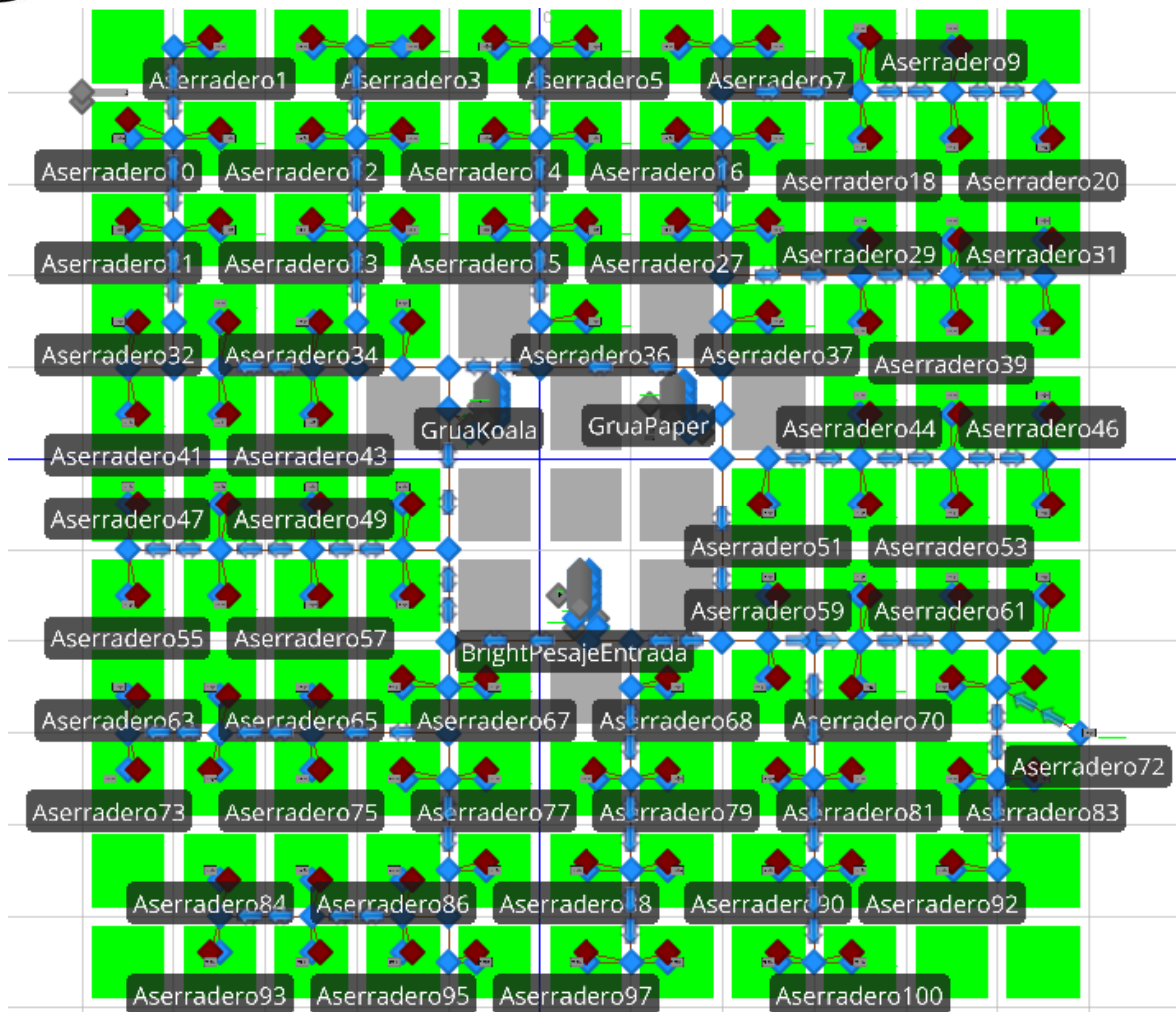


Ilustración 5: vista general del entorno gráfico de la simulación

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 papeleras, lo que indica que aumentó el *stock* de madera de esta. Finalmente, cuando la madera es procesada por el *digester* de una papeleras, 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 papeleras 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).

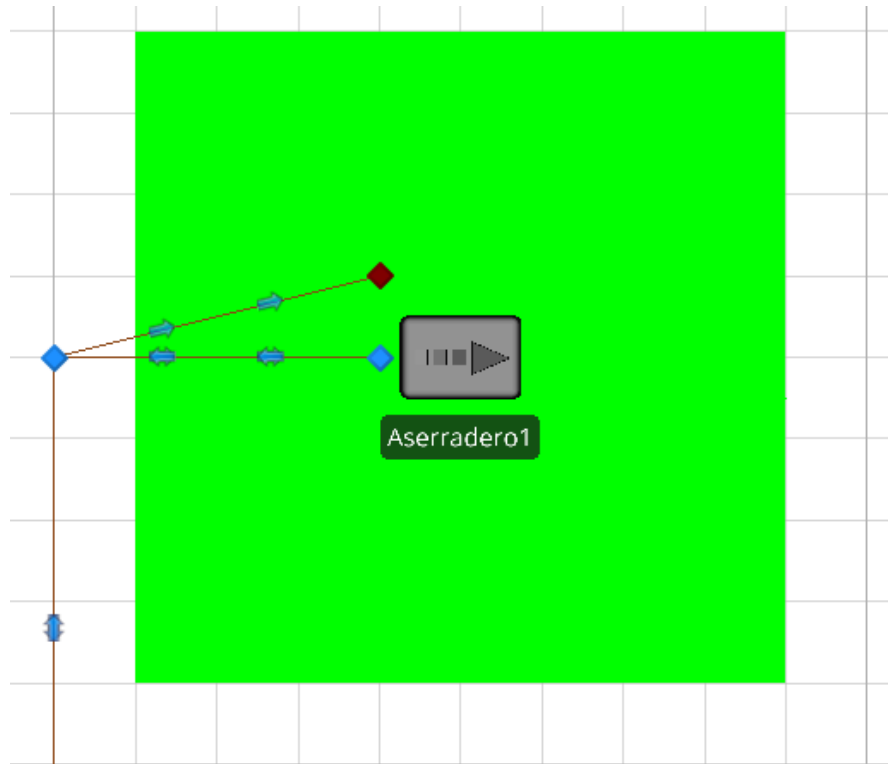


Ilustración 6: vista de un aserradero en la simulación

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).

