

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA

MODELADO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE LA CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES

Sutin Citterio, Federico Joaquín – LU 118640

Ingeniería en Informática

Zabaleta, Luke Antoine – LU 129071

Ingeniería en Informática

Tutor:

Maimbill, Edgard Hernán, UADE

Colaborador:

Romera, Nahuel Hernán, USAL

Junio 9, 2014



**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

1. Resumen

En el marco de la Ley 1.854/05 llamada Ley de Basura Cero se responsabiliza a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (en adelante CABA) de incrementar los niveles de recuperación y reciclado de residuos sólidos urbanos producidos en la Ciudad.

Para la reglamentación de esta ley, se tomaron en cuenta las cantidades producidas en el año 2004 (en toneladas) por la CABA, cuyo valor era 1.497.656. A partir de este número se proyectaron valores mínimos de reducción de materiales a disposición final para los años posteriores, siendo estos el 30% para el año 2010, 50% para el año 2012, 75% para el año 2017 y la prohibición de la disposición final de materiales tanto reciclables como aprovechables para el año 2020.

En el año 2010 la cantidad de residuos producidos diariamente fue de aproximadamente 5800 toneladas. Ese año se generaron 2,12 millones de toneladas de basura que fueron a disposición final, un 41% mayor a la cantidad producida en 2004 y el doble de lo que debería haber dispuesto para el cumplimiento de las metas indicadas por la Ley.

Entre los objetivos que se planteó la Ciudad para enfrentar esta situación están:

- La concientización de los vecinos y a los grandes generadores acerca de la necesidad de la separación en origen de residuos, diferenciando entre reciclables y basura.
- Formalizar e integrar a los Recuperadores Urbanos en el circuito del servicio público de recolección diferenciada.
- Llevar adelante proyectos ambientales que contemplen la puesta en marcha de sistemas de recuperación y reciclado de residuos sólidos urbanos.
- Aumentar los materiales que regresan como materia prima post consumo a la industria.
- Contribuir al ordenamiento de la cadena de valor del reciclado.

Es visible que el eje de la política de Basura Cero se centra en el reciclaje, que será llevado operativamente por los centros verdes, para llegar a la reducción de materiales a disposición final. A su vez la cantidad de residuos que se procesaran para ser reciclados depende de la separación en origen, es por ello que la concientización y educación son de suma importancia. En otras

palabras, los residuos reciclables que no son separados en origen (con escasas excepciones) son destinados a disposición final mientras que los separados entrarán en un ciclo paralelo de recolección, procesamiento, recuperación y reinserción en el ciclo productivo.

Según una evaluación de mercado que realizó el Instituto de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, se llegó a determinar que los grupos de materiales potencialmente reciclables son: Papeles y Cartones, Plásticos, Vidrios y Metales. Siendo estos un 19,8% de los residuos generados por CABA.

El presente trabajo busca evidenciar el comportamiento del actual sistema de tratamiento de residuos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, a través de un modelo conceptual construido con la plataforma VenSim PLE. El mismo permitirá la visualización de distintos resultados al ajustar en tiempo real parámetros críticos que condicionan el comportamiento del sistema ayudando a la toma de decisiones.

2. Abstract

Under the Law 1846/05, called The Act of Zero Waste, the City of Buenos Aires (CABA here forth) is responsible of increasing the levels of recovery and recycling of materials produced in the City.

For the regulation of this Law it was taken into account the quantities in tons produced during 2004 by CABA. The amount was of 1,497,656. From this number minimum amounts of reduction of disposal material were projected for the following years, being 30% in 2010. 50% in 2012, 75% in 2017, and the prohibition of final disposal of recyclable materials as much as usable in 2020.

In 2010 the amount of waste produced daily was approximately 5800 tons, 2,12 million tons of waste were produced that year that went to final disposal, 41% more than the amount produced in 2004, and twice what it should have produced for meeting the goals specified by the Act.

Among the objectives that the City was raised to address this situation are:

- Awareness of the neighbors and large generators on the need for source separation of waste, trash and recyclable differentiating between
- Formalize and integrate circuit Reclaimers Urban public curbside collection service.
- Carry out environmental projects that include the implementation of systems recovery and recycling of urban solid waste. Aumentar los materiales que regresan como materia prima post consumo a la industria
- Increase material returning post-consumer feedstock industry
- Contribute to the order of the recycling value chain

It is visible that the axis of the Zero Waste policy focuses on recycling, which will be led by operatively green centers to reach the reduction of materials to final disposal. In turn, the amount of waste that will be processed for recycling depends on source separation; therefore consciousness and education are extremely important. In other words the recyclable waste which is not separated at source (with a few exceptions) is sent to final disposal while separated enter

into a parallel cycle of collection, processing, recovery and reintegration into the production cycle.

According to a market assessment conducted by the Institute for Sanitary Engineering, Faculty of Engineering, and University of Buenos Aires was reached to determine which groups are potentially recyclable materials: Paper and Cardboard, Plastic, Glass and Metals, which are the 19.8% of the waste generated by CABA. This paper seeks to show the behavior of the current CABA system of waste treatment, through a conceptual model built with Vensim PLE platform.

The same will display different results to adjust in real time critical parameters that determine the behavior of the system helping decision making.

Contenido

1. Resumen	1
2. Abstract	3
3. Metodología	7
4. Desarrollo	8
5. Capítulo I - Introducción	9
5.1 Información del Proyecto	9
5.2 Diagnóstico de la Problemática	9
5.2.1. Objetivo	9
5.2.2. Límites y alcances	9
5.2.3. Aportes de la investigación	9
5.2.4. Entregables	10
5.2.5. Especificaciones adicionales	10
5.2.6. Organización del Proyecto	10
6. Capítulo II - Relevamiento	11
6.1 Descripción Operativa del Relevamiento	11
C.E.A.M.S.E.	11
Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires	14
6.2 Análisis de los datos	19
Residuos sólidos urbanos a disposición final	19
Comparación Población de CABA vs RSU Dispuestos	20
Comparación PBI per cápita vs RSU Dispuestos	21
Variabilidad mensual de los RSU	22
Cantidad de RSU potencialmente reciclables	23
Capacidad de los Centros Verdes	23
6.3 Proyección de RSU generados	24
7. Capítulo III - Modelado y Simulación de sistemas dinámicos	29
7.1 Conceptos para la construcción de un modelo dinámico	31
Observar los modos de comportamiento del sistema	31

Estructuras de Realimentación.....	33
Construcción de un modelo matemático.....	37
Simulación el comportamiento del modelo.....	39
Modificar la estructura para obtener un comportamiento similar al observado en el sistema real	39
Evaluar con el modelo de simulación las posibles decisiones para llegar a aquellas aceptables y utilizables	40
8. Capítulo IV - Construcción del modelo.....	41
8.1 Diagrama Causal.....	43
8.1.2 Versión 2	45
8.2 Forrester	46
8.2.1 Análisis de las Variables	48
8.3 Módulos.....	52
8.3.1 Módulo de Generación y Tratamiento de Basura.....	52
8.3.2 Módulo de cumplimiento de la Ley de Basura Cero.....	53
9. Capítulo V – Resultados	59
Cumplimiento de las metas impuestas por la Ley de Basura Cero	59
Continuar con las políticas actuales	62
9.1 Hipótesis y Resultados.....	65
Escenario Optimización desde al Año 2010.....	73
Optimización de las políticas a partir del año 2014.....	77
10. Capítulo VI – Conclusiones	88
11. Glosario	90
12. Bibliografía.....	93
Anexo A: Datos usados para estimaciones numéricas.....	95
Anexo B: Formulas.....	100

3. Metodología

El trabajo modela el ciclo de reciclaje de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, para la cual se realizó un relevamiento sobre la normativa vigente, la implementación de la misma y el histórico de cantidades recolectadas y tratadas.

El trabajo busca identificar la problemática existente en el ciclo de reciclado teniendo en cuenta los límites del alcance del presente trabajo. Se identificarán las hipótesis y sistemas dinámicos para ser realizados por medio de la modelización. Estos modelos serán parametrizados y ajustados para ser validados con la realidad y así obtener un modelo que refleje los posibles escenarios futuros.

El modelo final permitirá encontrar las variables claves y factores limitantes que hacen al funcionamiento del sistema. A partir de estos, buscaremos las políticas que lleven a un comportamiento óptimo del sistema para conseguir el fin deseado.

4. Desarrollo

El capítulo 1, “Introducción” está íntegramente dedicado a brindar la información del proyecto necesaria para la comprensión del mismo. Se detallan metodologías utilizadas, software, límites, objetivos, alcance, restricciones, la solución propuesta por el equipo de trabajo, y las características generales del producto final, entre otras.

El capítulo 2, “Relevamiento y análisis de los datos” se expone una descripción de los procedimientos de relevamiento y obtención de datos, y luego su proceso de análisis con los resultados obtenidos.

En el capítulo 3, “Modelado y simulación sobre sistemas dinámicos” se darán los lineamientos básicos como introducción de la tecnología utilizada para desarrollar el Modelo.

En el capítulo 4 “Construcción del Modelo”, se expone una explicación de los pasos y trabajo realizado para la construcción del modelo final que se entrega como producto en este proyecto.

En el capítulo 5, se analizan los “Resultados” de la presente investigación, donde se refleja la práctica explicada en el presente proyecto y documento.

En el capítulo 6, se dictarán finalmente, las "Conclusiones" obtenidas a lo largo de la experiencia adquirida en la construcción, desarrollo y finalización del trabajo final de ingeniería.

5. Capítulo I - Introducción

5.1 Información del Proyecto

Nombre del Proyecto:	Proyecto Final de Ingeniería en Informática
Nombre del Producto:	Modelo de Tratamiento de Residuos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Fecha de Inicio:	15 de Diciembre de 2011
Fecha de aprobación de la propuesta:	18 de Mayo de 2012
Fecha de entrega de documentación:	9 de Junio de 2014
Fecha de exposición oral:	27 de Julio de 2014

5.2 Diagnóstico de la Problemática

5.2.1. Objetivo

El objetivo principal de la propuesta es diseñar un modelo de simulación asistido por computadora que brinde bases científicas y matemáticas que nos permita evaluar el impacto de la aplicación de decisiones operativas para lograr cumplir con los objetivos de la Ley de Basura Cero.

La solución busca ayudar a optimizar la capacidad de reciclaje acorde al crecimiento de la cantidad de basura separada en origen de manera tal que se logren los objetivos establecidos por Ley.

5.2.2. Límites y alcances

- El presente trabajo se ve limitado al proceso de separación en centros verdes, siendo este proceso solo una parte de un modelo que engloba la recolección, tratamiento y disposición final.
- Se considera que el ingreso a nuestro sistema es la cantidad de residuos sólidos urbanos reciclables. Los mismos son recolectados en un circuito paralelo al actual.
- Se considera que no hay un límite físico para disposición final.

5.2.3. Aportes de la investigación

Se desarrollará una propuesta de solución cuantificable que permita optimizar las obras necesarias para un reciclaje eficiente y un modelo que permita diseñar y ensayar políticas de decisiones operativas del servicio para maximizar el rendimiento del factor de utilización del capital invertido. Sabiendo cuando es necesario la difusión de la separación en origen o la mejora de la capacidad de los centros verdes.

5.2.4. Entregables

- Documento del Proyecto final de Ingeniería en Informática.
- Modelo en versión final.

5.2.5. Especificaciones adicionales

Software utilizado para realizar todo el proyecto:

- MATLAB RE 9a
- Microsoft Excel 2007
- Vensim PLE / PLE PLUS

5.2.6. Organización del Proyecto

Participantes: Federico Joaquin Sutin Citterio y Luke Antoine Zabaleta

Tutor: Edgard Hernán Maimbil

Colaboradores: Nahuel Hernán Secundino Romera

6. Capítulo II - Relevamiento

6.1 Descripción Operativa del Relevamiento

En este capítulo, describiremos como se realizó la etapa de relevamiento y los resultados obtenidos de la misma.

C.E.A.M.S.E.

Durante esta etapa interactuamos varias veces con la responsable de la Biblioteca del CEAMSE a través de correos electrónicos, la cual nos brindó múltiples fuentes de información como tesis, investigaciones o extractos de papers con relación al tratamiento de residuos. Pero nos encontramos con datos desactualizados, inexistentes o que no contaban con métricas representativas con respecto al objetivo que tenía nuestro proyecto final sobre el tratamiento de residuos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Por lo que nos vimos obligados a concretar varias reuniones con la gente del CEAMSE, en las cuales logramos explicarles en detalle exactamente cuáles eran los datos que necesitábamos para nuestro sistema.

Una vez aclarado esto, durante las entrevistas que tuvimos en el centro del CEAMSE ubicado en Pompeya, nos explicaron cuáles eran las funciones del CEAMSE dentro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la Provincia de Buenos Aires. Sólo nos enfocaremos en las correspondientes funciones del CEAMSE dentro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, ya que las funciones de este dentro de la Provincia de Buenos Aires no están dentro del alcance de este proyecto final de ingeniería.

En la ciudad de Buenos Aires el CEAMSE ejerce las funciones de supervisión y control de los servicios de higiene urbana prestados por las distintas empresas concesionarias. Las empresas concesionarios son CLIBA, AESA, URBASUR, NITTIDA e INTEGRA. Ellas se encargan de la recolección de los residuos sólidos urbanos dentro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Actualmente conviven dos circuitos de recolección dentro de CABA, el convencional y el diferenciado. Ambos se detallan a continuación.

Dentro del circuito convencional de recolección cada una de estas empresas tiene definido

un área de recolección de residuos dentro de CABA, para luego llevar estos residuos a la estación de transferencia más cercana. El CEAMSE cuenta con distintas estaciones de transferencia ubicadas dentro de CABA. Las denominadas Estaciones de Transferencia son instalaciones donde los residuos de los vehículos recolectores son transferidos a equipos de transporte de gran capacidad de carga, encargados de llevarlos a su destino final. Se trata de edificios total o parcialmente cerrados, diseñados con una estética que no afecte el paisaje y que por una necesidad operativa se emplazan en puntos neurálgicos de las zonas de recolección, lo más cerca posible al origen de los residuos. Los principales beneficios derivados del uso de las Estaciones de Transferencia son la economía de transporte, el ahorro de trabajo y energía, la reducción de costos por desgaste y/o roturas de equipo, la mayor versatilidad, la mejor resolución del frente de descarga en los rellenos y las menores emisiones. Las Estaciones de Transferencia operadas por CEAMSE se encuentran en Colegiales, Pompeya, Flores, Zavaleta y Almirante Brown.

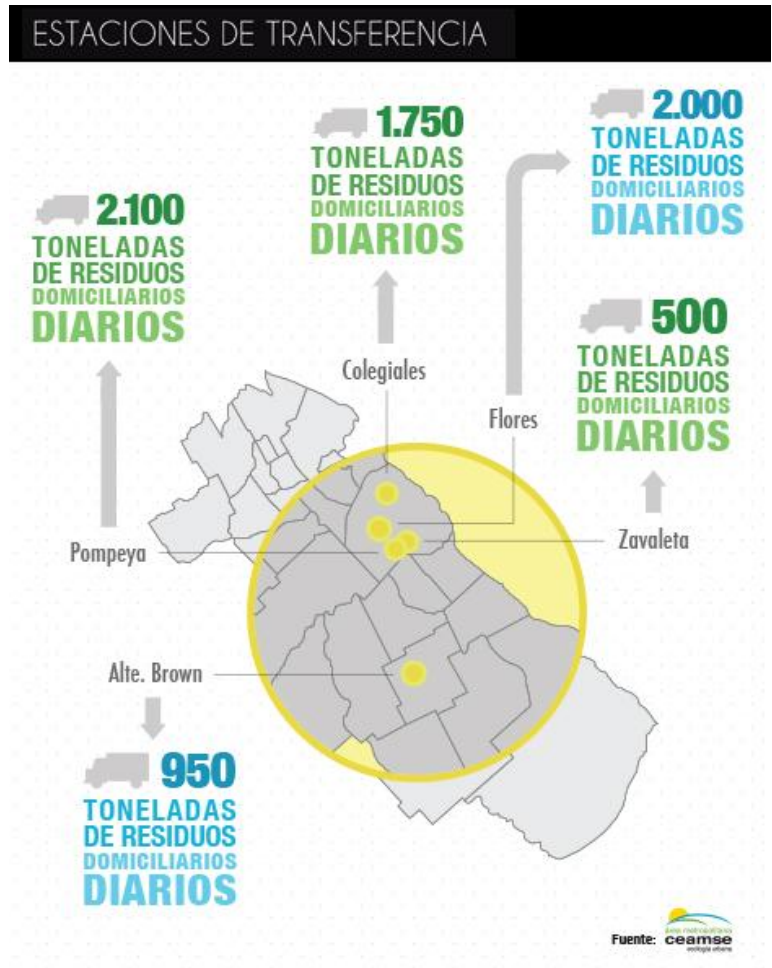


Figura 1: Estaciones de Transferencia.

Los destinos finales posibles para los residuos luego de pasar por las estaciones de transferencia son los complejos ambientales o directamente para realizar relleno sanitario. El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactando para reducir su volumen.

El trabajo primordial de CEAMSE se realiza en los denominados Complejos Ambientales. Estos son predios con diversas instalaciones que reciben los residuos sólidos urbanos para su

tratamiento y disposición final. Por tratamiento entendemos un conjunto de procesos realizados con el objetivo de reducir el volumen de residuos a ser colocados en un relleno sanitario y minimizar su impacto ambiental.

Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Durante el relevamiento, otra fuente de información importante fue la página web del Gobierno de CABA y una reunión que supimos tener con un coordinador de la Dirección de Reciclado de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, donde pudimos recolectar la siguiente información.

A partir de la creación de la ley 1854/05 de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, también conocida como Ley de Basura Cero se crea un circuito diferenciado para la recolección, la cual propone la reducción progresiva de la disposición final de los residuos sólidos urbanos, con plazos y metas concretas, por medio de la adopción de un conjunto de medidas orientadas a la reducción en la generación de residuos, la separación selectiva, la recuperación y el reciclado. Este circuito diferenciado consiste en que en un principio los grandes generadores de residuos sólidos urbanos, como son las grandes empresas que se encuentran en CABA, realicen la separación en origen. Posteriormente a esto, se unen a este circuito diferenciado los generadores domésticos, es decir los hogares particulares. Cuando hablamos de separación en origen nos referimos a una primera clasificación entre los residuos que pueden ser reciclados y aquellos que no. Podemos encontrar como reciclables a los papeles o cartones, vidrios, metales o plásticos. Dentro del proceso de la separación en origen, todos los residuos reciclables deben ser dispuestos en bolsas verdes y los no reciclables en bolsas negras para lograr una diferenciación.

Una vez realizada la separación en origen, las bolsas verdes son llevadas por el circuito diferenciado de recolección a los centros verdes y las bolsas negras con material no reciclable continúan con el circuito de recolección convencional.

Los centros verdes, son infraestructuras que permiten tareas de selección, enfardado y acopio de materiales reciclables para posterior venta a la industria. Cada empresa prestataria del servicio público de higiene urbana debe construir en su zona de influencia al menos un Centro

Verde. Éstos se suman a la Planta de Clasificación de Materiales Reciclables de la Ciudad.

Los Centros Verdes operan desde una lógica completamente distinta a como lo hacen las instancias de intermediación en el circuito del reciclaje convencional. La ausencia de un interés exclusivamente maximizador de las ganancias permitirá elevar los precios y mejorar aspectos materiales de la vida de los recuperadores. Su funcionamiento favorece el ordenamiento de la actividad de la recuperación y la disminución de los puntos de concentración de recuperadores y los conflictos que dicha concentración genera. Los Centro Verdes logran un impacto positivo en las condiciones de vida y trabajo de los recuperadores, así como favorecerán la higiene y el cuidado ambiental de la Ciudad.

Es importante realizar la primer clasificación en origen con criterio, para facilitar la segunda separación que se realizará en los centros verdes por los recuperadores urbanos.

En la tabla (ver Tabla I) se describen los residuos reciclables que pueden ser enviados a los centros verdes.

TABLA I: Clasificación de Residuos Sólidos Urbanos

Información para el sistema de recolección diferenciada puerta a puerta. Donde los materiales reciclables son recolectados por los recuperadores urbanos y comercializados luego de su separación en las plantas de clasificación.		
	Hay que separar para reciclar	No hay que separar para reciclar
<p>Importante: Los materiales deben estar limpios y secos</p> <p>Información verificada por Cristina Lazcano de la Cooperativa el Ceibo, y Valentín Herrera de la Cooperativa Ecológica Reciclando Sueños.</p>		
Papel	<ul style="list-style-type: none"> • Periódicos y Revistas. • Papeles (impresos o no). • Sobres comunes o de papel madera. • Remitos, facturas, formularios, legajos. • Cajas, envases de papel. • Carpetas. • Folletos y guías telefónicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Papel carbónico y de fax. • Plastificados (envoltorios de golosinas). • Catálogos. • Papel de fotografía, planchas de etiquetas. • Servilletas de papel, papel tissue, papel de cocina. • Envases de comida (sucios).
Cartón y Tetra Brick	<ul style="list-style-type: none"> • Envases de alimentos, bebidas y otros. • Envases de cartón de alimentos y bebidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vasos de cartón encerado.

Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas y envases de alimentos. • Bebidas, etc. • Vasos y platos. • Frascos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Focos. • Tubos fluorescentes. • Lamparitas. • Cristales planos (de ventanas, automóviles). • Espejos, lentes, faroles de autos, tazas, platos y macetas de cerámica.
Trapos y Telas	<ul style="list-style-type: none"> • Ropa en desuso. • Sábanas y manteles viejos. • Trapos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Trapos y telas impregnadas, o sucias.
Metales	<ul style="list-style-type: none"> • Latas. • Ollas. • Chapas. • Hierro. • Metales fundidos y aleaciones. • Caños de plomo. • Chapa de zinc. • Aluminio Cobre y Bronce. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercurio (Es un metal toxico). • Baterías de celulares. • Metales ferrosos (caja de velocidades). • Autopartes metálicas mecánicas. (Crucetas, diferenciales, chasis). • Pilas.
Plásticos	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas. • Envases de alimentos y de bebidas, etc. • Vajilla y cubiertos descartables. • Sillas, macetas. • Bidones, bolsitas de nylon. • Sachets. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bidones con restos de agroquímicos o fertilizantes. • Bidones o envases con restos en su interior no descrito en su envase. (Envases sin rotulo de producto). • Celofán.
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Radiografías médicas. • Tergopor. (no las bandejas de comida). • Baterías de los autos. • Motores de electrodomésticos y heladeras. • Computadoras. • Colchones de goma espuma y lana. • Goma. • CDs y DVDs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pañales y apósitos. • Madera. • Colchones de estopa. • Cuero. • Residuos peligrosos. • Patógenos: jeringas, gasas, etc. • Escombros. (recolección especial).

Leyendo todo lo referido a residuos en el boletín oficial que figura en la web del gobierno de CABA. Nos encontramos con la Ley 1.854 “Basura Cero” promulgada en enero de 2006 y

reglamentada en mayo de 2007 respecto a gestión de los residuos sólidos urbanos, la cual está orientada a la eliminación progresiva de los rellenos sanitarios. Haciendo principalmente hincapié en la necesidad de la separación en origen.

La Ley 1.854 de Basura Cero, plantea la adopción de medidas dirigidas a la reducción de la generación de residuos, la recuperación y el reciclado así como también la disminución de la toxicidad de la basura y la asunción de la responsabilidad del fabricante sobre sus productos.

Los objetivos principales que busca satisfacer el Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, para cumplir la Ley de Basura Cero son :

- Concientizar a los vecinos y a los grandes generadores acerca de la necesidad de la separación en origen de residuos, diferenciando entre reciclables y basura.
- Minimización de los residuos a enterrar mediante la consolidación de práctica de separación de materiales reciclables en origen.
- Formalización e integración de los Recuperadores Urbanos en el circuito del servicio público de recolección diferenciada.
- Garantizar los espacios necesarios para la disposición final, incorporando nuevas tecnologías.
- Proyectos ambientales que contemplan la puesta en marcha de sistemas de recuperación y reciclado de residuos sólidos urbanos.
- Aumento de los materiales que regresan como materia prima post consumo a la industria.
- Contribuir al ordenamiento de la cadena de valor del reciclado.

Las Metas de reducción progresiva que se plantean en la esta Ley, tomando como línea base la cantidad de 1.497.656 toneladas de residuos enviados a relleno sanitario durante el año 2004 son la reducción de:

- 30% para el año 2010
- 50% para el año 2012
- 75% para el año 2017
- Se prohíbe la disposición final de materiales tanto reciclables como aprovechables para

el año 2020

La cantidad de toneladas máximas a ser dispuestas en rellenos sanitarios, son las detalladas a continuación (ver Tabla II).

TABLA II: Cantidad de toneladas máximas por año para disposición final según Ley de Basura Cero.

Cantidad de toneladas máximas		
Toneladas máximas a ser dispuestas en relleno sanitario Año 2010	Toneladas máximas a ser dispuestas en relleno sanitario Año 2012	Toneladas máximas a ser dispuestas en relleno sanitario Año 2017
1.048.359	748.828	374.414

El Gobierno de CABA, para lograr cumplir las metas planteadas con el fin de cumplir la Ley de Basura Cero. Realizó la integración a los “Cartoneros”, como Recuperadores Urbanos en el circuito del servicio público de recolección diferenciada y en los centros verdes para realizar la separación de la basura reciclable de la que no lo es.

Los centros verdes nacen por necesidad lograr cumplir la Ley 1.854 de Basura Cero de gestión integral de residuos sólidos urbanos. Son infraestructuras que permiten tareas de selección, envasado y acopio de materiales reciclables para posterior venta a la industria.

Actualmente existen 10 centros verdes, ubicados en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Algunos de estos corresponden a cooperativas de recolectores, comúnmente llamados “cartoneros” que fueron adheridos al sistema de gestión de residuos y otros que fueron creados por el Gobierno de CABA y puestos a disposición de otros recolectores informales y/o cooperativas que se encontraban sin un lugar de trabajo estable.

Según nos comentó el coordinador de la Dirección de Reciclaje del Gobierno de CABA, planean construir 17 centros para antes del año 2020.

Esta información relevada tanto de los documentos entregados por la biblioteca del CEAMSE, el coordinador de la Dirección de Reciclaje de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

y por último la página web del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Nos brindaron el conocimiento necesario para la confección del Modelo Causal con sus variables y las interrelaciones de las mismas.

Todas las métricas obtenidas durante la etapa de relevamiento contribuyeron a la realización de un Excel que fue la entrada para nuestro Modelo de Tratamiento de Residuos. En el cual nos basamos para el análisis del Modelo Causal y terminamos confeccionando el Modelo de Forrester con las funciones propias del modelo (Ver Anexo).

6.2 Análisis de los datos

Residuos sólidos urbanos a disposición final

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires genera anualmente una gran cantidad de residuos sólidos urbanos. Estos residuos como vimos en los apartados anteriores son dispuestos en rellenos sanitarios por el CEAMSE, el cual tiene la obligación de llevar estadísticas públicas de dichas cantidades. Los datos publicados desde el año 1996 son los siguientes (ver Tabla III)

TABLA III: Cantidad de toneladas de residuos a disposición final por año.

Año	RSU Dispuestos
1996	1.590.754,60 Tn
1997	1.671.849,40 Tn
1998	1.817.550,20 Tn
1999	1.977.252,80 Tn
2000	1.953.375,10 Tn
2001	1.835.934,30 Tn
2002	1.443.046,60 Tn
2003	1.421.842,10 Tn
2004	1.492.867,10 Tn
2005	1.477.147,40 Tn

Año	RSU Dispuestos
2006	1.536.452,80 Tn
2007	1.645.368,00 Tn
2008	1.884.460,20 Tn
2009	1.847.748,40 Tn
2010	2.110.122,20 Tn
2011	2.276.813,20 Tn
2012	2.131.078,40 Tn

Comparación Población de CABA vs RSU Dispuestos

Se analizó la población como variable de correlación respecto de la cantidad de RSU producidos por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Para ello se compararon datos de población de CABA y de los RSU dispuestos durante un gran periodo temporal. Como podemos ver en la figura (Fig. 2) no existe una relación fuerte entre la población de la Ciudad y los Residuos Sólidos generados.

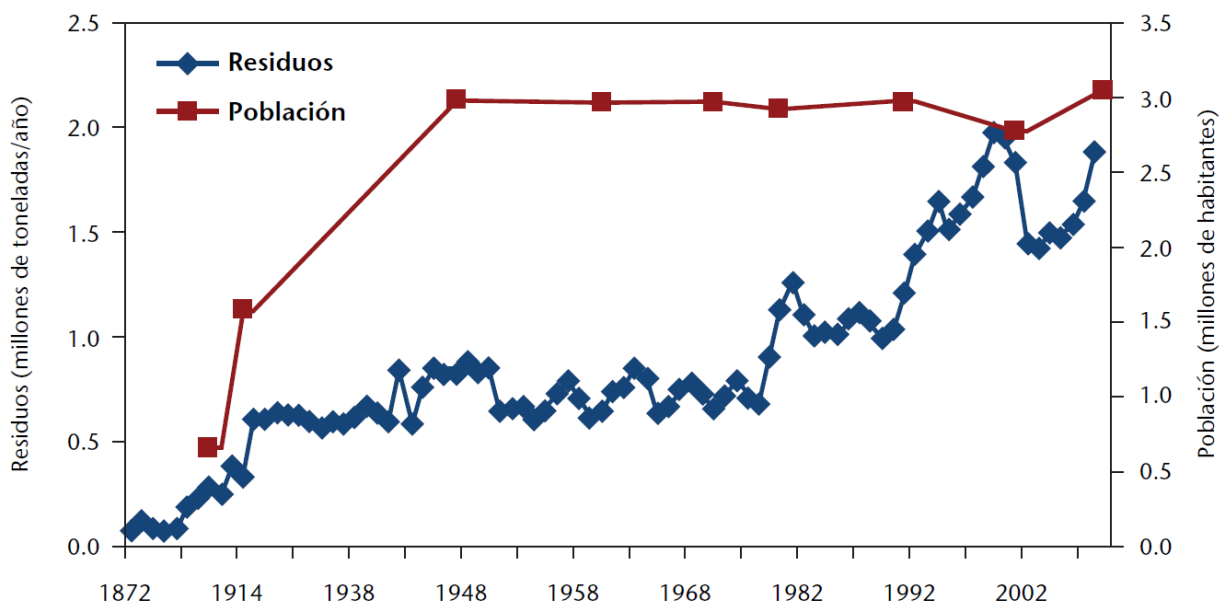


Figura 2:¹ Generación de residuos sólidos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires desde 1872 hasta el presente comparada con el crecimiento poblacional de la urbe. Fuentes: Prignano 1998. Fundación Metropolitana. Dirección General de Estadística Municipal de la Ciudad de Buenos Aires e INDEC.

Comparación PBI per cápita vs RSU Dispuestos

Se analizó el PBI per cápita buscando si existía una correlación respecto a los RSU dispuestos. Como se observa en la figura (Fig. 3) existe una relación entre la cantidad de residuos sólidos generados en la ciudad y el PBI per cápita. En el año 2012 se ve una disminución de los RSU dispuestos, lo que puede ser explicado por 244.800 Tn que no fueron dispuestas gracias a la puesta en funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos áridos.

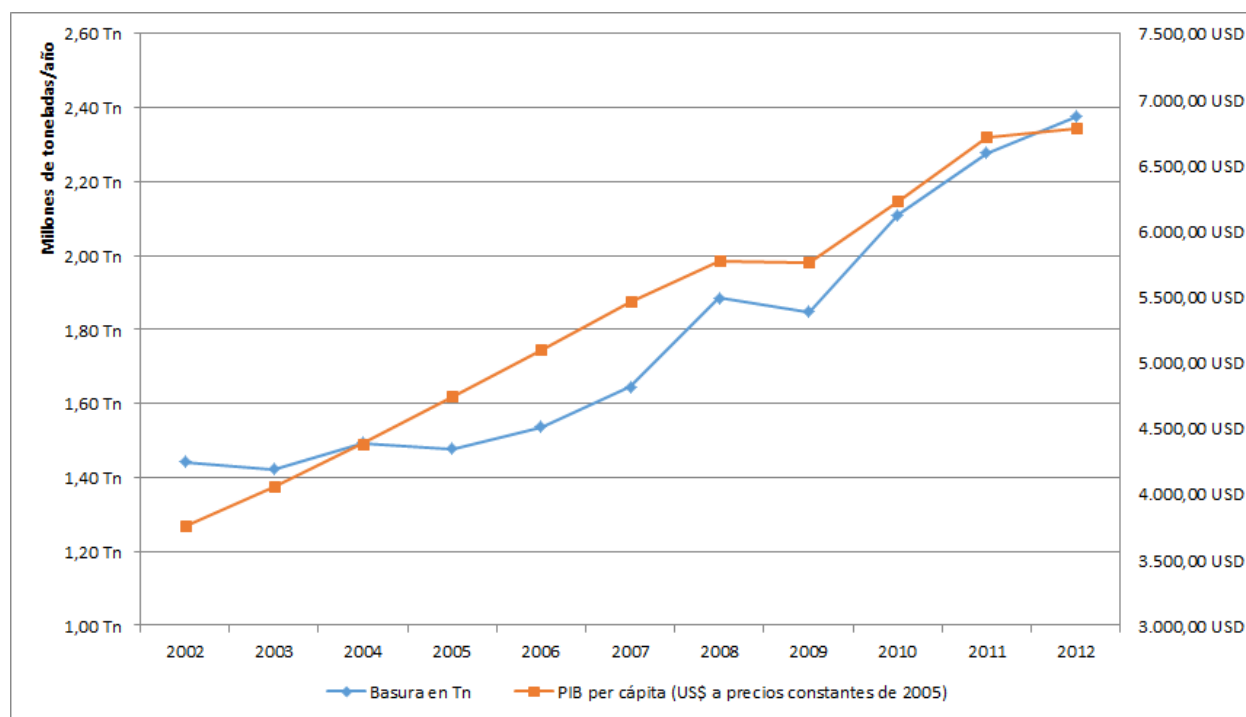


Figura 3: Evolución del PBI y de los RSU dispuestos desde el año 1996. Elaboración propia.

¹ Realizado por María Semmartin y otros, Facultad de Agronomía, UBA en el informe "Los residuos sólidos urbanos. Doscientos años de historia porteña"

Variabilidad mensual de los RSU

Se analizó la variabilidad mensual de los RSU dispuestos para encontrar una relación con el mes del año. El análisis se realizó durante los años 2010 y 2013 para el primer semestre.

