



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE COMPUTACIÓN
Año 2017 - 2^{do} Cuatrimestre

SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

TRABAJO PRÁCTICO N° <2>
TEMA:<Manejo del Inventario de una Industria>
FECHA:<6 de noviembre de 2017>

INTEGRANTES:

CERVETTO, Marcos	- #FIUBA
<cervettomarcos@gmail.com>	
MARCHI, Edgardo	- #FIUBA
<edgardo.marchi@gmail.com>	
PECKER MARCOSIG, Ezequiel	- #FIUBA
<ezepecker@gmail.com>	

Índice

1. Objetivo y Enunciado	2
2. Modelo Conceptual	2
2.1. Motivación	2
2.2. Autómata Celular	2
2.3. Celdas	6
3. Descripción Formal	6
3.1. <i>Top-Model</i>	6
3.2. Cinta Transportadora	6
4. Modelado y Simulación	9
4.1. Pruebas parciales	9
4.1.1. Cinta Transportadora	9
4.1.2. Inventario	14
4.1.3. Despacho de Productos	14
5. Conclusiones	14
A. Código Implementado	14

1. Objetivo y Enunciado

2. Modelo Conceptual

2.1. Motivación

Una compañía que vende un único producto está interesada en estudiar la forma óptima de ordenamiento de las unidades producidas en el almacén.

En la Figura 1 se muestra un esquema de la industria, donde se observa la ubicación del inventario.

Para este trabajo, el bloque Inventario se va a modelizar con autómatas celulares.

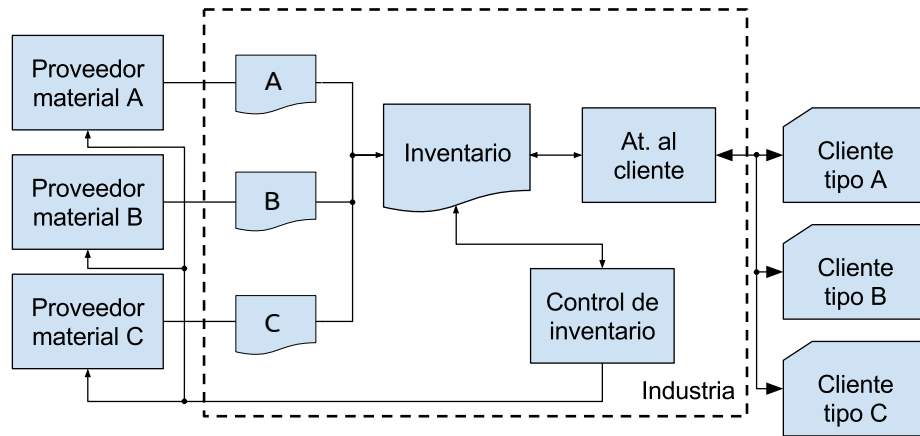


Figura 1: Esquema del problema planteado.

2.2. Autómata Celular

El bloque atómico DEVS correspondiente al Inventario que se indica en la Figura 1 va a ser reemplazado por tres bloques cell-DEVS, según la Figura 2.

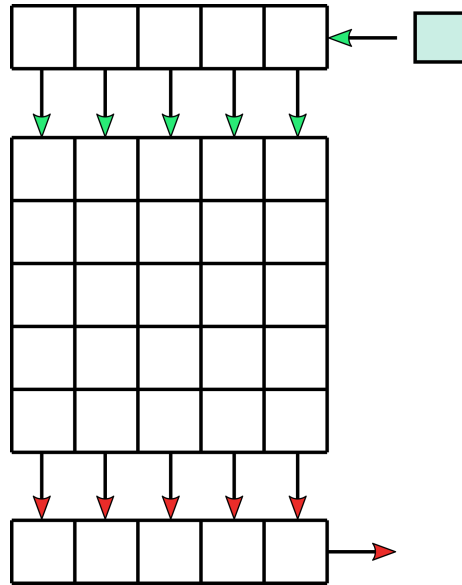


Figura 2: Inventario con cell-DEVS.