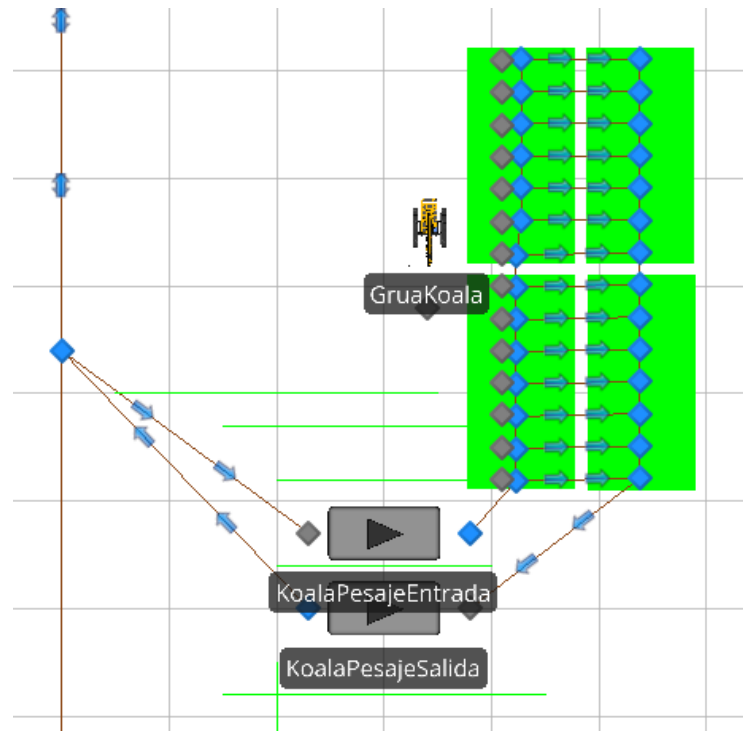


Ilustración 7: vista de una papelera en la simulación

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 primer 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 (ver Anexo 6 para conocer el detalle computacional del proceso de creación y de carga). 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.

Para más detalle ver Anexo 8, donde se presenta el proceso computacional.

3.9. Stockouts

Un *stockout* ocurre cuando el inventario llega a cero (ver Anexo 7 para detalle computacional del proceso de gestión de *stockouts*). 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. Política de operación mejorada

4.1.Reducción de costos de almacenamiento

En base a lo observado en la simulación del caso base (para más detalles ver punto 6 sobre resultados) se determinó que, como se esperaba, lo más lógico era mantener el inventario bajo, cerca del umbral de multa (20.000 toneladas), no obstante, dado el riesgo de *stock-outs*, en los días más críticos para la compra de madera (días domingo y días de abril y mayo) se debe tener un inventario más alto que evite la detención de la producción.

Con esto en mente, se modificó la forma de operación inicial y se determinó (mediante un programa en Python²) la tasa media de número de camiones cargados que pide cada papelera a sus aserraderos, de modo que se mantenga un inventario cercano al umbral de multa, pero a la vez se prevenga el *stock-out* en los períodos críticos (con tasas más altas). Obteniéndose resultados de los que se adjunta en el Anexo 11 un extracto (por la cantidad de datos no se adjuntan todos).

Como se obtuvo tasas no enteras se construyó un proceso en Simio, el cual determina qué aserraderos deben enviar la parte entera de la tasa, y qué aserraderos deben enviar esta cantidad más uno, de modo que se mantenga el promedio deseado. Esta asignación se hace entregando a los que tienen más disponibilidad de camiones máximos ese día la parte entera más uno. En caso de que no se pueda lograr hacer esta asignación por los límites diarios de los aserraderos, se asignan el restante a los que tienen más disponibilidad de camiones máximos ese día, hasta lograr lo pedido (de ser posible).

Como consecuencia de la prevención de *stock-outs* que tiene intrínsecamente incorporada esta política (por la acumulación de madera antes de los periodos críticos), se reducen los *stockouts* respecto al caso base (ver apartado de Resultados para más detalle).

4.2.Reducción de costos de transporte

Para comenzar, la cantidad de aserraderos asignados a cada papelera se determinó de modo tal que la proporción entre dichas cantidades sea igual a la

² Lo que hace el código es evaluar sucesivamente tasas medias diarias y analizar los inventarios que estos provocan (por hora). Iterativamente se actualizaron dichas tasas hasta lograr un inventario medio de 25.000 (aproximadamente). Para más detalle de esta implementación ver el Anexo 9 y 10 con el código y los resultados.



proporción entre los consumos promedios diarios de cada papeleras. Como dicha proporción entrega cantidades no entera, se ajustaron a números enteros conforme a la variabilidad del consumo (de acuerdo a la distribución que tenemos del enunciado), completando la parte entera del que tiene más variabilidad, obteniéndose 31 aserraderos asignados a Koala, 30 a Bright y 39 a PaperTech.

Como es lógico, la política más simple y eficiente para reducir costos de transporte es minimizar las distancias recorridas por los camiones. Para realizar esto se asignaron los aserraderos a las papeleras, usando como criterio la minimización de la suma de las distancias entre los aserraderos y su respectiva papeleras (con la restricción de que todos tengan asignado una y solo una papeleras, y que la suma de aserraderos asignados a una papeleras sea consistente con las cantidades del párrafo anterior). Para esto se construyó el siguiente modelo de optimización, el que se ejecutó y resolvió en AMPL (ver anexo 12 con el detalle).

x_{ij} = aserradero i asignado al molino j .

d_{ij} = distancia desde el aserradero i al molino j .

$$\begin{aligned}
 \text{F.O} \quad & \min \sum_{i=1}^{100} \sum_{j=1}^3 x_{ij} d_{ij} \\
 & \sum_{i=1}^{100} x_{i1} = 30 \\
 & \sum_{i=1}^{100} x_{i2} = 31 \\
 & \sum_{i=1}^{100} x_{i3} = 39 \\
 & \sum_{j=1}^3 x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, 100 \\
 & x_{ij} \in (0, 1)
 \end{aligned}$$

Ilustración 8: modelo de optimización para asignar los aserraderos a las papeleras



4.2.1 Asignación optimizada de aserraderos

	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Bright
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	KoalaPaper
32	33	34	35		36		37	38	39	40	PaperTech
41	42	43		K		P		44	45	46	
47	48	49	50				51	52	53	54	
55	56	57	58		B		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		

Ilustración 9: Asignación optimizada con AMPL entre aserraderos y molinos.