Como se puede ver en la tabla (ver Tabla III) y en la figura (Fig. 4) no existe una relación entre el mes del año y la cantidad de residuos sólidos generados. Lo que sí se puede observar es que existe un comportamiento relacionado al del PBI per cápita cuando se toma un intervalo de 12 meses (Año calendario). Por este motivo alimentaremos el modelo con datos mensuales que corresponden al 1/12 partes de lo generado durante el año calendario.

Tabla IV: Correlación de toneladas de residuos según mes desde año 2010 hasta 2013.

Meses	2010	2011	2012	2013
Enero	164.512,25 Tn	201.322,10 Tn	172.671,72 Tn	161.561,70 Tn
	16%	18%	16%	20%
Febrero	158.121,11 Tn	170.580,37 Tn	172.663,86 Tn	142.715,80 Tn
	15%	15%	16%	18%
Marzo	177.289,42 Tn	194.494,38 Tn	188.618,25 Tn	130.365,40 Tn
	17%	17%	18%	16%
Abril	168.375,44 Tn	190.324,72 Tn	177.224,84 Tn	126.217,70 Tn
	16%	17%	17%	16%
Mayo	180.911,77 Tn	185.230,34 Tn	185.957,19 Tn	122.937,60 Tn
	18%	16%	17%	15%
Junio	175.695,15 Tn	180.765,22 Tn	166.959,26 Tn	114.620,50 Tn
	17%	16%	16%	14%
	1.024.905,14 Tn	1.122.717,13 Tn	1.064.095,12 Tn	798.418,70 Tn

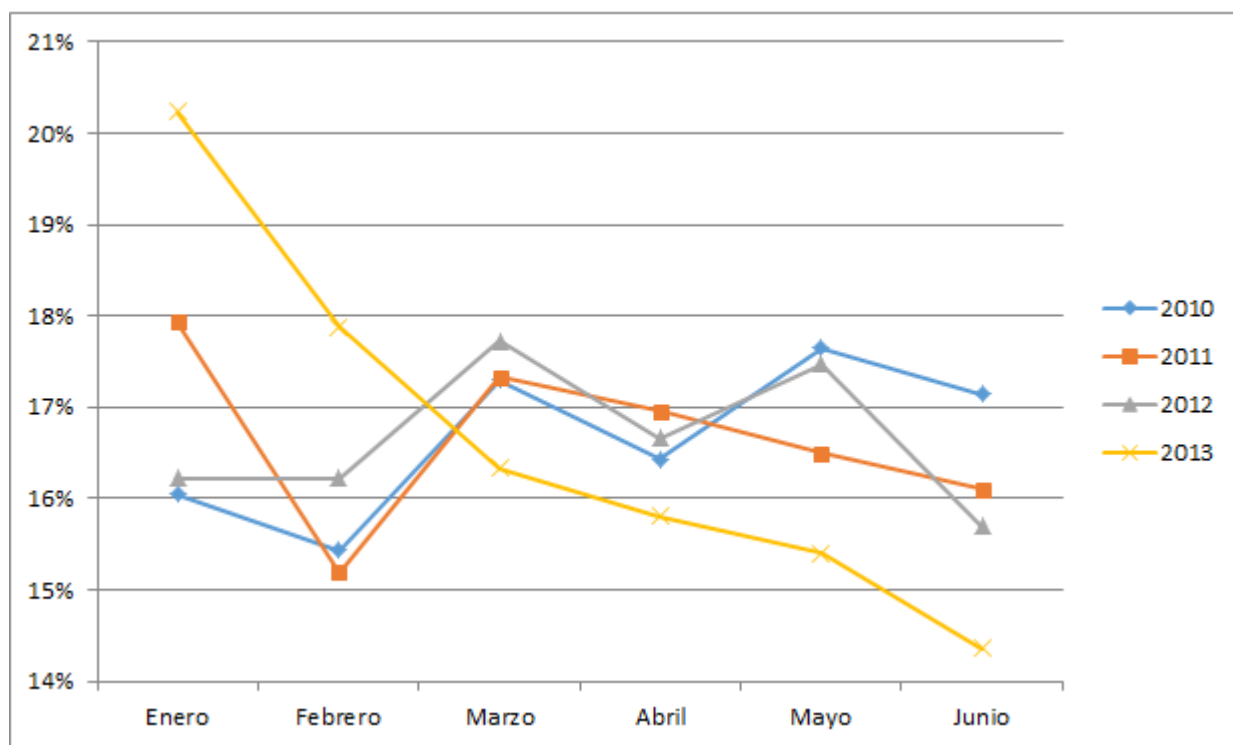


Figura 4: Variabilidad histórica de la composición de los residuos por mes.

Cantidad de RSU potencialmente reciclables

A partir del informe de la FIUBA, en el que se analiza a partir de muestras de RSU a disposición final, se determina que la cantidad máxima de RSU potencialmente reciclables corresponde al 19.8%, sin embargo se habla de un porcentaje del 14% de los RSU generados.

Este dato surge del porcentaje de materiales reciclables que actualmente se disponen, de la viabilidad económica de su reciclado y de la predisposición y participación de los vecinos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires de separar en origen.

Capacidad de los Centros Verdes

Actualmente existen 10 Centros Verdes con una capacidad estimada en 2000 Tn/Mes. Si bien el relevamiento remite a datos del 2013 esta cantidad creció a través de la formalización de recicladores urbanos. En consecuencia no se agregó capacidad al sistema sino que solo se formalizó la misma. Por otro lado, finales del año 2013 se agregaron efectivamente 1200 Tn/Mes

al sistema de reciclaje.

6.3 Proyección de RSU generados

El modelo será alimentado por la cantidad de RSU generado mensualmente por lo que es necesario inferir cuál será ese valor en el futuro. Para ello se realizó un análisis de los posibles comportamientos de la cantidad de RSU generados desde el año 2002. Se toma a partir del año 2002 ya que la crisis económico social del 2001 generó una inestabilidad y un cambio en el comportamiento del PBI. A partir del año tomado, tanto el PBI como la cantidad de RSU generados se comportaron de una manera estable.

Es importante destacar que la información con la que contamos corresponde a la cantidad de disposición final y no la cantidad de residuos generados. Se analizaron posibles factores que alteren la inferencia de los RSU generados a partir de los dispuestos.

Según información brindada por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires la cantidad de reciclaje realizada por los circuitos informales se mantuvo constante desde el año 2002 por lo que esto no debería influir. Por otro lado nos informaron que a partir de mitad del año 2012 se inauguró una planta de tratamiento de residuos áridos con una capacidad de 1700 Tn diarias, las cuales no fueron dispuestas a partir de ese momento.

Considerando que a partir del 01/06/2012 al 31/12/2012 hubieron 144 días hábiles y se incrementó en 244.800 Tn al valor informado por el CEAMSE para el 2012, quedando los siguientes valores:

Tabla V: Evolución histórica de los residuos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Año	RSU Dispuestos	Año	RSU Dispuestos
2002	1.443.046,60 Tn	2008	1.884.460,20 Tn
2003	1.421.842,10 Tn	2009	1.847.748,40 Tn
2004	1.492.867,10 Tn	2010	2.110.122,20 Tn
2005	1.477.147,40 Tn	2011	2.276.813,20 Tn
2006	1.536.452,80 Tn	2012	2.375.878,40 Tn

A partir de estos datos se buscó una curva de ajuste a través de las siguientes regresiones.

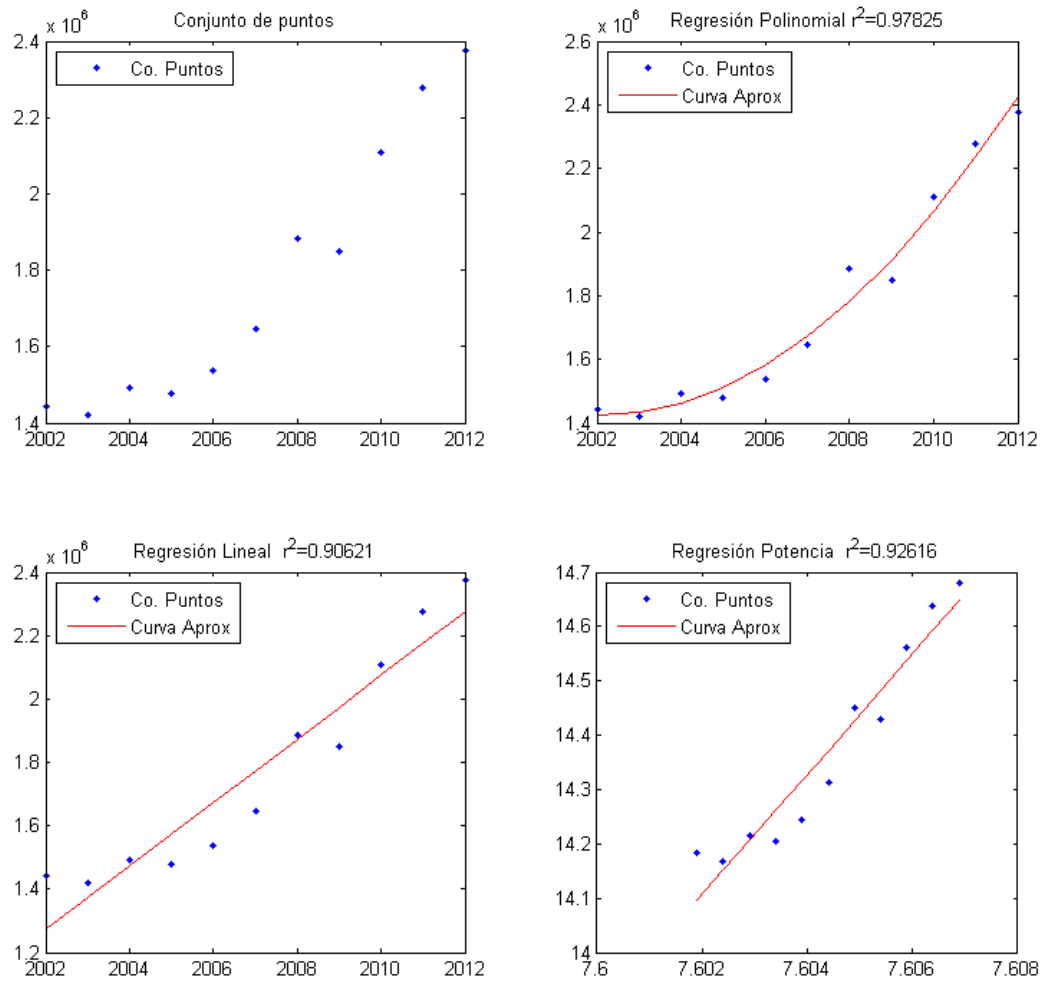


Figura 5: Curvas de ajuste realizadas con MATLAB (Parte 1).

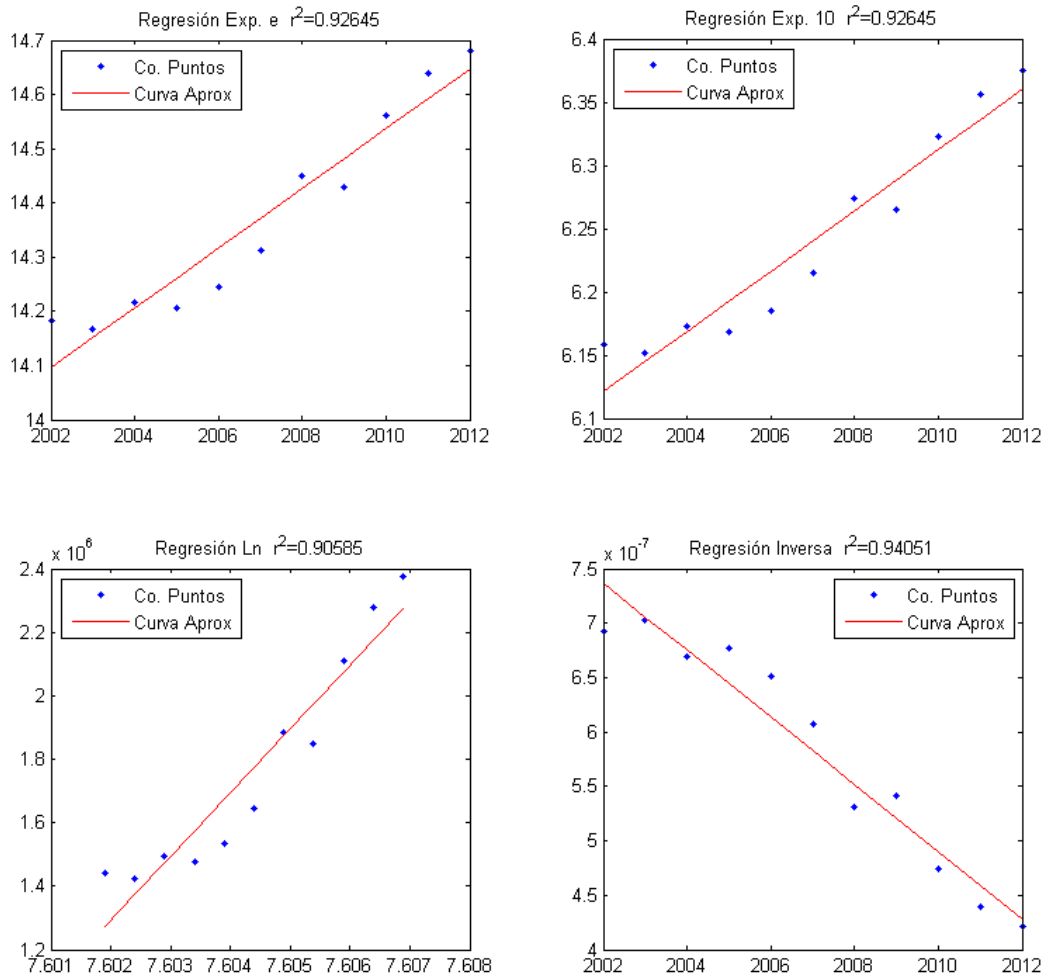


Figura 6: Curvas de ajuste realizadas con MATLAB (Parte 2).

En las figuras (Fig. 5 y 6) podemos observar que la curva que mejor ajusta es la que se obtuvo a partir de hacer una regresión polinómica de segundo orden, es decir, del tipo:

$$ax^2 + bx + x \quad (1)$$

Para todas las curvas se calculó el coeficiente de correlación r^2 que nos permite saber qué tan bien la curva ajusta a los valores medidos. Vemos que en el caso de la regresión polinómica el valor de correlación es el más cercano a 1 por lo que es el que mejor ajusta. Los valores

obtenidos para dicho ajuste fueron:

$$a = 10118,35 \quad (2)$$

$$b = -40514836,02 \quad (3)$$

$$c = 40557732320,27 \quad (4)$$

Esta ecuación (1) será utilizada por el modelo para calcular los valores anuales de basura generada. Un inconveniente que surge de esto es que el comportamiento que permite inferir dicha aproximación en valores próximos a los medidos. En nuestro caso necesitaremos valores lejanos al conjunto de datos medidos por lo que esta curva puede presentar complicaciones al inferir dichos valores. Es por este motivo que realizamos un análisis similar con el PBI per cápita, utilizando la regresión polinomial de segundo orden entre los años 2002 y 2012.

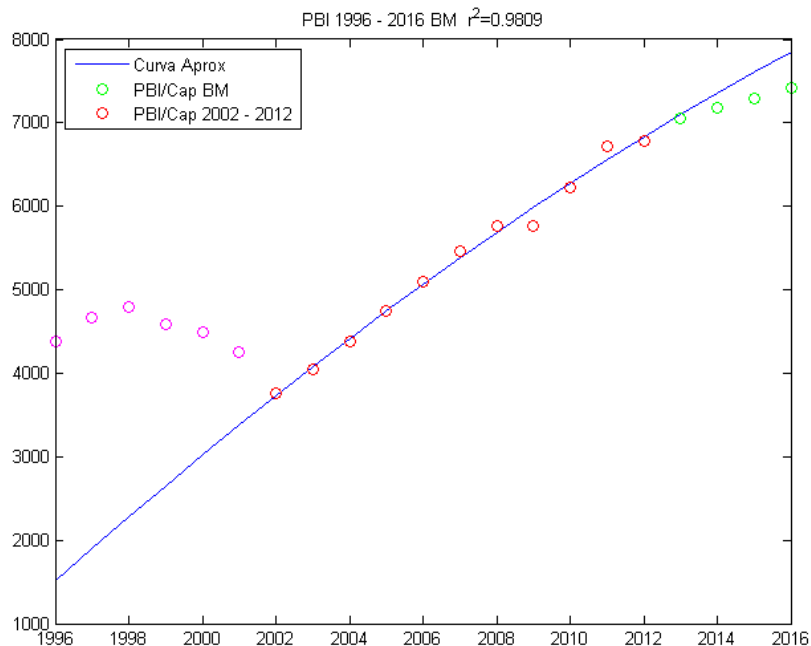


Figura 7: Aproximación polinomial.

Como podemos ver la aproximación polinómica es un buen ajuste para los valores de PBI per cápita, incluso para los datos estimados por el Banco Mundial, que son hasta el año 2016 (ver Anexo).

7. Capítulo III - Modelado y Simulación de sistemas dinámicos.

Es sumamente importante para el entendimiento de esta disciplina el concepto de retroalimentación. Esto es el proceso en virtud del cual, cuando se actúa sobre un determinado sistema, se obtiene continuamente información sobre los resultados de las decisiones, información que servirá para tomar las decisiones sucesivas.