El primer bloque corresponde a una fila de celdas que manejarán la ubicación inicial de los productos dentro del inventario. Del trabajo 1 se puede recordar que cada producto tiene una fecha de vencimiento asociada. Esta fecha será la que determine la columna en la que se apilará a cada producto. Por ejemplo: si falta menos de una semana para su vencimiento se apilará en la columna 0 (más a la derecha), si falta entre 1 y 2 semanas en la columna 1, entre 2 y 3 en la columna 2, etc. Este proceso se esquematiza en la Figura 3.

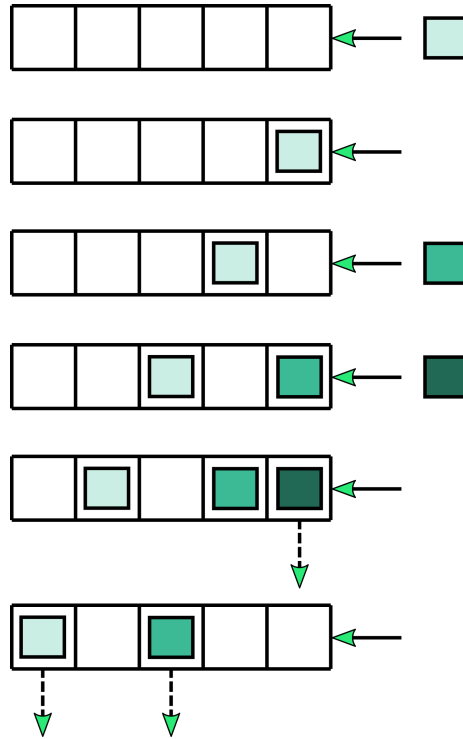


Figura 3: Ingreso de productos al inventario.

El segundo bloque será el inventario propiamente dicho. Es una grilla donde las columnas representan posiciones de apilamiento de productos. Las entradas de productos se realizan por la parte superior de cada columna, de forma de ir apilándolos. La salida de productos se realiza por la parte inferior de cada columna. Periódicamente se chequea la fecha de vencimiento de cada producto, y si cumple la condición de la columna siguiente a la derecha, por ejemplo que falte menos de N semanas para que perezca, el producto se intenta mover a esa columna.

La salida de productos está físicamente cercana a la columna derecha (la que contiene a los productos más próximos a vencer). El encargado de retirar productos demora un tiempo hasta llegar a la columna N por lo que idealmente se prefiere retirar los productos de la columna 0. Sin embargo si no hay productos con una fecha de vencimiento tan próxima, deberá recorrer las columnas hasta llegar a un producto. Este proceso de retiro de elementos se modela con el tercer bloque cell-DEVS, en este caso también de una sola fila. Todo este proceso se puede observar en la figura en la Figura 5. La fecha de vencimiento se grafica según el esquema de colores de la Figura 4.



Figura 4: Codificación de colores por fecha de vencimiento.

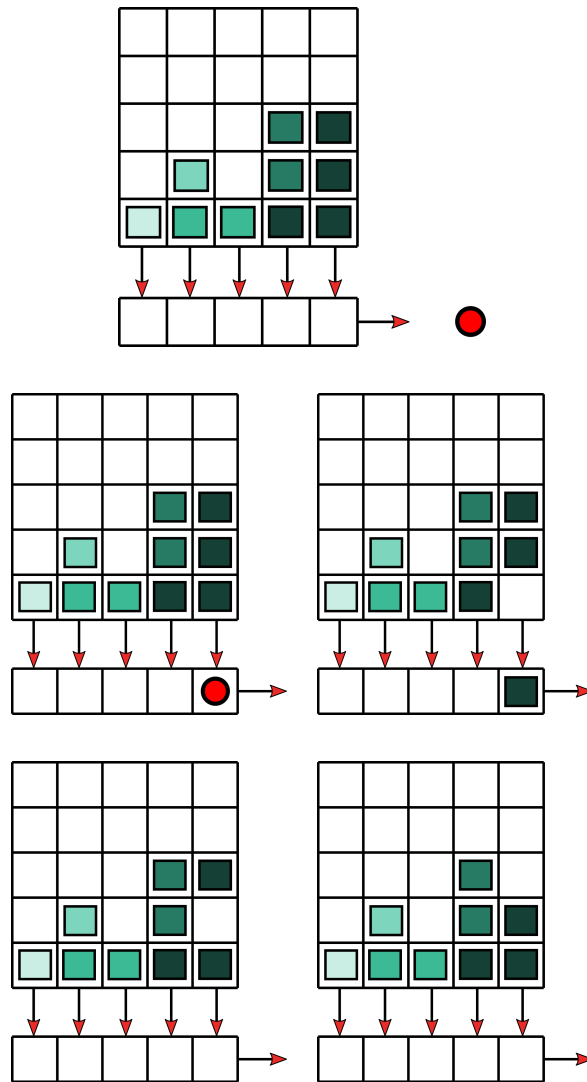


Figura 5: Autómata celular del inventario.