1. Resultados estimados

1.1. Estimación costo total de Transporte:

Para calcular la distancia recorrida por camión promedio asumiremos una distribución espacial de la siguiente forma:

	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	

Ilustración 10: Ejemplo de viaje al molino (70 millas) desde un aserradero.

Nuestro supuesto de viaje es que los camiones se desplazaran por carreteras verticales y horizontales. De este modo no existen los viajes diagonales. Así, se calcularan las distancias promedio vertical y horizontal, tomando en cuenta la ilustración de todos los viajes:

$$\text{Distancia prom. vertical} = \frac{10*0mi+22*10mi+22*20mi+22*30mi+22*40+2*50mi}{100} = 23millas$$



$$\text{Distancia prom. horizontal} = \frac{10*0mi+18*10mi+18*20mi+18*30mi+18*40mi+18*50mi}{100} = 27 \text{ millas}$$

De este modo, la distancia promedio que viaja un camión desde un aserradero al molino son 50 millas. También podemos estimar que la carga promedio por camión son 30 ton. Luego, el costo de un viaje promedio:

$$\text{Costo viaje promedio} = 0,12 \frac{US}{\text{ton} * \text{mi}} * 30\text{ton} * 50\text{mi} = 180 \text{ US}$$

Procederemos a estimar cuantos viajes se realizaran en un año. Si suponemos que los meses tienen 30 días y los aserraderos trabajan en promedio 5,5 días a la semana, entonces los aserraderos estarían trabajando en promedio 23,57 días al mes.

Entonces las cargas diarias son en promedio, por cada aserradero:

$$\text{Cargas diarias promedio} = \begin{cases} 7 & \text{entre Enero y Marzo} \\ 3,8 & \text{entre Abril y Mayo} \\ 6 & \text{entre Junio y Diciembre} \end{cases}$$

Entonces, el total de cargas enviadas en 1 año sería:

$$\text{Total Cargas} = 23,57 \frac{\text{día}}{\text{mes}} \left(7 \frac{\text{cargas}}{\text{aser.} * \text{día}} * 3\text{mes} + 3,8 \frac{\text{cargas}}{\text{día} * \text{aser.}} * 2 \text{mes} + 6 \frac{\text{carga}}{\text{días} * \text{aser.}} * 7 \text{mes} \right) * 100 \text{ aserraderos}$$

$$\text{Total Cargas} = 166.404 \text{ cargas anuales}$$

Finalmente el costo total esperado de transporte anual será de:

$$\text{Costo total trans. anual} = \text{Cargas anuales} * \text{Costo viaje Promedio} = 166.404 * 180 \text{ US} = \text{US } 29.952.720$$

1.2. Estimación costos Inventario:

Para estimar los costos de inventario del sistemas, primero asumimos que los meses tienen 30 días y utilizamos una política de inventario bastante parecida al modelo que no optimizado que produjimos. Asumimos que todos los camiones mandan 30 ton por cargamento, que Bright y Koala poseen 24 aserraderos (ya que en promedio 6 aserraderos tienen el día libre en promedio), y Paper posee 32 aserraderos que le envían camionadas. El número de camionadas promedio que envía cada aserradero depende del periodo en que se esté.



Dividiendo en 3 periodos el año nos queda:

Periodo 2017 Enero-Marzo:

Se asume que a Koala, a Bright y a Paper se envían 7 camionadas por aserradero. Corriendo esta suposición por 90 días nos queda un costo de US 189.517. Quedando con un inventario final de:

Papelera	Inventario Final
Bright	120000
Koala	100000
Paper	60000

Ilustración 10: Costo inventario Enero-marzo

Periodo 2017 Abril-Mayo:

En este periodo se decide enviar el promedio de 4 camiones (lo máximo que se puede) por aserradero para las 3 papeleras, lo que genera pérdidas diarias en los inventarios. Incluso podemos observar que ocurre el primer Stock Out en PaperTech. El costo de inventario es de US 88.522 y los inventarios finales son:

Papelera	Inventario Final
Bright	52800
Koala	32800
Paper	0

Ilustración 11: Costo inventario Abril-Mayo

Periodo 2017 Junio-Diciembre:

Se decide enviar 5,6 camiones por aserradero para Bright y Koala, y 5,5 camiones para PaperTech. Estos decimales se obtienen por enviar distintas proporciones entre 5 y 6 camiones por aserradero. Se utilizaron estos valores para minimizar el inventario para llevarlo a un valor cercano al de inicio de año. El costo de este periodo es de US 239897 y nos deja un inventario final de:

Papelera	Inventario Final
Bright	74640
Koala	54640
Paper	58800

Ilustración 12: Costo inventario Junio-Diciembre



Se realizaron las mismas políticas para el año 2018, dejándonos un costo total por periodo (en US) igual a:

Costo total Enero-Marzo	189517
Costo total Abril-Mayo	88522
Costo total Junio-Diciembre	239897
Costo total Enero-Marzo	191671
Costo total Abril-Mayo	88522
Costo total Junio-Diciembre	239897
Costo total Inventario	1038026

Ilustración 13: Costo inventario total

1.3. Estimación cantidad de madera cortada por aserradero

Recordemos el supuesto de que la cantidad de madera cortada por los aserraderos es la misma que la cantidad que éstos envían a sus molinos.

Así, para obtener dicha cantidad se divide el costo total de transporte por 0,12 que es el costo por milla recorrida, por 50 que son las millas que recorre en promedio un camión y por 100 que es la cantidad de aserraderos:

$$\text{Cantidad de madera cortada por aserradero} = \frac{US\ 29.952.720}{0,12 \frac{US}{ton*mi} * 50mi * 100\ aser.} = 49.921,2 \frac{ton}{aserradero}$$

2. Resultado comparativo de la simulación para los modelos base y mejorado

Luego de realizar diez réplicas de la simulación en cada escenario (base y mejorado) se obtuvieron los siguientes resultados.