La Dinámica de Sistemas tiene su origen en la década de los años 30 cuando se desarrolló la teoría de los servomecanismos, que son instrumentos en los que existe una retroalimentación desde la salida a la entrada.

Esto inicialmente (década de los años 50) fue aplicado con ayuda de Jay Forrester y gracias a los avances de la informática a problemas cuyos componentes eran tecnológicos y propios del ámbito industrial, de tipo mecánico, eléctrico, etc. llamada Dinámica Industrial.

Luego, en la década de los años 60, se llegó a la generalización y se comenzó a utilizar para el estudio de procesos socioeconómicos. Esto complejiza seriamente el entendimiento del sistema y su representación ya que a diferencia de los procesos tecnológicos, en los socioeconómicos, se desconocen las leyes que rigen las interacciones elementales. A pesar de este desconocimiento estas organizaciones sociales y/o económicas muestran un comportamiento dinámico y una fuerte interacción entre sus partes. En otras palabras, a medida que transcurre el tiempo las variables fluctúan como consecuencia de las interacciones entre los componentes del sistema (Ventas, habitantes, producción, basura reciclada, etc.). La dinámica de sistemas no sólo alcanza dentro de su campo de aplicación a los sistemas socioeconómicos sino que alcanzó al campo de los sistemas ecológicos siendo una ayuda muy válida para el estudio de los complejos fenómenos que se producen en la naturaleza.

La dinámica de sistemas esta íntimamente ligada al área de conocimiento a la que pertenece la teoría general de sistemas, la teoría de la automática y la cibernética. Se basa en el estudio de sistemas complejos, hace las veces de puente entre los métodos empleados por los ingenieros y los métodos específicos de los estudios sociales. Estudia cómo la estructura de realimentación de un sistema produce un comportamiento dinámico.

Su objetivo primario es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. Esto implica aumentar el conocimiento sobre el papel de cada elemento del sistema, y ver cómo diferentes acciones, efectuadas sobre partes del sistema, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en el mismo.

A diferencia de otras metodologías la dinámica de sistemas no pretende predecir detalladamente el comportamiento futuro. El estudio del sistema y el ensayo de diferentes políticas sobre el modelo realizado permiten ampliar el conocimiento sobre el mundo real, comprobándose la consistencia de nuestras hipótesis y la efectividad e impacto de las distintas políticas.

Por otro lado su enfoque es a largo plazo, permite observar todos los aspectos significativos de la evolución del sistema. Sólo en una escala de tiempos suficientemente amplia podrán verse las tendencias de comportamiento fundamentales. Dicha tendencia puede ser comprendida sólo si se identifican las principales causas posibles de los cambios. Para esto resulta útil una correcta selección de las variables.

En conclusión la dinámica de sistemas permite la construcción de modelos que permiten extraer la lógica interna y el conocimiento de la evolución, a lo largo del tiempo, del sistema.

Existen dos clases de modelos dinámicos según sus pretensiones. Aquellos que pretenden suministrar datos precisos sobre el futuro y aquellos que pretenden establecer cual es la alternativa conveniente, sin importarles la precisión. La dinámica de sistemas enfoca sus modelos a los de la segunda clase.

7.1 Conceptos para la construcción de un modelo dinámico

Un estudio de dinámica de sistemas se desarrolla en distintos pasos. En primer lugar se observan los modos de comportamiento del sistema real para identificar los elementos fundamentales del mismo. En segundo lugar, se buscan las estructuras de realimentación que puedan producir el comportamiento observado. En tercer lugar, a partir de la estructura observada, se construye un modelo matemático de comportamiento del sistema a través de un software (en nuestro caso el Vensim). En cuarto lugar, se simula el comportamiento del modelo obtenido en el tercer paso. En quinto lugar, se modifica la estructura hasta que sus componentes y comportamiento resultan similares al comportamiento observado en el sistema real. Para finalizar el sexto paso, se modifican las decisiones que pueden ser introducidas en el modelo de simulación hasta encontrar decisiones aceptables y utilizables que den lugar a un comportamiento real mejorado.

Observar los modos de comportamiento del sistema

Identificar el problema

Se debe documentar de manera escrita lo que se entiende como problema para lograr la mayor claridad posible y posibilitar la definición precisa de los objetivos.

Como resultado se obtiene una primera percepción de los elementos que se interrelacionan con el problema identificado, las posibles relaciones existentes entre estos elementos y su comportamiento histórico. La identificación de las relaciones existentes se realiza mediante hipótesis que nos ayudan a aproximarnos al entendimiento de las relaciones del sistema dinámico. Por otro lado los datos históricos son de gran importancia para la validación hipotética y el entendimiento del comportamiento.

Identificado el problema se estudiarán los elementos relacionados con el mismo de manera directa o indirecta, y a la vez, sus interrelaciones.

El conjunto de elementos conforman el sistema de Tratamiento de Residuos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires que rondan el problema identificado como la baja tasa de separación efectiva de residuos sólidos reciclables.

Definir el Sistema

El sistema es el conjunto de elementos relacionados entre sí, cuyos estados o atributos se verán afectados ante el cambio (en menor o mayor medida) cuando otro elemento sea modificado. El sistema que será construido y estudiado contendrá sólo aquellos elementos y relaciones que se consideren relativos al problema identificado.

A la obtención de los elementos del sistema debe llegarse por medio de la observación, discusiones con especialistas y análisis de datos acerca del mismo. Luego su análisis indicará si se encuentra relacionado o no al problema estudiado.

Definir las Fronteras de un Sistema

El modelo solo abarcará aquellos elementos que tengan una influencia significativa en el comportamiento del sistema; cabe mencionar que los modelos representan de manera reducida una porción de la realidad y sería imposible (tanto computacional como conceptualmente) modelar la realidad misma debido a su envergadura. A su vez un modelo debe buscar la sencillez y enfoque dentro de un problema particular por lo que el modelo tendrá la menor cantidad de elementos posibles.

El crecimiento y desarrollo de los modelos suele darse de forma espiralada, partiendo del problema y al analizar los elementos que se encuentran a su alrededor el modelo los va adquiriendo, ampliando y perfeccionando. Este crecimiento en ocasiones se revierte debido a la falta de una relación fuerte con el problema.

Realizar el Diagrama Causal o Diagrama de Influencia

El diagrama causal o de influencia la representación gráfica de los conceptos que fueron relevados e hipotetizados. Su función es construir un bosquejo esquemático de los elementos relacionados entre sí uniéndolos con flechas los diferentes elementos. Las flechas tienen un signo y una dirección que permiten identificar cómo una variable influye sobre otra. Este diagrama permite conocer la estructura de un sistema dinámico. A este nivel de análisis de la estructura, lo único que interesa es si existen relaciones o no; la naturaleza de la relación corresponde a un estadio posterior del estudio.

La unión de los elementos del diagrama se realizan mediante las flechas que son

acompañadas por un signo que indica el tipo de influencia ejercida por una variable sobre la otra. Un signo "+" quiere decir que un cambio en la variable origen de la flecha producirá un cambio del mismo sentido en la variable destino. El signo "-" simboliza que el efecto producido será en sentido contrario.

Así cuando un incremento de A, produce un incremento de B, o bien una disminución de A provoca una disminución de B, tendremos una relación positiva y se representa como:

$$A \rightarrow +B$$

Y cuando un incremento de A, produce una disminución de B, o bien una disminución de A provoca un aumento de B, tendremos una relación negativa, y se presenta como:

$$A \rightarrow -B$$

Estructuras de Realimentación

Estructuras causales

Las estructuras causales no contienen información cuantitativa sobre la naturaleza de las relaciones que unen a los distintos elementos, sino que suministran un bosquejo esquemático de las relaciones de influencia causal. Existen dos tipos básicos de estructuras causales, la estructura causal simple y la estructura causal compleja.

Estructura Causal Simple

Está compuesto por estructuras simples sin que se produzcan entre estas ningún tipo de interacción.

Estructura Causal Compuesta

La característica esencial es que se establecen cadenas cerradas de relaciones causales. En un diagrama causal complejo pueden distinguirse bucles realimentados. Estos determinan que una variación en un elemento puede ocasionar un efecto en el mismo al finalizar el bucle y volver a llegar a él. En la realidad nos encontramos constantemente con círculos a pesar que para poder observarlos es necesario un pensamiento sistémico ya que naturalmente vemos líneas rectas.

Bucles de Realimentación Positiva o de Refuerzo

Son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que refuerza la variación inicial. En efecto, si se produce un aumento de uno cualquiera

de los elementos determina un aumento en los siguientes y por último un nuevo aumento en el elemento disparador que reiniciara el proceso.

Como consecuencia se tiene un comportamiento explosivo caracterizado por un autorreforzamiento de las variaciones. Un bucle realimentado es positivo si contiene un número par de relaciones negativas. En otras palabras esto deriva en un rizo reforzador que no es otra cosa que crecimiento acelerado o deterioro acelerado.

Bucles de Realimentación Negativa o de Equilibrio

Son aquellos en los que una variación de un elemento se transmite a lo largo del bucle de manera que determine una variación que contrarreste la variación original. Si se produce un aumento en un elemento disparador determina un aumento en su subsiguiente y así hasta que al cerrar el bucle provoca una disminución del elemento disparador. El comportamiento de estos bucles está caracterizado por una acción autocorrectora. Cualquier variación que se produzca en uno de los elementos del bucle tiende a anularse. Tiende a crear el equilibrio. Un bucle realimentado es negativo si contiene un número impar de relaciones negativas.

Demoras en los Bucles de Realimentación

No todas las acciones e influencias de elementos sobre otros son instantáneos. Cuando no es así, es decir cuando el efecto de una variable sobre otra lleva tiempo, se hacen presentes las demoras. Las demoras pueden generar efectos positivos o negativos dependiendo de si son identificadas o no. Es por esto que es sumamente importante su identificación para evitar excesos debido a que se toman decisiones que van más lejos de lo necesario para alcanzar un resultado deseado o en el caso de un modelo, para evitar alejarse de la realidad por esperar un comportamiento no previsto.

Presencia de Estructuras de Realimentación

Normalmente en los modelos coexisten bucles de realimentación positiva y negativa. Las interacciones entre ambos tipos de bucles definen el comportamiento global del sistema.

La utilización de este concepto puede permitir explicar la evolución de los sistemas sociales en los cuales existen los dos tipos de retroalimentación. Los sistemas de lazos negativos son absolutamente estables ya que tienden a un estado estacionario. En estos sistemas hay un

objetivo definido que es al que se quiere llegar que marca el camino de la acción autocorrectora.

Los bucles negativos llevan al modelo hacia una situación estable y los positivos lo hacen inestable, con independencia de la situación de partida.

La presencia de bucles de realimentación es lo que determina el comportamiento peculiar para cada sistema dinámico. Ante la presencia de ambos tipos de bucles el comportamiento final dependerá de cuál es el dominante en un momento determinado. En la mayoría de los casos prácticos podemos observar un comportamiento oscilante, para que eso ocurra es necesario que el sistema tenga al menos dos "niveles", que son elementos del sistema en los que se producen acumulaciones. En ocasiones se observa un comportamiento oscilante como algo natural en todos los procesos por ejemplo las estaciones del año.

El concepto de bucle es muy útil porque nos permite partir desde la estructura del sistema que analizamos y llegar hasta su comportamiento dinámico. Si un sistema oscila persistentemente, o se halla en equilibrio, o decae con rapidez, podemos identificar las razones estructurales y decidir cómo modificar los bucles causales que lo van a alterar. La aplicación de esta forma de actuar se extiende desde el control de un proceso industrial, al seguimiento de la diabetes, variaciones de los precios de las materias primas y el crecimiento económico entre otros.

Pero la utilidad más importante de esta concepción es comprender cómo la estructura de los sistemas provoca su comportamiento.

Reconocer el elemento Limitativo

El elemento limitativo es aquel elemento del sistema que ahora mismo limita el crecimiento del sistema. Es único en cada momento, pero a lo largo del tiempo diferentes elementos del sistema pueden actuar como elementos limitativos.

Es importante entender que las modificaciones del elemento limitativo también modifican los elementos que conforman el sistema. Cuando el elemento limitativo deja de serlo se produce el crecimiento y se cambia la proporción entre los elementos hasta que uno nuevo se convierta en limitativo. Es en este momento en el cual es clave enfocarse en el próximo elemento limitativo avanzando en la comprensión del sistema y pudiendo controlar con eficacia la evolución de los

sistemas. Puede observarse en la oración anterior que el elemento limitativo es dinámico pudiendo ser un elemento en el momento t inicial y otro en otro momento t . Es posible visualizar entre muchos elementos potencialmente limitantes cual es el que se agotará primero.

Reconocer el Elemento Clave

El apalancamiento es clave para poder influir en un sistema determinado. El elemento clave es aquel que es el punto de palanca. Este punto puede estar formado por uno o más elementos los cuales suelen mantenerse durante el tiempo sin variar (Si varía su valor).

Enfocarnos en estos elementos para la aplicación de políticas resulta muy conveniente ya que permiten conseguir grandes cambios en el sistema con un esfuerzo reducido. Por este motivo es sumamente importante identificarlos a pesar que no son evidentes y realizar esta tarea puede demandar un gran esfuerzo. Sin embargo muchas veces cuando se busca un objetivo y se aplica el esfuerzo en los elementos equivocados (No clave) y se obtienen los cambios con un costo mayor al que se tendría de aplicar el esfuerzo en los elementos clave consiguiendo iguales resultados.

Una manera de conseguir los elementos claves, planteada por Jay Forrester, se basa en las siguientes directrices:

1. Sea cual sea el problema que se ha presentado es necesario conocer como es el sistema por dentro, como toma las decisiones, como opera. No dejarse llevar por las indicaciones que apuntan hacia aspectos coyunturales o superficiales, por muy visibles que sean.
2. A menudo un pequeño cambio, en una o unas pocas políticas puede solucionar el problema fácil y definitivamente.
3. Los elementos clave suelen ser descartados o no relacionados con el problema que analizamos. Son raramente objeto de atención o discusión, y cuando se le identifica, nadie puede creer que se halle relacionado con el problema.
4. Si ocurre que un elemento clave ha sido identificado previamente por alguien, no es extraño que se haya actuado sobre él en la dirección equivocada, intensificando gravemente el problema.

Los modelos nos permiten realizar estudios de sensibilidad y ver qué elementos del sistema

pueden influir decisivamente en su comportamiento ayudándonos a identificar los elementos clave.

Construcción de un modelo matemático

Diagrama de Flujos o el Diagrama de Forrester

Las variables existentes en el diagrama causal representan a los distintos elementos que lo componen. Estos elementos se clasifican en tres grupos, las variables de nivel, las variables de flujo y las variables auxiliares. Para llegar al diagrama de Forrester es necesario analizar cada elemento del causal y definir a qué tipo de variable corresponde para que pueda ser plasmado en el Forrester

También llamado diagrama de flujos, el Diagrama de Forrester es el diagrama característico de la Dinámica de Sistemas. Es una traducción del Diagrama Causal a una terminología que permite la escritura de las ecuaciones en el ordenador para así poder validar el modelo, observar la evolución temporal de las variables y hacer análisis de sensibilidad.

VARIABLES DE NIVEL

Las variables de nivel son contenedores alimentados por caudales regulados por ciertas válvulas que definen las variables de flujo. La decisión sobre la apertura o cierre de estas válvulas (Que marcan la velocidad en que vacían o llenan a las variables de nivel) se toma teniendo la información alcanzada por los niveles en un instante de tiempo considerado.

Estas variables son aquellas cuya evolución es significativa para el estudio del sistema. Los niveles representan magnitudes que acumulan los resultados de acciones tomadas en el pasado.

Los niveles se representan por un rectángulo (ver Fig. 8). Ejemplos: toneladas, metros , litros, etc.

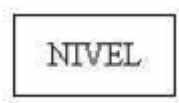


Figura 8: Variable de Nivel.

VARIABLES DE FLUJO

El valor tomado por la variable de flujo en cada instante depende exclusivamente de los

valores alcanzados por los niveles en dicho instante. Análogamente los valores alcanzados por los niveles dependen de los valores alcanzados por los niveles dependen de los valores tomados por las variables de flujo que alimentan dichos niveles. La forma de representarlas es con una flecha gruesa que inicia y/o termina en un nivel.

Determinan las variaciones en los niveles del sistema. Las variables de flujo caracterizan las acciones que se toman en el sistema, las cuales quedan acumuladas en los correspondientes niveles. O acciones que se toman en el sistema y vacían los niveles.

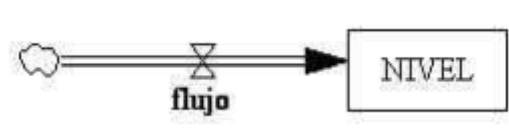


Figura 9: Variable de Flujo. Ejemplos: Toneladas/día, Litros/año.

Variables Auxiliares

Representan etapas intermedias en la determinación de los flujos a partir de los niveles y, en último extremo, pueden ser eliminadas. Son los pasos o etapas en que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles.

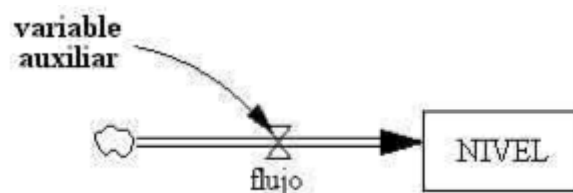


Figura 10: Variable Auxiliar.