2.3. Celdas

El objetivo del autómata celular es ordenar los productos en el almacén de modo que aquellos con fecha de vencimiento más próxima queden ubicados espacialmente más cerca de la salida, de modo de ser despachados más rápido. De esta manera se busca reducir la cantidad de productos vencidos dentro del almacén. Para esto, periódicamente se revisan las fechas de vencimiento de los productos estampadas en un código de barras en cada unidad. Su ubicación depende del valor de su fecha de vencimiento. Los productos sólo pueden ser movidos si la columna adyacente a la derecha tiene una ubicación disponible hasta un nivel por encima de la altura de ubicación del producto. Cabe destacar que si la ubicación inferior a donde se encuentra un producto está libre, el producto baja hasta estar apoyado sobre otro producto o sobre el suelo del depósito. Por estos motivos (y por la preferencia de movimiento hacia la derecha) el vecindario propuesto se puede ver en la Figura 6.

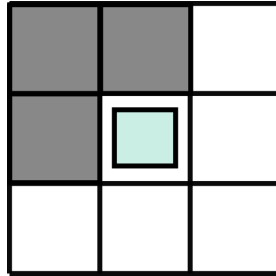


Figura 6: Vecindario.

Las preguntas a responder mediante simulaciones son:

- ¿Qué política de ordenamiento permite reducir la cantidad de unidades vencidas al momento del despacho?
- Y conectada con la pregunta anterior, ¿qué política de ordenamiento permite disminuir el tiempo necesario para despachar una unidad?

3. Descripción Formal

3.1. Top-Model

3.2. Cinta Transportadora

La cinta transportadora es el dispositivo por el que ingresan los productos al inventario. La cinta tiene su entrada **in** por la derecha en la celda $(0, n)$. Además cada celda tiene asociadas una entrada **ini** y una salida **outi**, como se observa en la Figura 7.

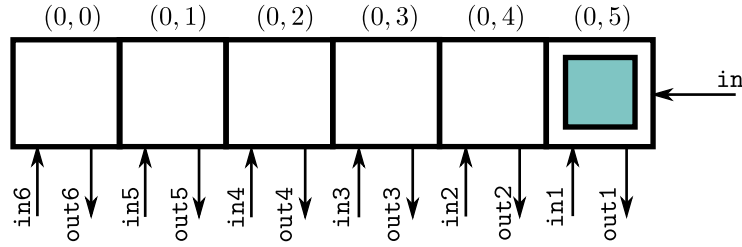


Figura 7: Autómata celular de la cinta transportadora.

Los productos ingresan por la entrada **in** y se van desplazando hacia la izquierda a una velocidad representada por el tiempo entre ejecuciones de las reglas.

Para cada celda en este autómata celular importa solamente el valor de la celda anterior y el de la celda posterior. Por este motivo el vecindario está definido en la Figura 8.

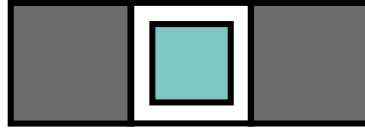


Figura 8: Vecindario de la cinta transportadora.

Cada elemento de la cinta transportadora está asociado a una columna en el inventario. A su vez, cada columna en el inventario tiene asignado un rango de fechas de vencimiento posibles, estando más hacia la izquierda las columnas asociadas a vencimientos más remotos.

Las consultas de lugar disponible en una columna del inventario se realizan enviando un valor de fecha de vencimiento imposible, en este caso igual a -1 . El inventario debe responder con 0 si no hay lugar en la columna por la que se consultó o un número no nulo en caso contrario. En caso que la respuesta del inventario sea que no hay lugar en la columna por la que se consultó entonces la cinta debe hacer avanzar al producto hacia la izquierda una posición más y volver a preguntar por la disponibilidad de espacio en el inventario.