2.1. Costo de transporte

En las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:



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

	Costo total de transporte (dólares)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	77691016	78034772	77914491	78068820	77744286	77619812	78550321	77908004	77767860	76970218
Mejorado	58063058	58175714	58358842	58046327	58773935	58318331	58644883	57944897	58183133	58076518

Tabla 3: resultados de las réplicas para la simulación en costo total de transporte

Se tiene un costo promedio de US\$77.826.960 en el modelo base, con una desviación estándar de US\$400.678 y un gasto promedio de US\$58.260.000 en el modelo mejorado, con una desviación estándar de US\$269.943. De esta forma, los intervalos de confianza para ambas medias son los siguientes:

[77.540.332 , 78.113.588] para el modelo base

[58.065.458 , 58.451.670] para el modelo mejorado

2.2. Inventario promedio

Para Koala en las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Inventario promedio en Koala (toneladas)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	68456	69620	69386	69709	68788	67593	70133	69195	69116	67249
Mejorado	59421	60981	64326	51902	65669	62504	64812	45159	61891	60847

Tabla 4: resultados de las réplicas para la simulación en inventario promedio en Koala

El inventario promedio para KoalaPaper es de 68.924 toneladas con una desviación estándar de 925 en el modelo base. En el modelo mejorado se tiene un inventario promedio de 59.750 toneladas con desviación estándar de 6.421. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[68.262 , 69.586] para el modelo base

[55.157 , 64.344] para el modelo mejorado

Para PaperTech en las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Inventario promedio en PaperTech (toneladas)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	45206	45658	45537	45956	45259	45050	46390	45437	45396	45034
Mejorado	29654	31126	31246	28640	33639	31214	32055	28286	31127	29981

Tabla 5: resultados de las réplicas para la simulación en inventario promedio en PaperTech



El inventario promedio es de 45.492 toneladas con una desviación estándar de 422 para el caso base y de 30.700 toneladas con una desviación estándar de 1.601 para el modelo mejorado, con una desviación estándar de 1.601,402. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[45.190 , 45.794] para el modelo base

[29.551 , 31.842] para el modelo mejorado

Para Bright en las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Inventario promedio en Bright (toneladas)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	20881	23660	23612	26240	21950	20710	26688	23006	22711	20701
Mejorado	19948	21191	25293	19698	37007	24596	30669	19110	23251	20555

Tabla 6: resultados de las réplicas para la simulación en inventario promedio en Bright

El inventario promedio es de 23.015 toneladas con una desviación estándar de 2.137 para el caso base y un inventario promedio de 24.130 toneladas con una desviación estándar de 5.721 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[21.486 , 24.544] para el modelo base

[20.038 ; 28.225] para el modelo mejorado

2.3. Costo total de inventario

En las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Costo total de inventario (dólares)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	817321	827172	826245	836943	817784	815739	850229	824735	819072	810728
Mejorado	668190	681255	711712	661802	722929	692047	718132	651744	686428	671132

Tabla 7: resultados de las réplicas para la simulación en costo total de inventario



El costo promedio fue de US\$824.596, con una desviación estándar de US\$11.640 en el modelo base y de US\$686.500 con una desviación estándar de US\$24.519 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[816.269 , 832.923] para el modelo base

[668.996 ; 704.077] para el modelo mejorado

2.4. Gastos por penalización debido a inventario bajo

Para Koala en las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Gasto en multas por inventario bajo para Koala (dólares)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	7000000	13000000	11000000	14000000	8000000	6000000	19000000	11000000	9000000	2000000
Mejorado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 8: resultados de las réplicas para la simulación en gasto en multas por inventario bajo en Koala

El gasto promedio en multas fue de US\$10.000.000, con una desviación estándar de 4.737.557 para el caso base y un gasto promedio de US\$0 con desviación 0 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[6.610.956 ; 13.389.044] para el modelo base

[N.A, N.A] para el modelo mejorado (no hay varianza)

Para PaperTech en las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Gasto en multas por inventario bajo para PaperTech (dólares)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	24000000	33000000	30000000	37000000	27000000	21000000	41000000	29000000	28000000	18000000
Mejorado	58000000	105000000	128000000	22000000	224000000	123000000	136000000	3000000	117000000	100000000

Tabla 9: resultados de las réplicas para la simulación en gasto en multas por inventario bajo en PaperTech



El gasto promedio en multas fue de US\$28.800.000, con una desviación estándar de US\$6.988.880 para el caso base y un gasto promedio de US\$101.600.000 con una desviación estándar de US\$62.831.698 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[23.800.456 ; 33.799.544] para el modelo base

[56.652.911 ; 146.547.089] para el modelo mejorado

Esto se explica porque PaperTech no tiene la capacidad suficiente para almacenar una gran cantidad de madera antes del invierno, por lo que con la política actual inevitablemente caerá de los 20.000 y tendrá que asumir repetidas multas.

Para Bright en las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Gasto en multas por inventario bajo para Bright (dólares)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	12000000	24000000	23000000	27000000	16000000	10000000	29000000	20000000	19000000	8000000
Mejorado	3000000	7000000	10000000	3000000	13000000	9000000	81000000	2000000	7000000	6000000

Tabla 10: resultados de las réplicas para la simulación en gasto en multas por inventario bajo para Bright

El gasto promedio en multas fue de US\$18.800.000, con una desviación estándar de 7.192.589 para el caso base y un gasto promedio de US\$25.800.000 con una desviación estándar de US\$43.641.978 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[13.654.732 ; 23.945.268] para el modelo base

[0 ; 57.019.590] para el modelo mejorado



2.5. Días perdidos por mal tiempo

En las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Días perdidos por mal tiempo									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	3	5	5	5	3	2	7	5	4	2
Mejorado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 11: resultados de las réplicas para la simulación en días perdidos por mal tiempo

De donde tenemos una cantidad promedio de 4,1 días, con una desviación estándar de 1,595131; y una cantidad promedio de 0 días para el modelo mejorado, con una desviación estándar de 0. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[2,95 ; 5,24] para el modelo base

[N.A., N.A.] para el modelo mejorado (no hay varianza)

2.6. Número de *stock-outs*

En las 10 réplicas se obtuvieron los siguientes datos:

	Número de <i>stockouts</i>									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	242	271	267	272	244	232	291	258	251	224
Mejorado	62	66	76	0	101	75	82	0	71	65

Tabla 12: resultados de las réplicas para la simulación en número de *stock-outs*

La cantidad promedio es de 255 *stock-outs*, con una desviación estándar de 20,5 para el caso base y una cantidad promedio de 60 *stock-outs* con una desviación estándar de 33 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[240,5 ; 269,8] para el modelo base