Creación del Diagrama de Forrester

Los Pasos a seguir son:

1. Identificar los elementos que escribimos en el diagrama causal para luego tipificarlos en para obtener cuales son las variables de nivel.
2. Buscar o crear unos elementos que sean "la variación de los Niveles", (personas/día, litros/hora, ...) y esos son los Flujos (observar que son función del tiempo).

3. El resto de elementos son las Variables Auxiliares.

Simulación el comportamiento del modelo

Realizar la simulación en el ordenador

Se definen e ingresan al software las ecuaciones que utilizaremos para definir el comportamiento e indicarán al programa como interpretar nuestra visión del sistema. Entre las herramientas disponibles en el mercado para el desarrollo matemático-computacional están Dynamo, Ithink, Powersim, Stella y Vensim Ple Plus. El presente trabajo utilizó el software Vensim Ple Plus.

Para llevar a cabo la simulación computacional es necesario darle un valor numérico a todas las variables del sistema, a las funciones y a las tablas. Los parámetros deben calcularse con un grado de aproximación tal que permita que el modelo cumpla con su propósito. Los valores ingresados sirven como punto de referencia ya que el modelo es el estudio del comportamiento a futuro en torno de un problema, por lo que el histórico no es importante ya que se quiere transformar el comportamiento.

De no poseer valores se puede partir de valores aproximados para poseer una idea del comportamiento del modelo. Una vez obtenido el comportamiento se pueden identificar el conjunto de parámetros cuyos valores alteran significativamente el comportamiento del modelo en respuesta a diferentes políticas. Las variables obtenidas en el análisis de sensibilidad deben ser lo más precisas posibles ya que pequeños cambios afectan severamente el comportamiento del modelo.

Modificar la estructura para obtener un comportamiento similar al observado en el sistema real

Ajustar el comportamiento del modelo

El modelo funcional proporciona como salida la evolución en el tiempo de los parámetros que estudiemos. A través de los datos históricos podemos realizar una comparación del modelo con la realidad y en base a la diferencia entre el modelo y la realidad se puede redefinir el modelo o ajustar el modelo para obtener los resultados esperados.

El juicio sobre la forma en que un modelo satisface los criterios anteriores no debe

restringirse a la consideración de la información cuantitativa disponible ya que la mayor parte de los conocimientos relevantes sobre los sistemas sociales están en forma cualitativa, en manos de expertos en el campo que nos movemos.

Por otro lado un modelo que satisfaga las validaciones no es el único que lo haga ni un modelo que sea incuestionable.

La validación puede llevarse a cabo a partir de las evoluciones de las distintas variables del modelo en un horizonte temporal dado para que sean validados los resultados del modelo respecto a los resultados que fueron realmente obtenidos.

A la vista de esta evaluación se pasará a perfeccionar el modelo, corrigiendo los defectos observados e introduciendo las mejoras que se consideren convenientes. Con esta reformulación del modelo se procederá a una nueva simulación con el mismo y un posterior análisis y evaluación, siguiendo este proceso hasta que se considere que el modelo creado satisface suficientemente los objetivos fijados, o que no se observan mejoras significativas en la próxima iteración.

Evaluar con el modelo de simulación las posibles decisiones para llegar a aquellas aceptables y utilizables

Realizar el análisis del sistema, analizar los resultados.

Una vez ajustado el modelo y obteniendo los valores esperados en caso base se podrá experimentar con el modelo y obtener el comportamiento esperado del sistema. Estos experimentos pueden ser orientados a localizar los factores clave mediante el análisis de sensibilidad o a evaluar distintas políticas

El modelo final, como tal, debe ser relativamente simple y en consecuencia comprensible para los receptores del modelo quienes lo manejan. Además de esto, el elevado esfuerzo y tiempo que requiere la obtención de un modelo complejo puede ser tan costoso y complicado como la realidad misma que busca representar, dificultando la comunicación y representando muy poca ayuda para el problema planteado.

8. Capítulo IV - Construcción del modelo.

Cuando comenzamos a plantear el modelo del Tratamiento de Residuos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires nos enmarcamos dentro de la Ley 1.854 de “Basura Cero”. Al encontrarnos con la problemática planteada por la Ley y las políticas enfocadas a la búsqueda de una solución, decidimos tomar las metas de reducción gradual de residuos reciclables a distribución final como propias de nuestro modelo.

La citada Ley toma como referencia la cantidad de toneladas de residuos enviadas a relleno sanitario en el año 2004 (1.497.656 toneladas). A partir de esta cantidad, define metas a cumplir para determinados años. Estas son: una reducción del 30% para el año 2010, 50% para el año 2012, 75% para el año 2017 y en el 2020 la prohibición total de la disposición final de materiales tanto reciclables como aprovechables. Las cantidades indicadas por la Ley, pueden ser vistas en la Tabla II.

A partir de estas metas medibles que propone la Ley, decidimos enfocar el modelo en la búsqueda del punto de apalancamiento necesario para el cumplimiento de las metas descritas anteriormente, poniendo el foco del modelo en la capacidad de separación de los centros verdes.

Durante el análisis de la información obtenida del relevamiento, nos dimos cuenta que la cantidad de residuos se incrementa año a año. Por lo tanto, vimos que era necesario realizar una proyección a futuro para determinar el aumento de la capacidad necesaria para cumplir las metas de la Ley.

Un punto vital para lograr las metas planteadas por la Ley de Basura Cero, es promover la separación en origen tanto en hogares particulares (Generadores Domésticos) o en Grandes Generadores. Los Grandes Generadores², son todas aquellas empresas de cualquier rubro que poseen un cierto tamaño y generan grandes cantidades de residuos reciclables. Ellos tienen la obligación de realizar separación en origen para que luego la misma sea llevada a los centros verdes a través de un circuito de recolección diferenciada. Por otro lado el Gobierno de la CABA es quien debe ir difundiendo la separación en origen. Tanto el transporte de basura reciclable

² Según la Ley de Basura Cero, los hoteles de 4 y 5 estrellas, edificios públicos del Gobierno de la Ciudad y edificios de más de 19 pisos.

proveniente de grandes generadores, como de aquellos particulares obligados a separar, es realizada por camiones que se encuentran fuera del circuito común de recolección de basura. Estos camiones pueden ser referidos como Camiones Verdes y son claves en la recolección diferenciada de los residuos reciclables.

El circuito de los residuos reciclables es un circuito paralelo al circuito existente y es esencial que se mantenga separado uno del otro. El origen de este nuevo circuito es el hogar de los residentes de la Ciudad de Buenos Aires. Es en este momento en el que se separan los circuitos, la basura se saca en bolsas negras y seguirá el curso normal. Por otro lado los reciclables se sacará en bolsas verdes y serán recogidas por los camiones destinados a tal fin. Esta separación no se dará de manera espontánea, sino que gradualmente se obligará a los ciudadanos. Esta obligación carece de sentido si la infraestructura de reciclaje no soporta el volumen separado, por lo que deberá crecer de acuerdo a la capacidad del sistema.

Luego de entender la totalidad del circuito de residuos de CABA, tuvimos que definir el alcance de nuestro sistema y entender cuáles eran las variables que conforman el mismo para la realización del modelo. En este momento es prioritario definir un alcance para el modelo. De esta manera se realizará una abstracción de la realidad de este sistema, logrando la simplificación del mismo sin perder el objetivo de vista. En nuestro caso, el sistema a modelar es el Tratamiento de Residuos de CABA y la problemática planteada es la capacidad necesaria para cumplir las metas de la Ley de Basura Cero.

Tomamos sólo las variables necesarias y sus interrelaciones para modelar el sistema de tratamiento de residuos y el comportamiento de la problemática descrita. El modelo nos permitirá buscar cuales son las variables de máximo apalancamiento, las cuales permitirán la resolución de la problemática nuestro sistema. Es decir todas aquellas variables que realizando algún mínimo estímulo generen el máximo cambio posible para satisfacer la problemática planteada. En nuestro caso, todas aquellas variables que puedan mejorar la capacidad de separación en los centros verdes para satisfacer las metas propuestas por la Ley 1.854 de Basura Cero.

Las variables de apalancamiento para optimizar la capacidad de separación que

encontramos en el análisis son la difusión de la separación en origen, en que momento debe producirse, el momento en el cual disparar la generación de un centro verde y el crecimiento de la capacidad del sistema de reciclaje. Se puede predecir que estas variables están relacionadas y una depende fuertemente de la otra, lo que nos hace notar que hay que buscar un manera armónica de crecimiento de ambas variables.

8.1 Diagrama Causal

8.1.0 Versión 1.0

Inicialmente se identificó como un problema la cantidad de materia a disposición final, eje de la Ley de Basura Cero. A partir de este problema buscamos los elementos que explican esta situación, entre ellos identificamos los siguientes:

- Población de CABA
- Residuos Solidos Urbanos
- Volumen de Depósitos Necesarios
- Porcentaje de Separación de Reciclables Efectiva
- Material a disposición final (Problema)
- Impuestos
- Costo de Gestión de Residuos
- Gasto en Educación
- Difusión
- Residuos Generados Reciclables
- Salud
- Calidad Ambiental
- Residuos Separados en Centro Verde (Elemento Clave)

En el diagrama se ven las relaciones encontradas entre los elementos identificados, su dirección y su signo.

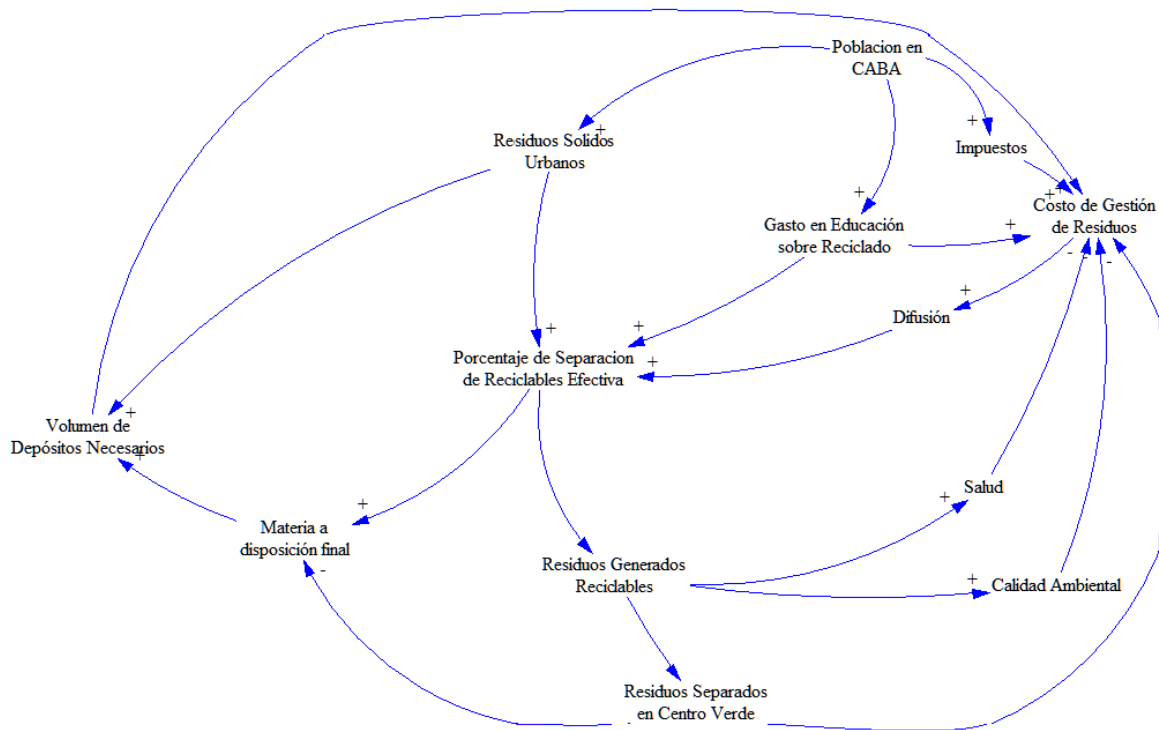


Figura 11: Modelo causal versión 1.0.

8.1.1 Versión 1.1

Analizando en detalle los datos recolectados, se identificó que el crecimiento de la población no es un buen indicador para proyectar la generación de residuos en CABA, por lo cual se removió del modelo y se agregó la variable PBI, como un mejor indicador para la proyección de la generación de residuos.

Por otro lado, se eliminaron las variables Impuestos, Costo de Gestión de Residuos, Salud y Calidad Ambiental ya que no hacen al objetivo principal de este proyecto final de ingeniería. De igual manera con los datos económicos ya que estos son sensibles para los organismos que los poseen y se dificulta la obtención de los mismos.

Se agregarón en el modelo las variables Capacidad de Reciclaje, Construcción de Centros Verdes, Cantidad de Reciclaje Deseado, Mejora de Capacidad de Centro, Cantidad de Centros y Capacidad de Centro Verde. Para poder controlar el aumento de capacidad de los centros verdes a través del tiempo.

Autónoma de Buenos Aires, lo hicimos con el fin de obtener una proyección lo más acertada posible de cómo llegaría el actual sistema de residuos de la ciudad a la fecha límite dispuesta por la Ley de Basura Cero, que es el año 2020 para luego realizar un comparativo de los hitos planteados por la Ley y las proyecciones de residuos a disposición final obtenidos de nuestro modelo.

Una vez que pudimos confirmar que nuestras proyecciones eran acertadas y/o cercanas a realidad, comenzamos a analizar todas las variables del modelo para identificar cuales eran las variables que podrían mejorar la situación a futuro del actual sistema de gestión de residuos.

En las entrevistas que tuvimos con el coordinador de reciclado de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el responsable de la biblioteca del CEAMSE, hicieron foco en que, para el éxito de la gestión de residuos de CABA, es indispensable el compromiso para la separación en origen de los ciudadanos de CABA. Esto aumentaría la cantidad de residuos reciclables. Nosotros utilizaremos la variable Difusión para contemplar el nivel de la población que está realizando separación en origen, siendo 1 el 100% de la población.

Por otro lado, es importante contar con una capacidad de los centros verdes acorde a la cantidad de basura reciclable que llega a los mismos, por lo que manejamos la capacidad del sistema a través de la variable Coeficiente de Saturación. La misma nos indica la relación que existe entre la capacidad de los centros verdes y la cantidad de residuos reciclables que llegan a los centros.

Es necesario contemplar estas variables para un planeamiento de incremento de la capacidad de los centros verdes eficaz, evitando caer en los escenarios en que los centros verdes se vean saturados y no puedan tratar la cantidad de residuos reciclables, como así también evitar que la capacidad ociosa afecte la efectividad del sistema de reciclaje.

Cuando se encuentra la capacidad de un centro saturada, se cae en un incremento de la logística de los residuos, debido a que los residuos reciclables que son enviados a los centros verdes no pueden ser tratados por la saturación de la capacidad y deben ser finalmente enviados a disposición final.

Por otro lado, una planificación que no contempla el retardo de la ampliación de la

capacidad de los centros verdes es igualmente poco eficaz, porque realiza inversiones para el incremento de la capacidad y esta superara la cantidad de residuos reciclables a tratar ampliamente, obteniendo al final una gran capacidad ociosa y una mala administración de los recursos.

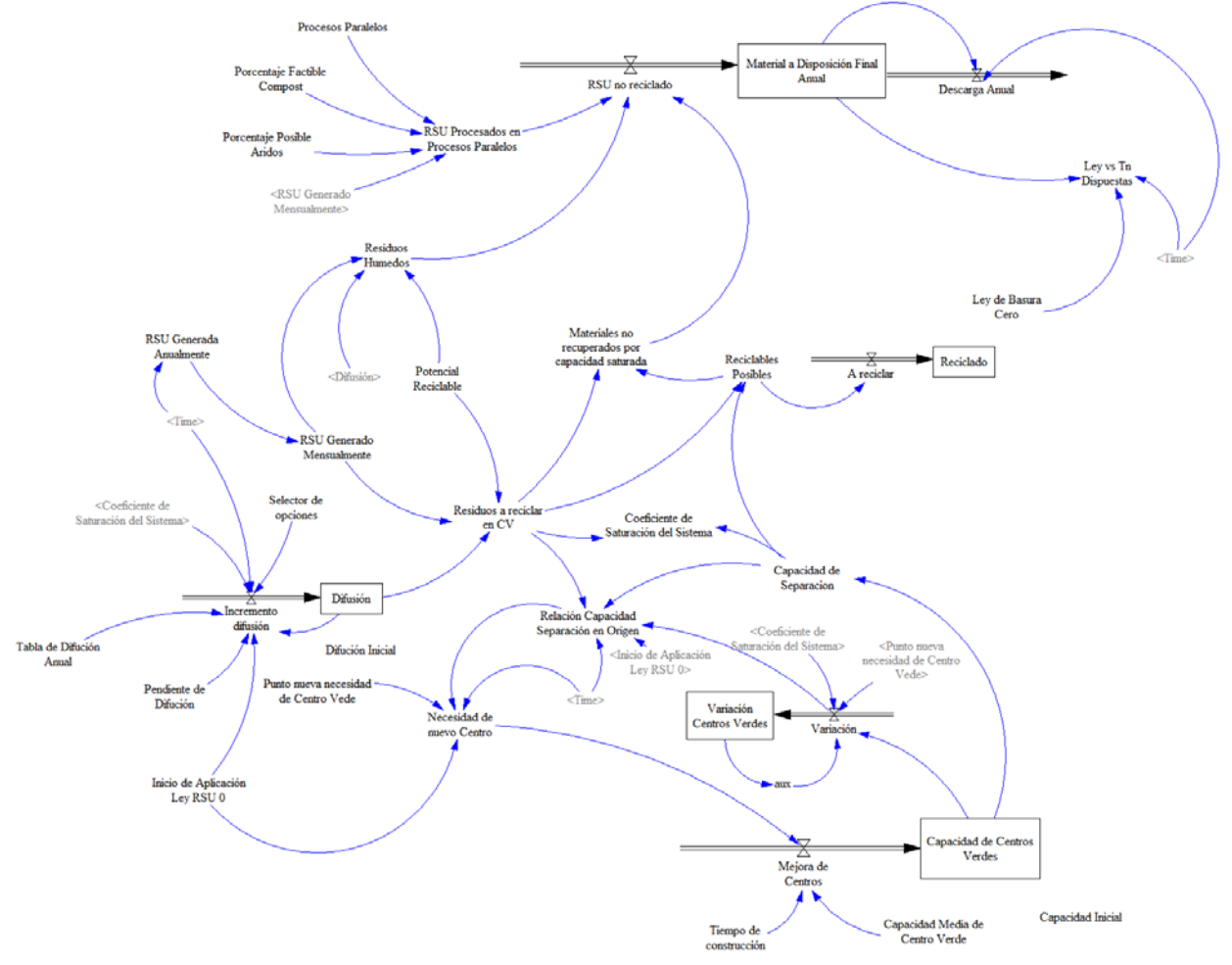


Figura 14: Modelo de Forrester

8.2.1 Análisis de las Variables

En esta etapa explicaremos cómo realizamos la construcción del Modelo de Forrester partiendo desde la última versión del Modelo Causal. Antes de la realización del modelo de Forrester debemos clasificar por tipo de variable a las variables del modelo. Como explicamos

anteriormente existen 3 tipos de variables: variable de nivel que son contenedores alimentados por caudales regulados por ciertas válvulas que definen las variables de flujo. Las variables de flujo caracterizan las acciones que se toman en el sistema, las cuales quedan acumuladas en los correspondientes niveles. Estas también pueden vaciar un nivel. Por último las variables auxiliares representan etapas intermedias en la determinación de los flujos.