Cada elemento en la cinta transportadora se representa con una tupla de tres elementos: **[ID columna, producto, indicador]**. El **ID columna** representa el rango de fechas de vencimiento asociados a la celda y a la columna respectiva del inventario. El elemento **producto** lleva la fecha de vencimiento del producto. Por último, el elemento **indicador** puede tener distintos significados dependiendo de su valor, los valores que puede tomar son: 0, 1 ó 2. Si vale 1 significa que el producto está listo para ser ubicado en la columna del inventario asociada a la celda actual de la cinta transportadora pero que no había lugar, si en cambio vale 2 significa que ninguna de las columnas del inventario por las que se consultó tenía espacio y entonces ese producto permanecerá en la cinta

transportadora.

Los elementos de las tuplas se acceden utilizando el signo de exclamación e indicando a continuación el elemento que se quiere acceder. Así por ejemplo el elemento 0 o ID de la celda actual se accede mediante $(0,0)!0$.

Las reglas tienen la siguiente sintaxis:

rule : { resultado } { demora } { condicion }

Las reglas que representan a la descripción anterior y están asociadas a las células de este autómata celular se enumeran a continuación:

```
[ cinta-reglas ]
rule : { [(0,0)!0,(0,1)!1,0] } { 100 } { NOT isUndefined((0,1)
    ↪ !1) AND (0,1)!1 != 0 AND (0,1)!1 > (0,1)!0 + time/1000
    ↪ }
rule : { [(0,0)!0,0,0] } { 100 } { NOT isUndefined((0,-1)!1)
    ↪ AND (0,0)!1 != 0 AND (0,0)!1 > (0,0)!0 + time/1000 AND
    ↪ (0,-1)!1 = 0 }
rule : { [(0,0)!0,(0,1)!1,0] } { 100 } { (0,1)!2 = 1 }
rule : { [(0,0)!0,0,0] } { 100 } { (0,0)!2 = 1 AND NOT
    ↪ isUndefined((0,-1)!1) AND (0,-1)!1 = 0 }
rule : { [(0,0)!0,(0,0)!1,2] } { 100 } { (0,0)!2 = 1 AND (
    ↪ isUndefined((0,-1)!1) OR (0,-1)!1 != 0) }
rule : { [(0,0)!0,(0,0)!1+send(output,-1),0] } { 100 } { (0,0)
    ↪ !2 != 2 AND (0,0)!1 != 0 AND (0,0)!1 <= (0,0)!0 + time
    ↪ /1000 }
rule : { (0,0) } 0 { t }
```

La primera regla pregunta si la celda que está a la derecha de la celda actual está definida ($\text{NOT isUndefined}((0,1)!1)$), tiene un producto ($(0,1)!1 \neq 0$) y la fecha de vencimiento del producto es mayor que la de la columna ($(0,1)!1 > (0,1)!0 + \text{time}/1000$). En caso que se cumpla se mueve el producto desde la celda de la derecha a la celda actual.

La segunda regla es el complemento de la primera, es decir, pregunta si la celda de la izquierda está definida ($\text{NOT isUndefined}((0,-1)!1)$) y está vacía ($(0,-1)!1 = 0$) y en la celda actual hay un producto y su fecha de vencimiento es mayor que la de la columna ($(0,0)!1 > (0,0)!0 + \text{time}/1000$). Si se cumple, entonces se quita el producto de esta celda.

La tercera regla verifica si el elemento **indicador** de la tupla de la celda de la derecha es 1. Si es así significa que la cinta consultó al inventario para mover ese producto y éste le respondió que no había lugar. Entonces lo que se hace es mover ese producto a la siguiente celda hacia la izquierda.

La cuarta regla es el complemento de la tercera regla, pues pregunta si el elemento **indicador** de la tupla de la celda actual es 1 y si la celda de la izquierda está vacía. Si se cumple entonces quita al producto de esta celda.

La quinta regla se ejecuta cuando el producto no puede ser descargado en el inventario porque no hay lugar en las columnas que pregunta y alcanza el extremo izquierdo de la cinta transportadora. Esta condición se indica escribiendo un 2 en el elemento indicador de la celda.