[35,9 ; 83,7] para el modelo mejorado



2.7. Cantidad máxima de madera talada en los territorios

En las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Cantidad máxima de madera talada en los territorios (toneladas)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	129856	131966	131875	132314	130214	129510	132973	131611	131453	129476
Mejorado	117434	117824	118216	117241	119008	118136	118279	116811	118011	117710

Tabla 13: resultados de las réplicas para la simulación en cantidad máxima de madera talada en los territorios

De donde tenemos una cantidad promedio de 131.124 toneladas, con una desviación estándar de 1256 para el caso base y una cantidad promedio de 117.900 toneladas con una desviación estándar de 615 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[130.225 ; 132.023] para el modelo base

[117.426 ; 118.307] para el modelo mejorado

2.8. Cantidad promedio de madera cortada por aserradero

En las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Cantidad promedio talada en los aserraderos (toneladas)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	96340	96526	96472	96561	96367	96261	96738	96446	96398	95895
Mejorado	94244	94269	94397	94187	94424	94326	94420	94173	94297	94266

Tabla 14: resultados de las réplicas para la simulación en cantidad promedio talada en los aserraderos

Se tiene un promedio de 96.400 toneladas con una desviación estándar de 221 para el caso base y un promedio de 94.300 toneladas con una desviación estándar de 90 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[96.241 ; 96.558] para el modelo base

[94.235 ; 94.365] para el modelo mejorado



2.9. Tiempo de espera promedio en cada *scale-house*

Para Koala en las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Tiempo de espera promedio en <i>scalehouse</i> de entrada de Koala (minutos)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	7,9	8,1	8,0	8,2	7,9	7,8	8,2	7,9	7,9	7,2
Mejorado	15,8	15,9	16,0	15,8	16,2	16,0	16,2	15,5	16,0	15,9

Tabla 15: resultados de las réplicas para la simulación en tiempo de espera promedio en *scalehouse* de entrada de Koala

El promedio es de 7,9 minutos con una desviación estándar de 0,28 para el modelo base y un promedio de 15,9 minutos con una desviación estándar de 0,21 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[7,73 ; 8,13] para el modelo base

[15,76 ; 16,06] para el modelo mejorado

Para PaperTech en las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Tiempo de espera promedio en <i>scalehouse</i> de entrada de PaperTech (minutos)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	26,1	26,6	26,6	26,6	26,2	26,0	26,9	26,5	26,3	26,0
Mejorado	41,8	41,8	42,0	41,7	42,4	41,9	42,4	41,1	41,9	41,8

Tabla 16: resultados de las réplicas para la simulación en tiempo de espera promedio en *scalehouse* de entrada de PaperTech

Se tiene un promedio de 26,37 minutos con una desviación estándar de 0,3 para el caso base y un tiempo promedio de 41,89 minutos con una desviación estándar de 0,25 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[26,15 ; 26,59] para el modelo base

[41,62 ; 42,14] para el modelo mejorado

Para Bright en las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:



	Tiempo de espera promedio en <i>scalehouse</i> de entrada de Bright (minutos)									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	13,3	13,7	13,7	13,8	13,4	13,3	13,9	13,6	13,5	13,1
Mejorado	15,4	15,4	15,6	15,4	15,7	15,5	15,7	15,2	15,5	15,4

Tabla 17: resultados de las réplicas para la simulación en tiempo de espera promedio en *scalehouse* de entrada de Bright

El tiempo promedio fue de 13,54 minutos, con una desviación estándar de 0,26 para el modelo base y un tiempo promedio de 15,49 minutos con una desviación estándar de 0,14 para el modelo mejorado. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[13,35 ; 13,72] para el modelo base

[15,38 ; 15,58] para el modelo mejorado

2.10. Cantidad de reparaciones de grúa en cada año

En las 10 réplicas se obtuvo los siguientes datos:

	Número de reparaciones de grúa									
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6	Réplica 7	Réplica 8	Réplica 9	Réplica 10
Base	1018	1022	1021	1022	1019	1018	1026	1021	1019	1017
Mejorado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 18: resultados de las réplicas para la simulación en número de reparaciones de grúa

Se tiene una cantidad promedio de reparaciones de 1.020 con una desviación estándar de 2,6 para el modelo base y una cantidad promedio de 0 grúas para el modelo mejorado, con una desviación estándar de 0. De esta forma, los intervalos de confianza al 95% para ambas medias son los siguientes:

[1.018 ; 1.022] para el modelo base

[N.A., N.A.] para el modelo mejorado (no hay varianza)



3. Conclusión

3.1. Razonabilidad del modelo conceptual y computacional

Para poder validar el modelo se tiene solo unos pocos datos oficiales con los cuales contrastar. Se dice en el enunciado que los aserraderos producen en promedio 60.000 toneladas anuales de madera, según nuestro modelo llegamos a un promedio de 48.000 toneladas. La diferencia en este valor se puede deber a la implementación de la política de operación que minimiza las distancias aserradero/molino y que pide una menor cantidad de camionadas.

Además, se tienen las estimaciones realizadas en el punto 5, para validar nuestros resultados. Se tiene que la cantidad estimada de toneladas producidas en promedio por los aserraderos es de 49.000, valor cercano a lo obtenido en el modelo base. También se tiene la estimación de los costos de inventario correspondientes a 1 millón de dólares, valor cercano a los US\$800.000 y US\$600.000 obtenidos en nuestros modelos. Finalmente se tiene la estimación del costo de transporte correspondiente a 30 millones de dólares anuales, valor que se acerca bastante a los 77 y 58 millones de dólares obtenidos en nuestros modelos durante 2 años de simulación.

Otra forma en que se validó el modelo consistió en modificar las tasas promedio de camionadas que se envían por día y observar el comportamiento del inventario, las multas y los stock-outs. Se obtuvo que al aumentar dichas tasas, los inventarios promedios subían mientras que las multas y stock-outs disminuían.