A continuación en la siguiente tabla (ver Tabla VI) demostraremos la clasificación de las variables del modelo causal con su descripción y su correlación con el modelo de forrester construido en esta etapa.

Tabla VI: Clasificación de variables del Modelo.

Nombre Variable	Tipo Variable	Unidad	Descripción
Procesos Paralelos	Variable Auxiliar	Boolean	Indica si se utilizaran Procesos Paralelos.
Porcentaje Factible Compostaje	Variable Auxiliar	%	Porcentaje de Residuos No Reciclables que pueden ser utilizados para Compostaje.
Porcentaje Posible Áridos	Variable Auxiliar	%	Porcentaje de Residuos No Reciclables que pueden ser tratados como residuos Aridos.
RSU Generado Mensualmente	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Cantidad de Residuos Generados por CABA mensualmente.
RSU Procesados en Procesos Paralelos	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Cantidad de Residuos Procesados en Procesos Paralelos como Áridos o en Compostaje.
RSU No Reciclado	Variable Flujo	Toneladas/Mes	Cantidad de Residuos no reciclados.
Material a Disposición Final Anual	Variable de Nivel	Toneladas/Año	Cantidad de Residuos a Disposición Final.
Descarga Anual	Variable de Flujo	Toneladas/Año	Cantidad de Residuos a Disposición Final Anualmente. Se utiliza para realizar una comparación con lo dicho por la Ley de Basura Cero.

Nombre Variable	Tipo Variable	Unidad	Descripción
Ley vs Tn Dispuestas	Variable Auxiliar	Toneladas/Año	Compara la cantidad enviada a disposición final con la informada por la Ley de Basura Cero.
Ley de Basura Cero	Variable Auxiliar	Toneladas/Año	Cantidad de Residuos Dispuestos permitidos por la Ley de Basura Cero por año.
Residuos Húmedos	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Residuos enviados a Disposición Final directamente, sin utilizar el circuito diferenciado de recolección.
Potenciales Reciclables	Variable Auxiliar	%	Porcentaje de Residuos potencialmente reciclables.
RSU Generada Anualmente	Variable Auxiliar	Toneladas/Año	Cantidad de residuos generados anualmente en CABA.
Materiales No Recuperados por Capacidad Saturada	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Cantidad de residuos reciclables no recuperados debido a que exceden la capacidad del sistema.
Reciclables Posibles	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Cantidad de residuos reciclables enviados a reciclar.
A Reciclar	Variable Flujo	Toneladas/Mes	Cantidad de residuos a reciclar.
Reciclado	Variable de Nivel	Toneladas/Mes	Cantidad de residuos reciclados.
Coeficiente de Saturación del Sistema	Variable Auxiliar	%	Porcentaje que describe la relación entre la capacidad de los centros verdes sobre la difusión.
Selector de Opciones	Variable Auxiliar	Numérico	Permite alternar el modelo entre las distintas opciones de difusión.
Residuos a Reciclar en Centros Verdes	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Cantidad de residuos a reciclar en centros verdes.
Incremento Difusión	Variable de Flujo	%	Porcentaje de Incremento de Difusión Mensual.
Difusión	Variable de Nivel	%	Porcentaje de residuos reciclables alcanzados por el sistema.

Nombre Variable	Tipo Variable	Unidad	Descripción
Relación Capacidad Separación en Origen	Variable Auxiliar	%	Porcentaje que describe la saturación del sistema mientras no se aumenta la capacidad de los centros verdes.
Capacidad de Separación	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Cantidad de residuos que pueden ser tratados en los centros verdes.
Tabla de Difusión Anual	Variable Auxiliar	%	Porcentajes de incremento de difusión mensuales
Difusión Inicial	Variable Auxiliar	%	Porcentaje de difusión inicial
Inicio de Aplicación Ley de RSU 0	Variable Auxiliar	Numérico	Indica el mes en el que inicia la vigencia de la Ley de RSU 0.
Punto nueva necesidad de Centro Verde	Variable Auxiliar	%	Porcentaje que indica en que momento del Coeficiente de Saturación se debe ampliar la capacidad de los centros verdes.
Pendiente Difusión	Variable Auxiliar	Numérico	Indica la pendiente de la función Difusión
Necesidad de Nuevo Centro Verde	Variable Auxiliar	Boolean	Indica cuando debe ampliarse la capacidad del centro verde
Variación Centros Verdes	Variable de Nivel	Toneladas/Mes	Cantidad de Toneladas/Mes antes de finalizar una ampliación de la capacidad de los centros verdes.
Variación	Variable de Flujo	Toneladas/Mes	Cantidad de Toneladas/Mes antes de finalizar una aplicación de la capacidad de los centros verdes.
aux	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Variación de Capacidad de Centros Verdes
Mejora de Centros Verdes	Variable de Flujo	Toneladas/Mes	Cantidad de Toneladas agregadas a la capacidad del sistema.
Capacidad de Centros Verdes	Variable de Nivel	Toneladas/Mes	Capacidad de Centros verdes.

Nombre Variable	Tipo Variable	Unidad	Descripción
Tiempo de Construcción	Variable Auxiliar	Numérico	Meses para incrementar la capacidad de los centros verdes, desde que se inicia el incremento de la capacidad.
Capacidad Media de Aumento	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Cantidad de Toneladas por mes Promedio que se aumenta la capacidad de los Centros Verdes
Capacidad Inicial	Variable Auxiliar	Toneladas/Mes	Cantidad de Toneladas de Separación de los Centros Verdes en un comienzo.

8.3 Módulos

8.3.1 Módulo de Generación y Tratamiento de Basura

El hito de este módulo es representar el flujo que tienen actualmente los Residuos Sólidos Urbanos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

En este módulo podemos ver que de la generación de los Residuos Sólidos Urbanos Generados Mensualmente, se realiza una diferenciación entre Residuos Húmedos que son todos los que se envían directamente a disposición final y aquellos que son reciclables para luego enviarlos a los Centros Verdes. Para esta diferenciación se utiliza la variable Potencial Reciclable, la cual es un porcentaje que indica a partir del total de los Residuos Sólidos Urbanos Generados Mensualmente que cantidad de toneladas puede ser reciclable.

Además de la composición de los residuos sólidos urbanos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires es necesario contemplar que no toda la población está realizando la separación en origen, por lo que utilizamos la variable Difusión, para contemplar qué porcentaje de la población está participando en el sistema.

Una vez realizada la diferenciación sobre qué cantidad de toneladas puede ser recuperada, se utiliza la variable Reciclables Posibles para saber cuántas toneladas van a poder ser recicladas efectivamente. Reciclables Posibles contiene la capacidad de los centros verdes en toneladas por mes.

Finalmente la variable de nivel Reciclado, contiene las toneladas efectivamente recuperadas.

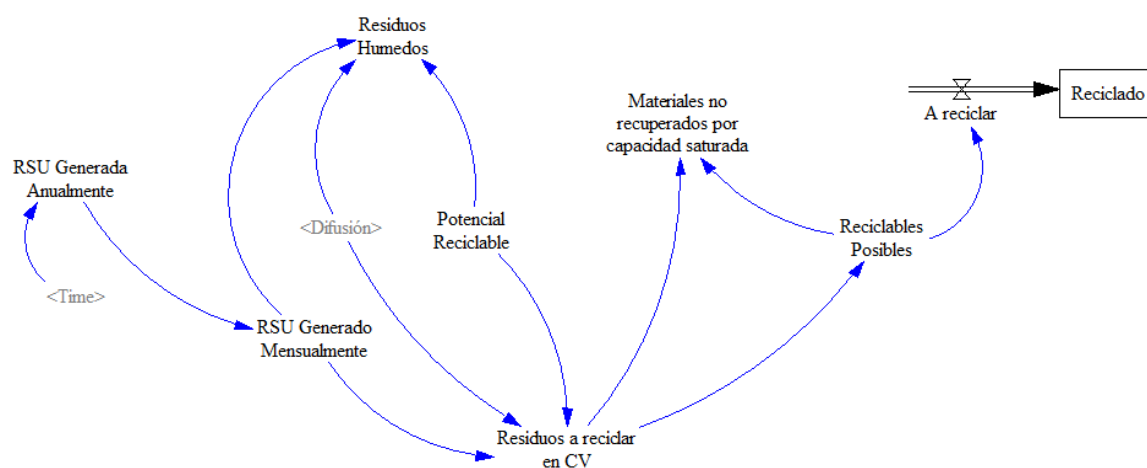


Figura 16: Módulo de Generación y Tratamiento de Residuos de CABA.

8.3.2 Módulo de cumplimiento de la Ley de Basura Cero

El fin de este módulo es medir el nivel de cumplimiento del sistema según las cifras establecidas por la Ley 1.854/05, “Ley de Basura Cero”.

La variable Procesos Paralelos, es una variable auxiliar que nos permite agregar o quitar la cantidad de Toneladas/Mes que son recuperadas a través de otros procesos de recuperación de materiales. Los materiales recuperados por estos procesos se ven modelados por las variables Porcentaje Factible Compost y Porcentaje Posible Áridos. Ambas variables son porcentajes que especifican la composición en Toneladas/Mes que pertenecen a cada uno de estos material de los Residuos Sólidos Urbanos Generados Mensualmente.

La variable RSU Procesados en Procesos Paralelos funciona como un acumulador de todos

las Toneladas/Mes que son recuperadas por estos procesos, siempre y cuando la variable auxiliar Procesos Paralelos se encuentre activa.

RSU no reciclado, contiene la suma de los Residuos Húmedos que son aquellos que van directamente a disposición final y los Materiales no recuperados por capacidad saturada. Al mismo tiempo, si la variable auxiliar Procesos Paralelos se encuentra activa se realiza la sustracción de todas las Toneladas/Mes de materiales áridos o aptas para el compost. Ya que estos materiales pueden ser tratados por otros procesos de recuperación, evitando que lleguen a disposición final.

Materiales no recuperados por capacidad saturada es una variable que contiene las Toneladas/Mes de residuos reciclables que no fueron tratados por que fue superada la capacidad de los Centros Verdes.

La variable de nivel, Material a Disposición Final Anual, acumula las Toneladas/Mes durante el año calendario para al final del año realizar la comparación contra lo establecido por la Ley de Basura Cero. La comparación se realiza contra el valor establecido por la Ley de Basura Cero para el año correspondiente. En caso de que no exista un valor establecido por la Ley en ese año, se utilizará la proyección lineal de los puntos establecidos por la Ley.

Ley de Basura Cero es la variable que cuenta con las Toneladas/Año a disposición final establecida por la Ley de Basura Cero y las proyecciones lineales para los años intermedios de los hitos de la misma.

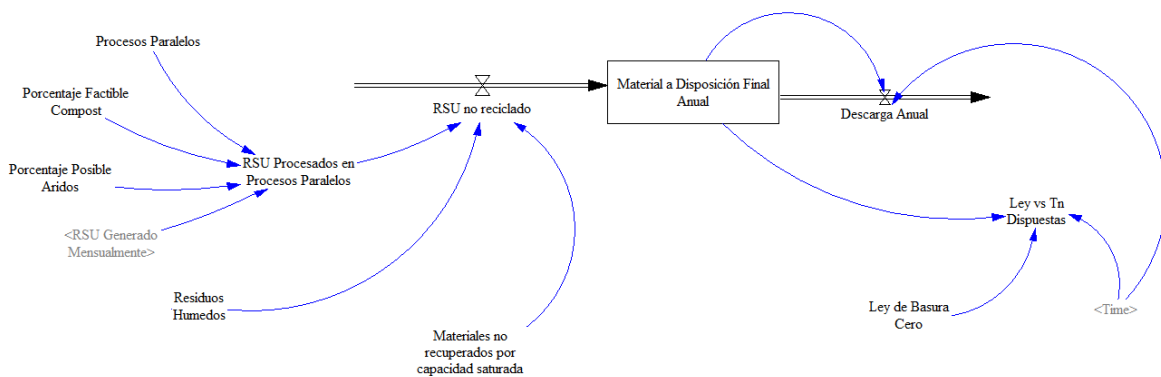


Figura 17: Módulo de cumplimiento de la Ley de Basura Cero.

8.3.3 Módulo de Ampliación de Capacidad de Centros Verdes

El hito de este módulo es poder administrar de forma eficaz la ampliación de la capacidad de los Centros Verdes, contemplando que existe una demora entre que se dispara el proceso de ampliación de la capacidad de los Centros Verdes hasta que efectivamente aumenta la capacidad.

Coefficiente de Saturación es una de las variables claves para conseguir el objetivo del módulo. La misma expresa la relación entre los residuos reciclables que llegan a los centros verdes (Residuos a Reciclar en CV) y la capacidad existente de los centros (Capacidad de Separación). Cuando esta es menor a 1, podemos decir que el sistema tiene capacidad ociosa, u caso contrario se encuentra saturado.

Por otro lado, la variable Relación Capacidad Separación en Origen analiza el Coeficiente de Saturación solo en el caso en que no haya una ampliación de capacidad de centro verde en proceso. Para el análisis de la ampliación de la capacidad de un centro verde se utilizan las variables Variación, Variación de Centros Verdes y Aux.

Al mismo tiempo la variable auxiliar Tiempo de construcción, expresa el tiempo medio para la ampliación de la capacidad de los centros verdes desde que se inicia el proceso de ampliación hasta que efectivamente se incrementa la misma.

La variable auxiliar Punto nueva necesidad de Centro Verde, contiene el porcentaje que debe tener la variable Coeficiente de Saturación para disparar la ampliación de la capacidad de los centros verdes. En caso que el Punto Nueva Necesidad de Centro Verde sea alcanzado por la relación Capacidad de Separación en Origen cambia a uno el valor de la variable Necesidad de Nuevo Centro. Esto dispara la ampliación contemplando la demora indicada por la variable Tiempo de construcción.

Inicio de Aplicación de Ley RSU 0, es una variable auxiliar que indica a partir de que año se comienza a evaluar la necesidad de ampliación de capacidad de centros verdes.

Capacidad Inicial, es otra variable auxiliar que indica la capacidad de los centros verdes con la que inicia el sistema al momento en que lo indique la variable Inicio de Aplicación de Ley

RSU 0.