La sexta regla es la que permite hacer la consulta al inventario de si hay lugar en la columna correspondiente. Esta consulta se realiza enviando `-1` por la salida asociada con la celda `out1` y la respuesta se espera por la entrada `ini`. Se puede ver que si el elemento indicador de la celda actual es 2 entonces esta regla no se ejecuta, es decir, no se repite la consulta al inventario.

Finalmente, la séptima regla es la regla por omisión que es siempre verdadera pues debe existir siempre al menos una regla verdadera.

Asimismo, se definieron reglas que se ejecutan ante la aparición de las distintas entradas. Así, ante el arribo de un producto por la entrada `in` se ejecuta la siguiente regla:

```
[in-regla]
rule : { [(0,0)!0,portValue(thisPort),0] } { 1 } { t }
```

Se observa que lo que se hace es copiar el producto que acaba de llegar en la celda conectada a la entrada `in`.

Finalmente, como se mencionó más arriba, cuando el producto llega a la celda que le corresponde en la cinta transportadora se genera una consulta al inventario para saber si existe lugar en la columna correspondiente. Las reglas que se evalúan cuando llega la respuesta son:

```
[inventario-regla]
rule : { [(0,0)!0,0+send(output,(0,0)!1),0] } { 1 } {
    ↪ portValue(thisPort)!=0 }
rule : { [(0,0)!0,(0,0)!1,1] } { 1 } { portValue(thisPort)=0 }
```

Se puede ver que como se utiliza el comando `thisPort` esta regla es válida para todas las celdas de la cinta transportadora. Si la respuesta que recibe la celda de parte del inventario es no nula entonces se envía el producto por el mismo puerto por el que se realizó la consulta. Si en cambio no hay lugar entonces se indica colocando un 1 en el indicador de la tupla `[(0,0)!0,(0,0)!1,1]`.

4. Modelado y Simulación

4.1. Pruebas parciales

4.1.1. Cinta Transportadora

Para este ejemplo se utilizó una cinta transportadora de 6 celdas. El tiempo entre ejecuciones de las reglas en las transiciones locales se configuró en 100 ms, mientras que el tiempo en las reglas de las transiciones en los puertos de entrada se configuró en 1 ms. Con el primer tiempo se modeliza la velocidad de avance de la cinta transportadora.

Los valores iniciales de las celdas se configuraron mediante el archivo `cinta.val` cuyo contenido se muestra a continuación:

$(0,0) = [0.6, 0, 0]$
 $(0,1) = [0.5, 0, 0]$
 $(0,2) = [0.4, 0, 0]$
 $(0,3) = [0.3, 0, 0]$
 $(0,4) = [0.2, 0, 0]$
 $(0,5) = [0.1, 0.3, 0]$

Se observa que cada celda tiene asociada una tupla de tres elementos. El primer elemento de estas tuplas identifica a la fecha de vencimiento de la celda. Esta fecha de vencimiento se mantiene fija a lo largo de la simulación aunque al momento de comparar la fecha de vencimiento de un producto con el de la celda a esta última se le suma el tiempo actual `time/1000`.

Los eventos de entrada: a) arribo de productos a la cinta y b) respuestas del inventario se manejan mediante el archivo `cinta.ev` cuyo contenido se muestra a continuación:

```

00:00:00:111 in2 0
00:00:00:221 in3 1
00:05:00:000 in 300.4
00:06:00:000 in3 1
00:10:00:000 in 600.2
00:11:00:000 in2 1
00:15:00:000 in 900.5
00:16:00:000 in3 0
00:17:00:000 in4 0
00:18:00:000 in5 0
00:19:00:000 in6 0