3.2. Principales resultados

Medida de desempeño	Promedio M. base	Promedio mejorado
Costo total de transporte (dólares)	77.826.960	58.258.564
Inventario promedio Koala (toneladas)	68.925	59.751
Inventario promedio PaperTech (toneladas)	45.492	30.697
Inventario Promedio Bright (toneladas)	23.016	24.132
Costo total de inventario (dólares)	824.597	686.537
Cantidad de días perdidos por clima	4,10	0
Número de stockouts	255,20	59,8
Cantida máxima talada (toneladas)	131.125	117.867
Cantidad promedio talada (toneladas)	96.400	94.300
Tiempo de espera promedio en scalehouse de Koala (horas)	7,9	15,9
Tiempo de espera promedio en scalehouse de PaperTech (horas)	26,4	41,9
Tiempo de espera promedio en scalehouse de Bright (horas)	13,5	15,5
Número de reparaciones de grúa	1.020	0
Costo de multas de PaperTech (dólares)	28.800.000	25.800.000
Costo de multas de Koala (dólares)	10.000.000	0
Costo de multas de Bright (dólares)	18.800.000	101.600.000

Tabla 22: principales resultados obtenidos en cada modelo.

3.3. Análisis de resultados

Cuando se simuló el comportamiento de los inventarios en Python no hubieron mayores complicaciones y se estimó la cantidad promedio de camionadas al día que los aserraderos debían enviar a sus molinos en una determinada época del año para que no incurrir en multas ni stock-outs. Sin embargo, al introducir estos datos en el modelo de simulación nos dimos cuenta del impacto que tenían otros factores sobre los inventarios, tales como la aleatoriedad en los tiempos de procesamiento y descarga de los camiones, la aleatoriedad del momento en que fallan las grúas y la duración de su reparación, entre otros. Es por esto que se hace necesario usar Simulación en vez de Programación para analizar modelos tan complejos como el presente en este informe.

Se puede observar que entre el modelo base y el modelo optimizado los costos de transporte e inventario bajaron considerablemente (aproximadamente 20 millones y 200.000 respectivamente). Esto refleja que la nueva política



implementada efectivamente induce mejoras económicas en la operación de los molinos.

Pero aún existen problemas con los stock-outs y las multas (aunque disminuyeron bastante). La existencia de stock-outs y multas se debe a la baja capacidad de inventario que posee PaperTech, ya que esas 60.000 toneladas no alcanzarán para suplir el déficit de madera durante los meses de Abril y Mayo.

3.4. Políticas sugeridas a futuro

Una excelente política a futuro sería aumentar la capacidad de inventario máximo de PaperTech, para que pueda ahorrar antes de los meses invernales y así eliminar por completo las multas y stock-outs.

Otra política que podría ser de gran utilidad consiste en que los molinos puedan traspasar madera entre sus dependencias por medio de camiones (con el mismo costo de transporte que los aserraderos), para poder suplir sus demandas en caso de que los aserraderos estén enviando a tope según la temporada.

Por otra parte, una piedra de tope o cuello de botella es el límite de camionadas diarias que los aserraderos pueden mandar según la temporada. Si ésta se pudiese modificar de alguna forma, se lograrían mejores resultados en las variables de output del modelo.

4. Bibliografía

Estados Unidos. Departamento de Agricultura, U.S Forest Service .(2007).*Mapping Forest Resources of the United States*. Recuperado de: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/wo_gtr078_106_132.pdf

Estados Unidos. Departamento de Agricultura, U.S Forest Service. (2008). *Minnesota's Forests*. Recuperado de: https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/rb/rb_nrs50.pdf

Confederation of Paper Industries (2008). *Trees Used in Papermaking*. Recuperado de: <http://www.paper.org.uk/information/factsheets/trees.pdf>

Russell P. Kidd and Melvin Koelling, Michigan State University (1998). *Aspen Management in Michigan*. Recuperado de http://www.michiganforesters.com/aspen_management_in.html



5. Anexos

Anexo 1: Código en Python para elegir al azar 1 o 2 días libres para cada aserradero (L.O.)

```
*dias_libres_aserraderos.py - C:\Users\acer\Desktop\dias_libres_aserraderos.py (3.5.2)*
File Edit Format Run Options Window Help
from random import choice, randint

archivo = open("datos_dias_libres.txt", "w")
for i in range(1,101):
    dias = ["Lunes", "Martes", "Miercoles", "Jueves", "Viernes", "Sabado"] + ["Domingo"]*3
    cuantos_dias = choice([1, 2])
    if cuantos_dias == 2:
        dia_1 = choice(dias)
        dia_2 = choice(dias)
        while dia_1 == dia_2:
            dia_2 = choice(dias)
        fila = "{}-{}".format(dia_1, dia_2)
    else:
        fila = "{}".format(choice(dias))
    archivo.write("{}-{}\n".format(i, fila))
archivo.close()
```

Anexo 2: Archivo de texto generado por el código del anexo 1

```
datos_dias_libres.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
1-. [Domingo]
2-. [Lunes-Miercoles]
3-. [Viernes-Miercoles]
4-. [Viernes-Domingo]
5-. [Miercoles-Jueves]
6-. [Sabado]
7-. [Viernes]
8-. [Miercoles-Domingo]
9-. [Domingo]
10-. [Martes]
11-. [Viernes-Sabado]
12-. [Miercoles]
13-. [Martes-Miercoles]
14-. [Martes-Domingo]
15-. [Sabado-Domingo]
16-. [Sabado-Jueves]
```



Anexo 3: Código en Python para asignar a cada aserradero un molino al azar

```
molinos_distribucion_aserraderos.py: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

from random import choice, randint

molinos = ["KoalaPaper"]*30 + ["Bright"]*30 + ["PaperTech"]*40
archivo = open("datos_aserradero.txt", "w")

for i in range(1,101):
    ubicacion_molino = randint(0, len(molinos) - 1)
    fila = molinos.pop(ubicacion_molino)
    archivo.write("{}-{}\n".format(i, fila))
archivo.close()
```

Anexo 4: Archivo de texto generado por el código de la figura 6

```
datos_aserradero.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

1-.KoalaPaper
2-.PaperTech
3-.Bright
4-.Bright
5-.KoalaPaper
6-.KoalaPaper
7-.Bright
8-.KoalaPaper
9-.KoalaPaper
10-.Bright
11-.Bright
12-.PaperTech
13-.PaperTech
14-.KoalaPaper
```



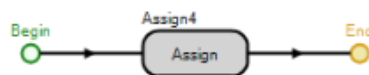
Anexo 5: cantidad de camiones que tiene cada aserradero

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

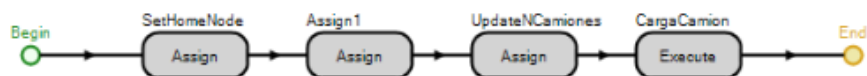
Anexo 6: proceso de creación de camiones y carga

Se utiliza la función *CreandoCamiones*, que define el *HomeNode*, antes de que se cree la entidad, una vez creada se utiliza *CrearCamiones*, la que actualiza los contadores que permiten monitorear el cumplimiento de las restricciones a la población de camiones, y ejecuta *CargaCamion* que “genera” la madera que posee.