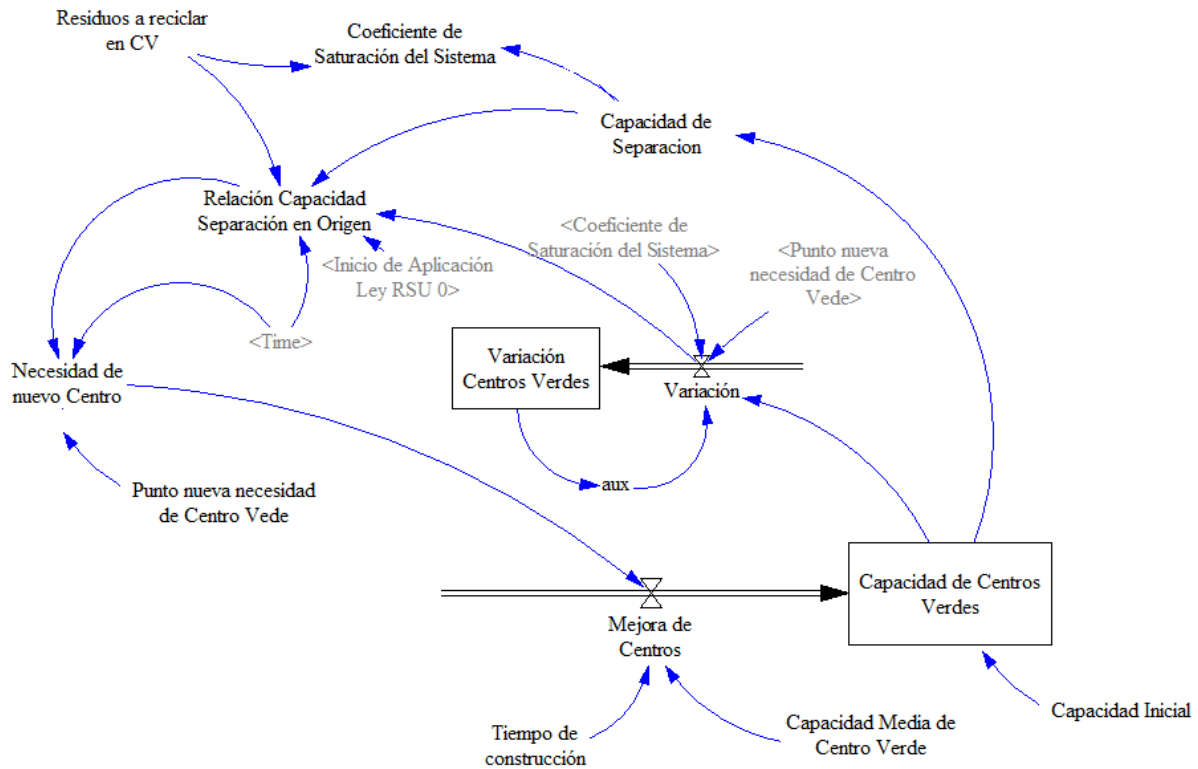


Figura 18: Módulo de Ampliación de Capacidad de Centros Verdes.

8.3.4 Módulo de Difusión

Este módulo busca gestionar de qué manera se irá incrementando la separación en origen.

Existen tres maneras de gestionar este incremento, las cuáles pueden ser elegidas a través de la variable auxiliar Selector de Opciones.

Las tres maneras funcionan alimentando a través de la variable Incremento Difusión el nivel Difusión. Esta difusión está indicada como un porcentaje del total de la basura reciclada por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

La primera opción, basa su comportamiento en un incremento lineal mensual del orden indicado por la variable auxiliar Pendiente Difusión.

Por otro lado la segunda opción, permite indicar a través de una tabla de qué manera se irá incrementando.

Por último la tercera opción permite delegar al sistema la decisión de determinar en qué momento aumentar la difusión en un orden determinado por la variable Pendiente de Difusión.

El sistema determina, a través del Coeficiente de Saturación del Sistema comparándolo con el Punto de Nueva Necesidad de Centro Verde, si es oportuno el incremento de la difusión. Es decir, si el sistema tiene capacidad ociosa se dispara el incremento de la difusión hasta alcanzar el 100% de los generadores o hasta que el sistema se vea saturado o en equilibrio.

Al igual que en el Módulo de Ampliación de Capacidad de Centros Verdes, se iniciará el incremento de la difusión a partir del año indicado en el Inicio de Aplicación de Ley RSU 0.

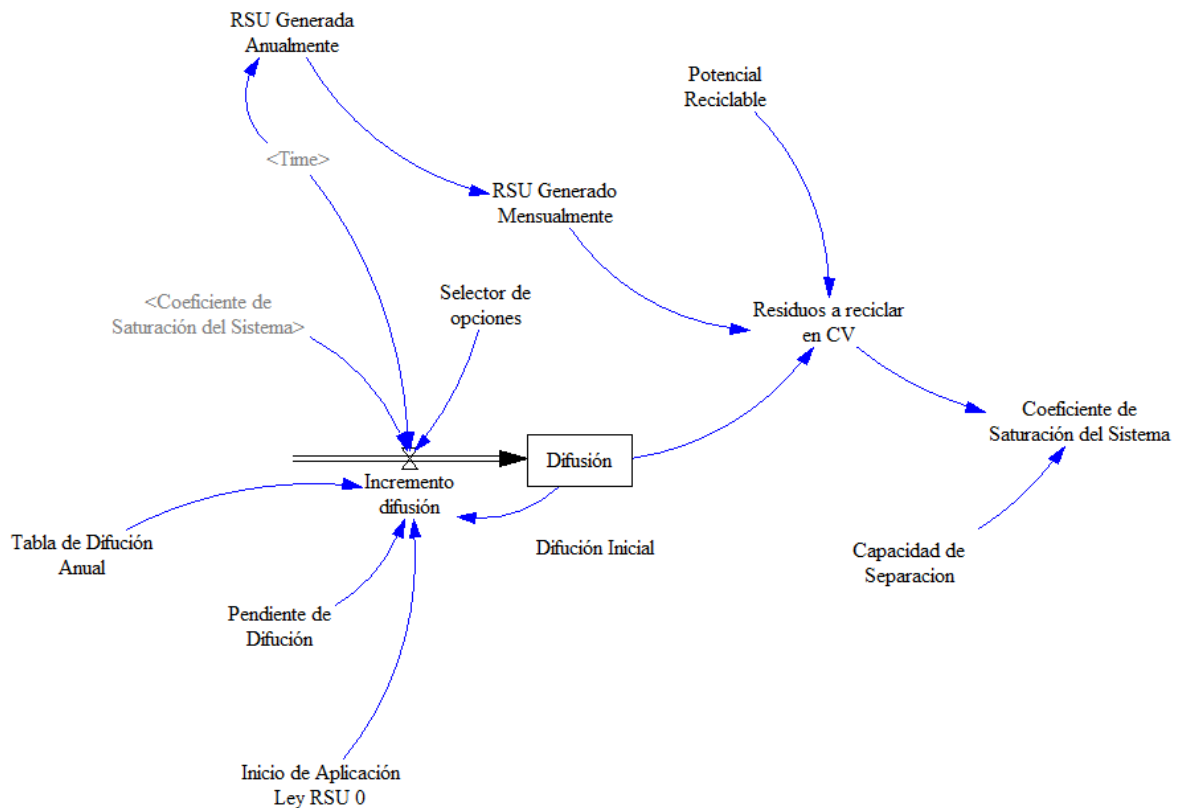


Figura 19: Módulo de Difusión.

9. Capítulo V – Resultados

Analizando el comportamiento del modelo respecto a la situación actual de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se vio un gran crecimiento de los RSU generados. Si bien este escenario se corresponde con los datos obtenidos es un escenario pesimista en el sentido que no existen políticas fuertes para la reducción de residuos generados.

En cuanto a las políticas de reducción de residuos dispuestas a través del reciclaje, vemos que el sistema puede ajustarse de manera que muestre dicho comportamiento.

Para el análisis de los resultados arrojados por el modelo, plantearemos tres escenarios y ajustaremos las variables para buscar el mejor comportamiento esperado del sistema. Los escenarios planteados son:

- Optimización de las políticas actuales
- Optimización de las políticas a partir del año 2010
- Optimización de las políticas a partir del año 2014

Por otro lado observaremos de qué manera se comportará el sistema de reciclado para las situaciones actuales. Para esto se evaluarán las metas impuestas por la Ley de Basura Cero y el comportamiento según las políticas actuales de crecimiento de la capacidad de centros verdes.

Cumplimiento de las metas impuestas por la Ley de Basura Cero

A través del modelo podemos proyectar la cantidad de residuos que serán reciclados y como esto reducirá la cantidad de materiales dispuestos en los rellenos sanitarios.

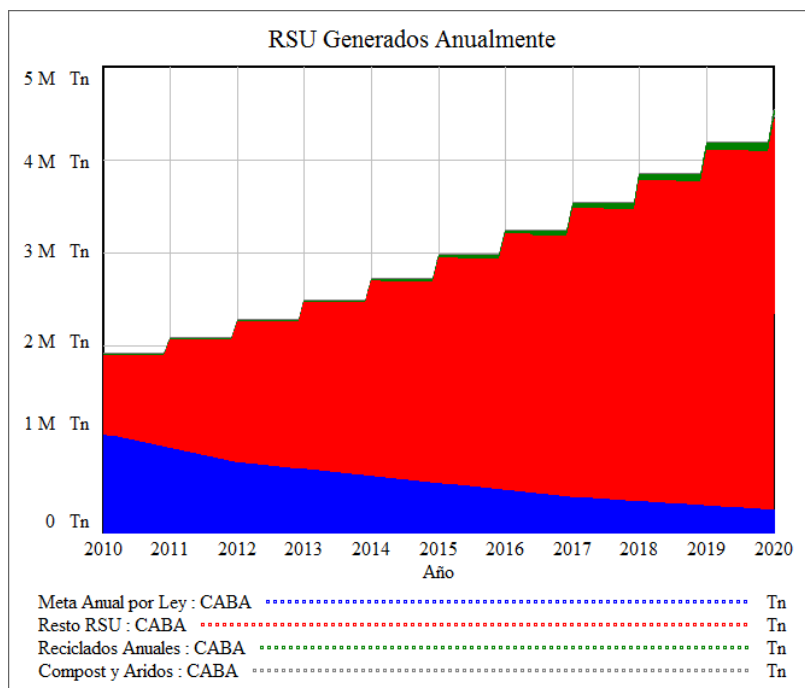


Figura 20: Residuos sólidos urbanos generados anualmente comparados con los hitos de la Ley de Basura Cero.

En la figura (Fig. 20) podemos ver en rojo la proyección de la cantidad de RSU que serán dispuestos en rellenos sanitarios, en verde la cantidad de residuos que serán reciclados según las políticas actuales y, superpuesto en azul, la cantidad máxima de residuos a disponer para cumplir las metas impuestas por la Ley de Basura Cero.

Podemos observar que el total de los residuos dispuestos por la CABA en el año 2010 según la proyección del modelo fue de casi 2 millones de toneladas mientras que para el cumplimiento de las metas impuestas por la Ley deberían haberse dispuesto menos de 1 millón.

Analizando la información del gráfico, vemos que el objetivo de la Ley es virtualmente inalcanzable en los próximos años ya que representa reducir en varios millones de toneladas las cantidades enviadas a rellenos sanitarios.

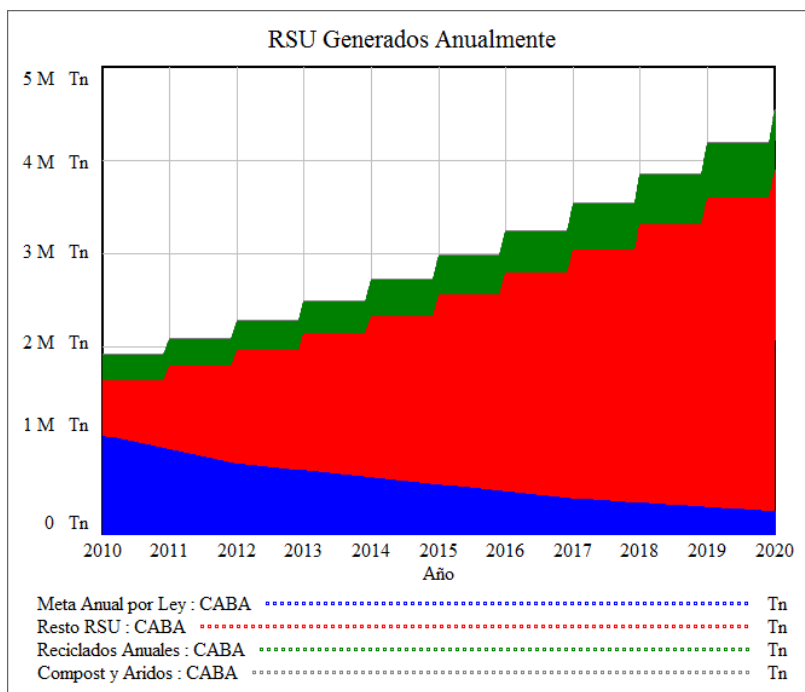


Figura 21: Residuos sólidos urbanos generados anualmente comparados con los hitos de la Ley de Basura Cero. En un escenario idealizado, con capacidad de centros verdes infinita y con un alcance total de la población de CABA para separar en origen.

Nuevamente en la figura (Fig. 21) podemos ver las metas en azul y residuos dispuestos en rojo. En este caso, la figura muestra en verde la cantidad máxima de residuos reciclados. Esto es suponiendo una capacidad de centros verdes infinita y la separación en origen realizada por la totalidad de la ciudad. Lo que podemos observar es que las metas son inalcanzables en esta situación.

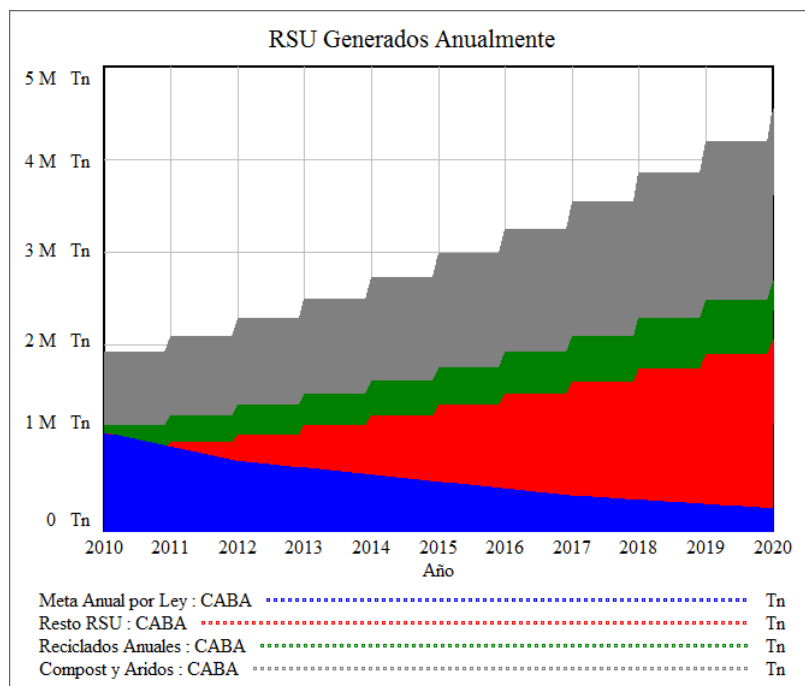


Figura 22: Residuos sólidos urbanos generados anualmente comparados con los hitos de la Ley de Basura Cero. En un escenario idealizado, con capacidad de centros verdes infinita y con un alcance total de la población de CABA para separar en origen. Aplicando compost.

Si siguiendo con las suposiciones de la figura anterior (Fig. 21) agregamos en la nueva figura (Fig. 22) en gris un proceso de tratamientos de residuos a través del compostaje y el tratamiento de los residuos áridos. Vemos que en este caso se hubieran podido cumplir las metas para los años 2010 y 2011 pero incluso para este escenario idealizado, las metas no son alcanzables para el resto de los años.

Siendo estas metas inalcanzables actuando solo en el tratamiento de residuos, enfocaremos los próximos escenarios a buscar el procesamiento de la totalidad de los residuos reciclables para el año 2020

Continuar con las políticas actuales

El Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires proyecta un aumento anual máximo de la capacidad de centros verdes en 1200 Tn/Mes. Ingresando esta información en nuestro modelo obtenemos los siguientes resultados:

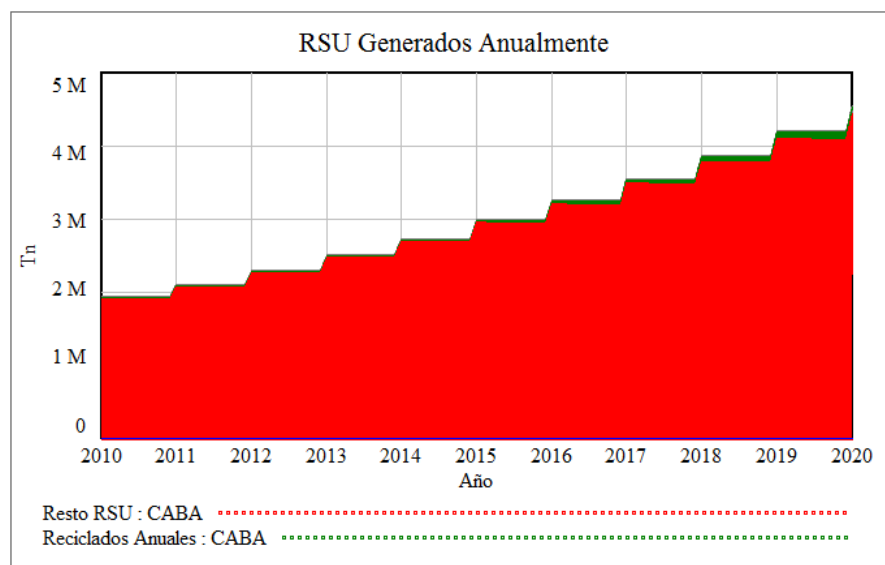


Figura 23: Cantidad de residuos dispuestos contra los reciclados.

En la figura (Fig. 23), podemos ver el comportamiento de los residuos dispuestos, en rojo, y en verde los residuos que fueron recuperados reduciendo la cantidad de materiales dispuestos.