```

Para analizar el comportamiento del autómata celular que utiliza las reglas antes mencionadas y la secuencia de eventos de entrada del archivo `cinta.ev` se ejecutó el simulador con el parámetro `-v` de modo de tener una salida *verbosa*. El primer producto que ingresa en la cinta lo hace mediante el archivo `cinta.val`. La salida de la prueba es la siguiente:

```

0 / L / Y / 00:00:00:100:0 / out2 / -1.0 /
0 / L / X / 00:00:00:111:0 / in2 / 0.0 /
0 / L / Y / 00:00:00:212:0 / out3 / -1.0 /
0 / L / X / 00:00:00:221:0 / in3 / 1.0 /
0 / L / Y / 00:00:00:221:0 / out3 / 0.3 /
0 / L / X / 00:05:00:000:0 / in / 300.4 /
0 / L / Y / 00:05:00:201:0 / out3 / -1.0 /
0 / L / X / 00:06:00:000:0 / in3 / 1.0 /
0 / L / Y / 00:06:00:000:0 / out3 / 300.4 /
0 / L / X / 00:10:00:000:0 / in / 600.2 /
0 / L / Y / 00:10:00:101:0 / out2 / -1.0 /
0 / L / X / 00:11:00:000:0 / in2 / 1.0 /
0 / L / Y / 00:11:00:000:0 / out2 / 600.2 /
0 / L / X / 00:15:00:000:0 / in / 900.5 /
0 / L / Y / 00:15:00:201:0 / out3 / -1.0 /
0 / L / X / 00:16:00:000:0 / in3 / 0.0 /
0 / L / Y / 00:16:00:101:0 / out4 / -1.0 /
0 / L / X / 00:17:00:000:0 / in4 / 0.0 /
0 / L / Y / 00:17:00:101:0 / out5 / -1.0 /
0 / L / X / 00:18:00:000:0 / in5 / 0.0 /
0 / L / Y / 00:18:00:101:0 / out6 / -1.0 /
0 / L / X / 00:19:00:000:0 / in6 / 0.0 /

```

Esta salida se obtuvo del archivo log del modelo *top* reteniendo solamente los eventos de entrada (X) y salida (Y). El primer producto ingresa a la cinta durante la inicialización y por ese motivo no aparece aquí. Ese primer producto tiene una fecha de vencimiento de 0,3. En el tiempo 0 se evalúan todas las celdas y el producto avanza una celda hacia la izquierda alcanzando la celda (0, 4) de la Figura 7. La siguiente ejecución de las reglas se produce a los 100 ms y sólo se evalúan las celdas en el vecindario inverso de las celdas que sufrieron modificaciones en el paso anterior. En este paso el producto no avanza un casillero más hacia la izquierda pues en la comparación de (0,0)!1 con (0,0)!0 + time/1000 de las primera y segunda regla el producto se queda en la celda (0, 4) cuyo campo ID es 0,2. Entonces en este paso se consulta al inventario si hay lugar disponible en la columna conectada a la salida out2 enviando un -1 por el puerto de salida. Un tiempo después llega la respuesta del inventario indicando con un 0 que no hay lugar, entonces el producto avanzará una posición en la celda. Se repite la consulta al inventario pero esta vez desde la salida out3. Al tiempo llega la respuesta del inventario indicando que hay lugar e instantáneamente la cinta descarga el producto por la salida. Luego de un tiempo arriba un producto de valor de fecha de vencimiento 300,4 ms. Este producto avanza en la cinta hasta la posición (0, 3), consulta si hay lugar en el inventario y se descarga allí. De igual manera se procede con el producto que ingresa a la cinta a continuación de valor de fecha de vencimiento 600,2 ms. Finalmente, el último producto de valor 900,5 ms que avanza hasta la celda (0, 3) y consulta al inventario, ante la respuesta de éste el producto avanza una posición más en la cinta transportadora y vuelve a consultar. Esta operación se repite y el producto alcanza el final de la cinta transportadora y ante la falta de lugar en

el inventario entonces el producto permanece en la cinta transportadora.