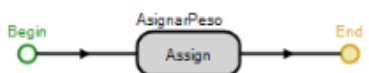
CreandoCamiones



CrearCamiones



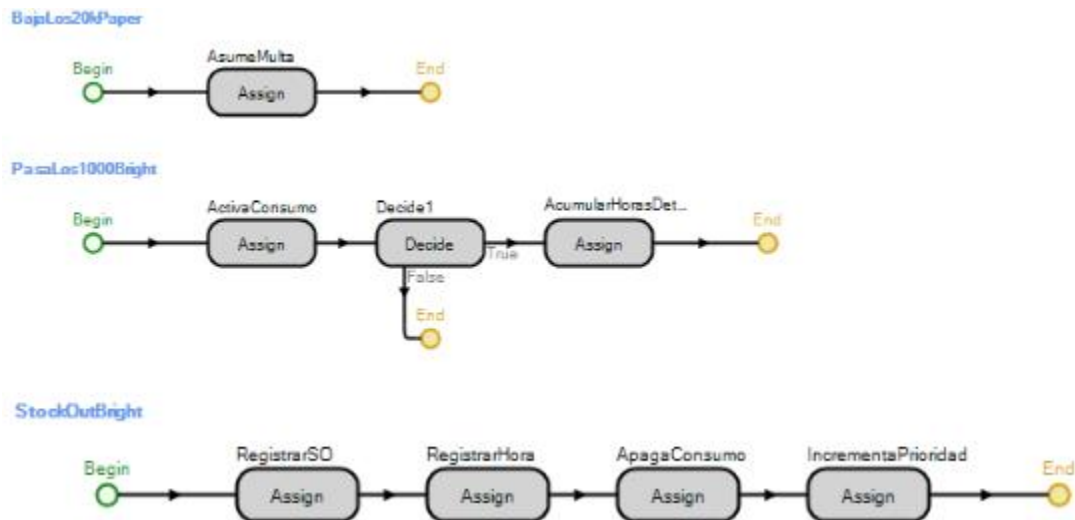
CargaCamiones





Anexo 7: proceso de gestión de *stockouts*

Tenemos el proceso BajaLos20k que genera la una multa de un millón de dólares cuando se tiene menos que 20.000 toneladas en inventario en alguna papelerera. También están los procesos Stockout que para al *digester* cuando el inventario llega a cero y el proceso PasaLos1000 que reactiva el *digester* una vez que se llega a las mil toneladas en inventario nuevamente.

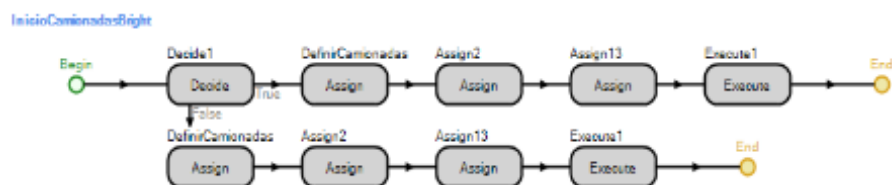
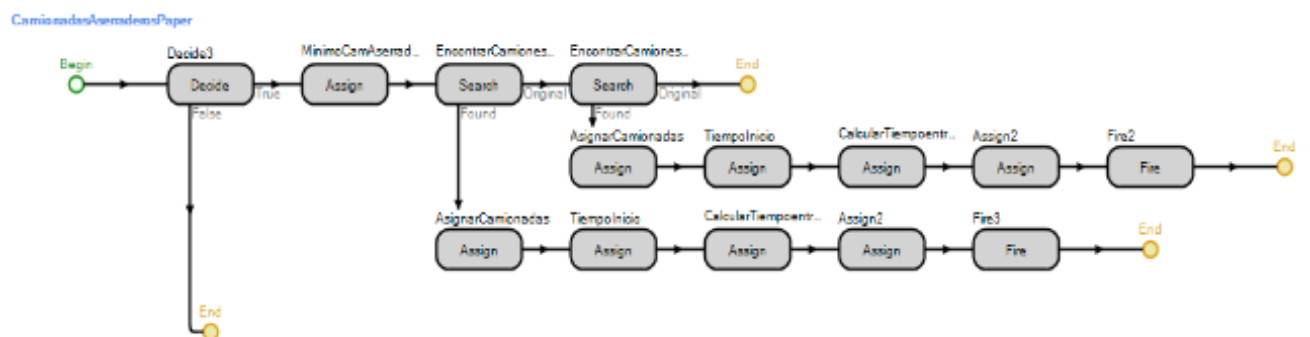
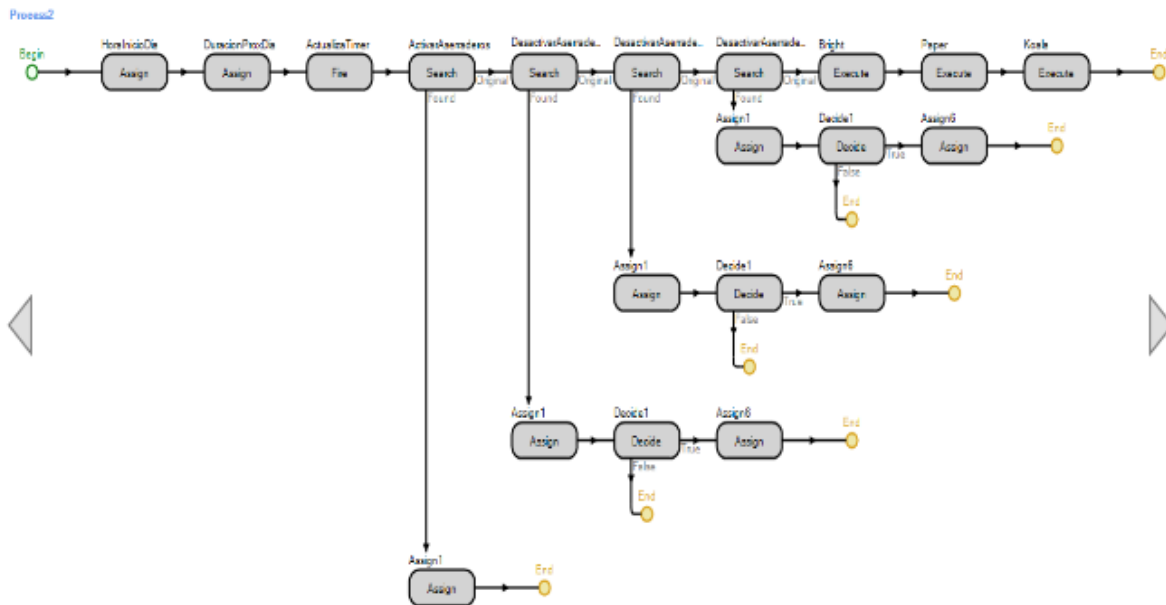