Para tener mayor detalle de la ejecución de las reglas se puede observar la salida del simulador en modo *verboso*. Allí se puede observar que cada vez que se evalúa una regla en una celda se determina su vecindario inverso y de éste se determinan las celdas que podrían verse afectadas por un cambio en el valor de dicha celda. De esta manera no están ejecutándose siempre todas las reglas para todas las celdas. Esto se puede observar en el siguiente extracto de la salida:

```

+-----+
New Eval: in-regla - 00:05:00:000:0 - cinta(0,5)
Eval: PortIn Reference(in) = 300.4
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.1, 300.4, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:000:0
+-----+
New Eval: cinta-reglas - 00:05:00:001:0 - cinta(0,4)
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.2, 300.4, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:001:0
+-----+
New Eval: cinta-reglas - 00:05:00:001:0 - cinta(0,5)
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.1, 0, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:001:0
+-----+
New Eval: cinta-reglas - 00:05:00:101:0 - cinta(0,3)
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.3, 300.4, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:101:0
+-----+
New Eval: cinta-reglas - 00:05:00:101:0 - cinta(0,4)
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.2, 0, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:101:0
+-----+
New Eval: cinta-reglas - 00:05:00:101:0 - cinta(0,5)
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.1, 0, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:101:0
+-----+
New Eval: cinta-reglas - 00:05:00:201:0 - cinta(0,2)
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.4, 0, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:201:0
+-----+
New Eval: cinta-reglas - 00:05:00:201:0 - cinta(0,3)
Eval: SendToPort Reference(output, -1) at time 00:05:00:201:0
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.3, 300.4, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:201:0
+-----+
New Eval: cinta-reglas - 00:05:00:201:0 - cinta(0,4)
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.2, 0, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:201:0
+-----+
New Eval: cinta-reglas - 00:05:00:201:0 - cinta(0,5)
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.1, 0, 0]) at time
      ↪ 00:05:00:201:0
+-----+
New Eval: inventario-regla - 00:06:00:000:0 - cinta(0,3)
Eval: PortIn Reference(in3) = 1
Eval: SendToPort Reference(output, 300.4) at time
      ↪ 00:06:00:000:0
Eval: SendToNCPort Reference(out, [0.3, 0, 0]) at time
      ↪ 00:06:00:000:0

```

En esta prueba se observa que se produce un evento de entrada en 00 : 05 : 00 : 000 que modifica el estado de la celda (0,5). Este evento es el ingreso de un producto de fecha de vencimiento 300,4. La demora de las reglas asociadas con entradas es de 1 ms. En 00 : 05 : 00 : 001 se determina el vecindario inverso de la celda (0, 5), que consiste en las celdas (0, 4) y (0, 5), y se evalúa cómo repercuten los cambios en la celda (0, 5). Para las celdas en este vecindario se ejecutan la primera y segunda regla y el producto avanza a la celda (0, 4) y se quita de la (0, 5). Las reglas locales se ejecutan cada 100 ms, por lo tanto en el tiempo 00 : 05 : 00 : 101 se evalúa el vecindario inverso de las celdas que sufrieron cambios en el paso anterior. Este vecindario inverso está compuesto por las celdas (0, 3), (0, 4) y (0, 5). En este paso el producto avanza una celda más hacia la izquierda pasando a la celda (0, 3). Nuevamente se esperan 100 ms para volver a evaluar las reglas y en este caso se determina que la celda (0, 3) es la que le corresponde al producto y entonces se consulta inventario por la disponibilidad de lugar. Se puede observar que como el valor de las celdas evaluadas en 00 : 05 : 00 : 201 no cambió entonces no se vuelven a evaluar las reglas locales. La respuesta del inventario llega a la celda (0, 3) en el tiempo 00 : 06 : 00 : 000.

4.1.2. Inventario

4.1.3. Despacho de Productos

5. Conclusiones

A lo largo del desarrollo del trabajo práctico con la herramienta CD++ en su versión *standalone* se encontraron algunos inconvenientes: a) cuando se incluye un bloque generador se genera un error que indica que el bloque no está registrado, b) cuando se ejecuta el simulador avanzado con el parámetro `-r` se produce una excepción y se aborta la ejecución y c) no existe un visualizador para el simulador avanzado ya que los que hay (*drawlog* y *webviewer*) no permiten representar tuplas. Esto último dificulta el ensayo de los autómatas celulares. En lugar de utilizar tres autómatas celulares este trabajo podría haberse resuelto utilizando tan solo uno y definiendo tres zonas cada una con sus reglas. Sin embargo, en la versión avanzada del simulador nos recomendaron no utilizar zonas ya que no están aún debidamente probadas. No obstante los comentarios anteriores, la versión avanzada del simulador presenta como ventaja la incorporación de tuplas que simplifica los vecindarios a utilizar y da mayor flexibilidad.

A. Código Implementado

<https://github.com/TwinT/DEVS-Inventario>