Anexo 8: proceso de gestión de demanda

Tenemos que el Process2 revisa cuáles de los aserraderos están activos. Luego tenemos InicioCamionadas que elimina los aserraderos que no estén activos del proceso, por lluvias o porque tienen el día libre. Finalmente, se usa el proceso CamionadasAserradero que decide cuántas camionadas pedir a cada aserradero.



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





Anexo 9: generación de tasas medias diarias de camiones cargados a pedir por cada papellera

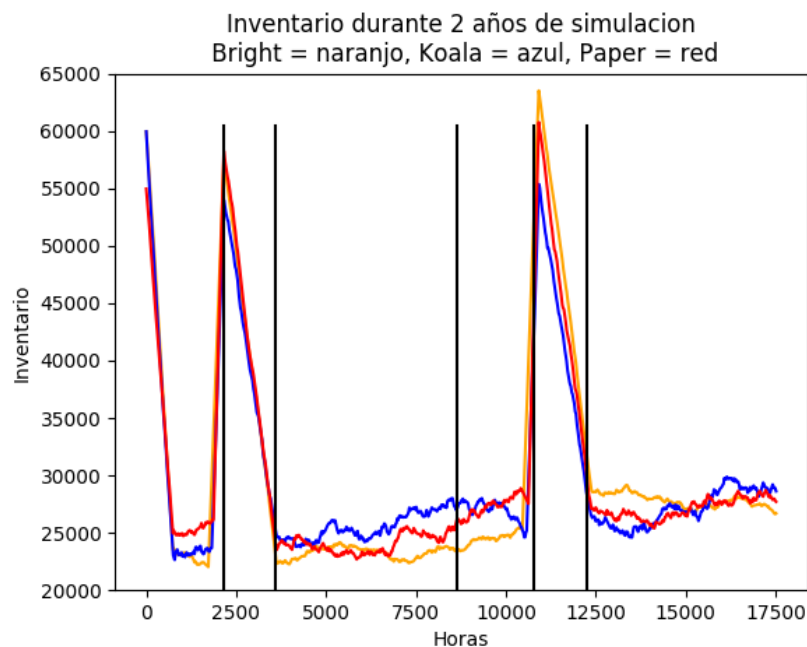
```
#####3

#Abril 2017
for i in range(30):
    dema_b = normalvariate(4000, 100)
    dema_k = normalvariate(4000, 200)
    dema_p = triangular(4500, 5000, 5500)
    for j in range(24):
        inv_B += (28.43 * 4 * 30) / 24 # Máxima Capacidad, que en esta temporada es en promedio 4
        inv_K += (29.4 * 4 * 30) / 24 # Máxima Capacidad
        inv_P += (36.9 * 4 * 30) / 24 # Máxima Capacidad
        inv_B -= dema_b/24
        inv_K -= dema_k/24
        inv_P -= dema_p/24
        multas_B, multas_K, multas_P = calcular_multas(inv_B, inv_K, inv_P, multas_B, multas_K, multas_P)
        inventarios_historicos[0].append(round(inv_B))
        inventarios_historicos[1].append(round(inv_K))
        inventarios_historicos[2].append(round(inv_P))

if imprimir:
    imprimir_inv("Abril", inv_B, inv_K, inv_P)

#####3
```

Anexo 10: resultado de la simulación del inventario en Python utilizando camionadas promedio diarias.





Anexo 11: tasas diarias de camiones cargados promedio pedidos por cada aserradero (extracto)

Día/Tasa	Bright	Koala	Papertech
1	3,3	3,2	3,6
2	3,3	3,2	3,6
3	3,3	3,2	3,6
4	3,3	3,2	3,6
5	3,3	3,2	3,6
6	3,3	3,2	3,6
7	3,3	3,2	3,6
8	3,3	3,2	3,6
9	3,3	3,2	3,6
10	3,3	3,2	3,6
11	3,3	3,2	3,6
12	3,3	3,2	3,6
13	3,3	3,2	3,6
14	3,3	3,2	3,6
15	3,3	3,2	3,6
16	3,3	3,2	3,6
17	3,3	3,2	3,6
18	3,3	3,2	3,6
19	3,3	3,2	3,6
20	3,3	3,2	3,6

Anexo 12: detalle del modelo en AMPL

```
SIMULA.mod: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

param d{i in 1..100, j in 1..100} >= 0;

var x {i in 1..100,j in 1..3} binary;

subject to r1: sum{i in 1..100} x[i,1] = 30;
subject to r2: sum{i in 1..100} x[i,2] = 31;
subject to r3: sum{i in 1..100} x[i,3] = 39;
subject to r4{i in 1..100}: sum{j in 1..3} x[i,j] = 1;

minimize z: sum {i in 1..100, j in 1..3} x[i,j]*d[i,j];
```



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

```
Console
AMPL
ampl: reset;
ampl: model C:/Users/acer/Desktop/simula.mod;
ampl: data C:/Users/acer/Desktop/simula.dat;
ampl data: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 12.6.1.0: optimal integer solution; objective 509
80 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
No basis.
ampl: display x;
x ["*,"]
:      1  2  3      :=
1      0  1  0
2      0  1  0
3      0  1  0
4      0  0  1
5      0  0  1
6      0  0  1
7      0  0  1
8      0  0  1
9      0  0  1
10     0  1  0
```