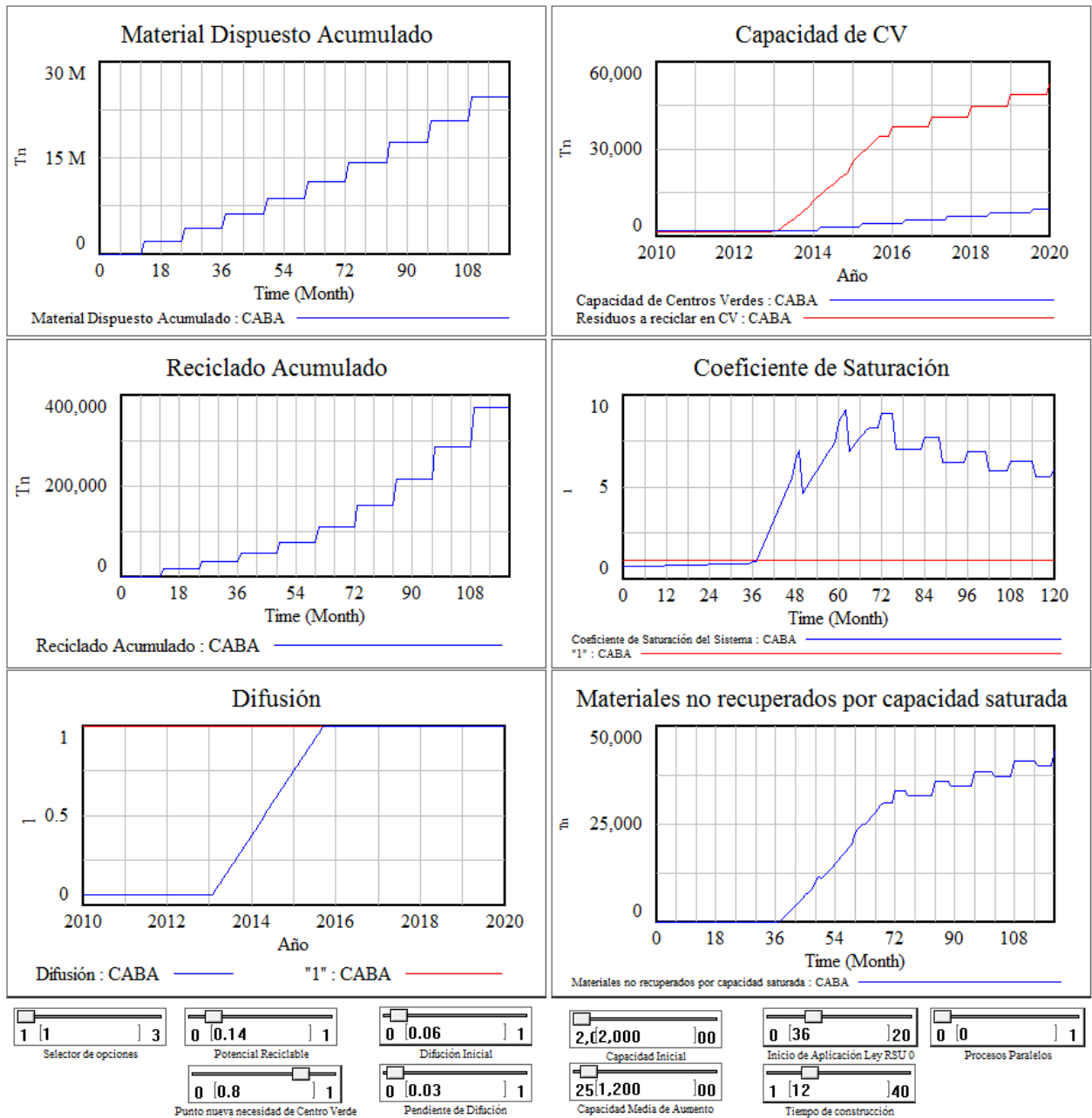


Figura 24: Comportamiento del sistema de reciclado, según políticas existentes.

Se puede ver en esta figura (Fig. 23), el comportamiento del sistema de reciclado según el valor de las variables que reflejan las políticas existentes. La variable Inicio de Aplicación Ley RSU 0 permite definir en qué momento se comienza con la generación de capacidad según el

estado del sistema. Para el escenario de las políticas actuales se configuró en 36 meses ya que a partir del 2013 se comenzó a agregar al sistema de reciclaje capacidad de procesamiento. Esta capacidad está dada por la Capacidad Media de Aumento configurada en 1200 Tn/Mes, que según datos brindados en la entrevista con autoridades de la Dirección de Reciclado de la CABA. Por otro lado existe una demora de 12 meses en la ampliación de la capacidad del sistema de centros verdes.

Podemos ver en estos gráficos que si bien el 100% de la ciudad está separando en origen para el año 2016 la capacidad no acompaña este crecimiento por lo que el sistema se ve saturado. Esto limita el crecimiento de los residuos efectivamente reciclados a la capacidad de los centros verdes.

También observamos que el crecimiento anual de la cantidad de basura generada supera ampliamente la capacidad del sistema a reaccionar sobre el reciclaje. Anualmente se introducen 1200 Tn/Mes de capacidad dando para el año 2020 una capacidad de procesamiento mensual de 9200 Tn. Con esta capacidad y considerando que el 100% de la ciudad separa en origen hay 43873 Tn de residuos reciclables que son enviados a disposición final desde los centros verdes por ver su capacidad excedida. Esto también se puede deducir de evaluar el coeficiente de saturación del sistema, estando este saturado desde el año 2013.

9.1 Hipótesis y Resultados

En agenda hay tres posibles soluciones al problema de la basura relacionado con el reciclaje. Por un lado se plantea como una posible solución la difusión de la separación en origen. Para ello se invierten grandes cantidades de dinero en publicidad multimedia. Esta solución se basa en hacer que los residentes de la ciudad saquen los residuos de manera diferenciada, por un lado los residuos húmedos y por el otro los reciclables.

Otra solución, sobre la cual actualmente se está trabajando, es la mejora de la capacidad de los centros verdes. Al relevar sobre cuáles eran las políticas actuales respecto a la mejora de la capacidad nos informaron que se ampliará en 1200 Tn/Mes al menos durante los próximos 5 años. Analizaremos también si esta variable es una variable de apalancamiento y de que manera reacciona el sistema.

Por otro lado existe la posibilidad de mejorar el porcentaje de materiales potencialmente reciclables, a través del incentivo hacia las empresas a utilizar materiales reciclables en sus productos. Analizaremos también el impacto de realizar acciones sobre esta variable.

También hay soluciones que si bien no están en agenda podrían resultar útiles. El tiempo que el sistema se demora en aumentar la capacidad de procesamiento de los centros verdes también es una posible variable de apalancamiento. Esto haría que el sistema responda más rápidamente, adaptándose más rápido a los cambios y al crecimiento. También permitirá en un menor tiempo aumentar la capacidad de los centros y en consecuencia la cantidad de materiales reciclados.

A su vez, suponiendo que la generación de nuevos centros verdes se disparan a partir de un porcentaje de saturación del sistema, evaluaremos de qué manera influye esta variable en la toma de decisiones para obtener un mejor resultado.

Por último analizaremos los métodos alternativos de reducción de los RSU generados agrupados en lo que llamaremos Procesos Paralelos. Esto será analizado de manera cuantitativa sin detallar su comportamiento en el tiempo ya que, a pesar de ser una solución a la cantidad de RSU dispuestos, esta fuera del alcance del modelo.

Aplicaremos estas posibles soluciones a los tres escenarios planteados para ver cuáles serían las mejores soluciones posibles.

Escenario Optimización de las políticas actuales

En este escenario consideramos que la capacidad máxima que se agregará a los centros verdes anualmente será de 1200 Tn/Mes y veremos cómo se comporta cuando se cambien las variables que mencionamos en el comienzo de este apartado.

El primer análisis es el que se corresponde con la realidad elicitada, que puede verse en el gráfico que se encuentra a continuación.

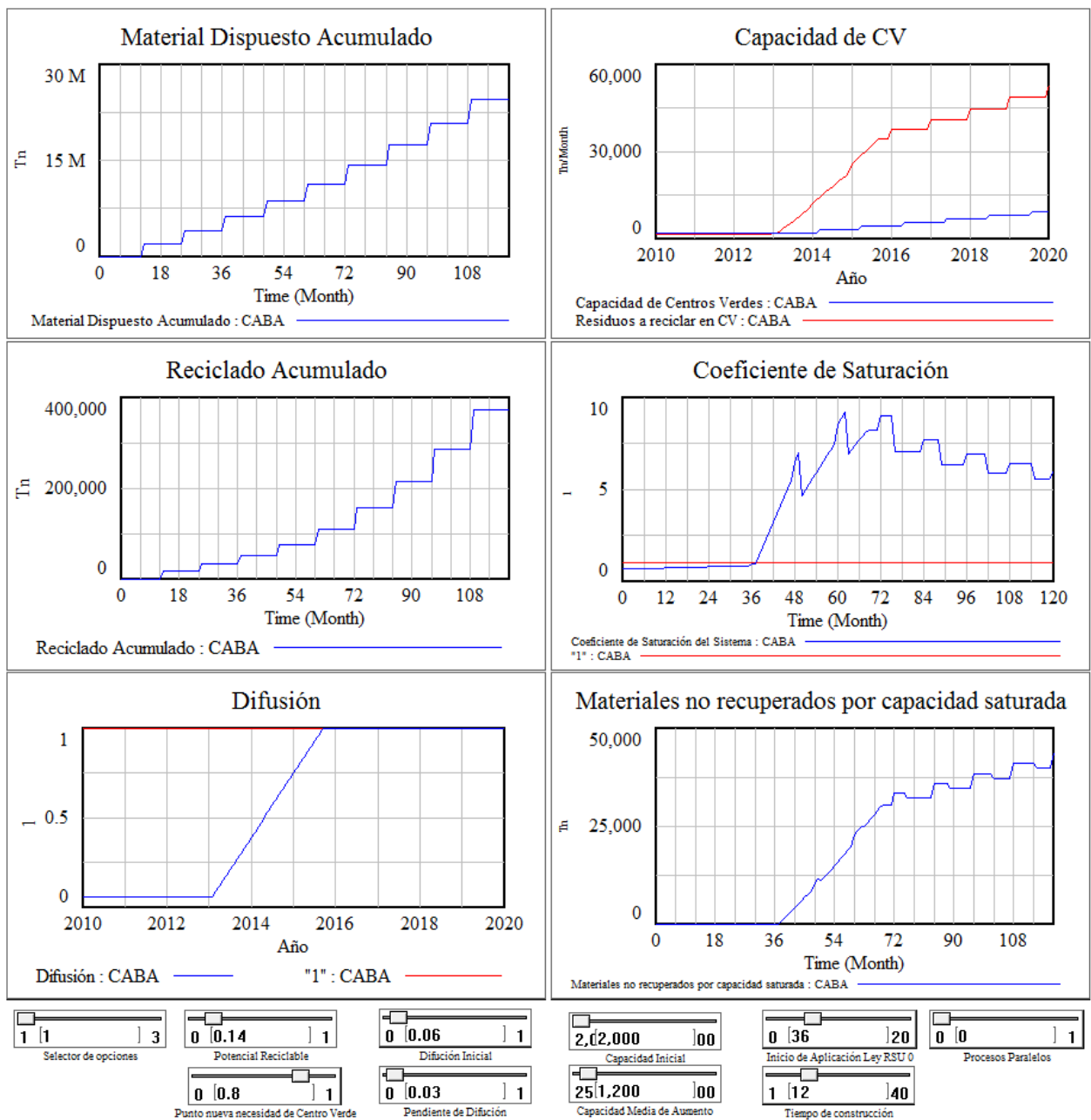


Figura 25: Aumento anual de la capacidad en 1200 Tn/Mes - Comportamiento inicial

Podemos observar en la Figura “Difusión” que la variable Difusión está dada por un crecimiento lineal, producto de una política de difusión orientada a abarcar el 100% de la ciudad. Consideramos que por la gran presencia de publicidades incentivando a difundir la separación en

origen logrando para mediados de 2015 la separación en origen del 100% de los residentes.

Por otro lado podemos ver en las Figuras “Capacidad de CV” y “Coeficiente de Saturación” que la capacidad de los centros verdes se ve ampliamente superada por los residuos que les llegan para reciclar. Esto provoca que la basura recorra el circuito diferencial para llegar a los centros verdes y que luego estos tengan que enviarlos a rellenos sanitarios por verse colapsados. La cantidad en Toneladas que corresponde a estos residuos puede verse en la figura materiales no recuperados por capacidad saturada. El transporte de estos residuos hasta los centros verdes y su posterior transporte a los rellenos sanitarios genera gastos extra en el sistema de reciclaje. Si consideramos que además aumentar la difusión tiene un costo asociado, es notorio que una solución orientada a difundir la separación en origen en toda la ciudad no solo es innecesaria sino que es contraproducente.

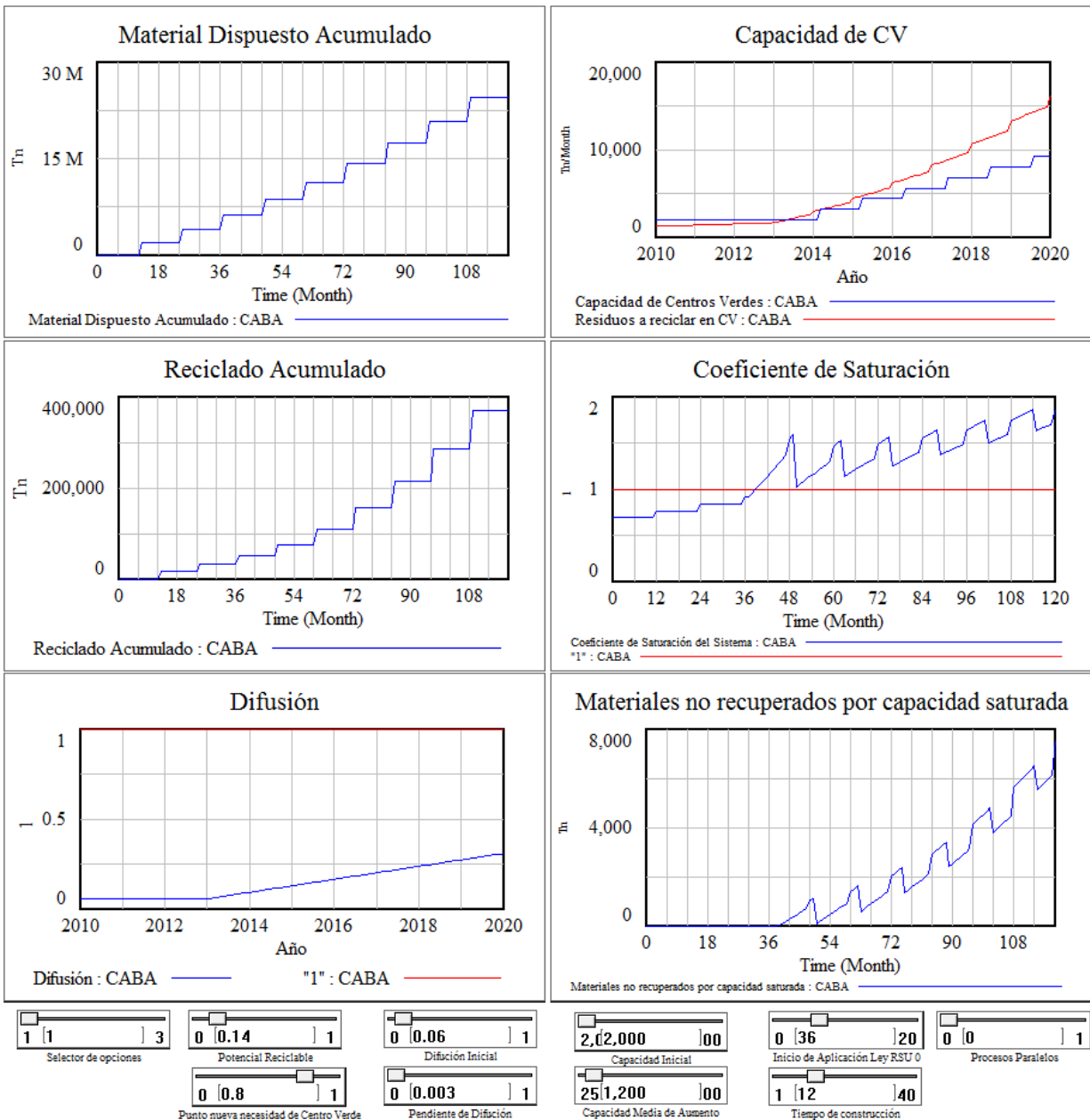


Figura 26: Comportamiento del sistema de reciclado, ajustando pendiente de de difusión.

Cuando se ajustó la pendiente de la difusión con intención de evitar saturar el sistema se llegó a 0.003 como valor óptimo para la difusión. Es decir, según el crecimiento proyectado de la capacidad de centros verdes, debería orientarse la campaña de difusión para que el crecimiento de

la separación en origen crezca el 0.3% mensual. Lo que puede verse en la figura (Fig. 26) es que la difusión para el año 2020 solo alcanzara el 31% de la ciudad. Si bien este número es pequeño, el modelo nos muestra que realizar un mayor aumento en la difusión no solo es innecesario sino que es contraproducente y no aumenta la cantidad final de residuos reciclados. Incluso con esta difusión vemos que en el 2020 la saturación del sistema llevará a que 6000 toneladas de residuos deban ser enviados desde los centros verdes a los rellenos sanitarios.

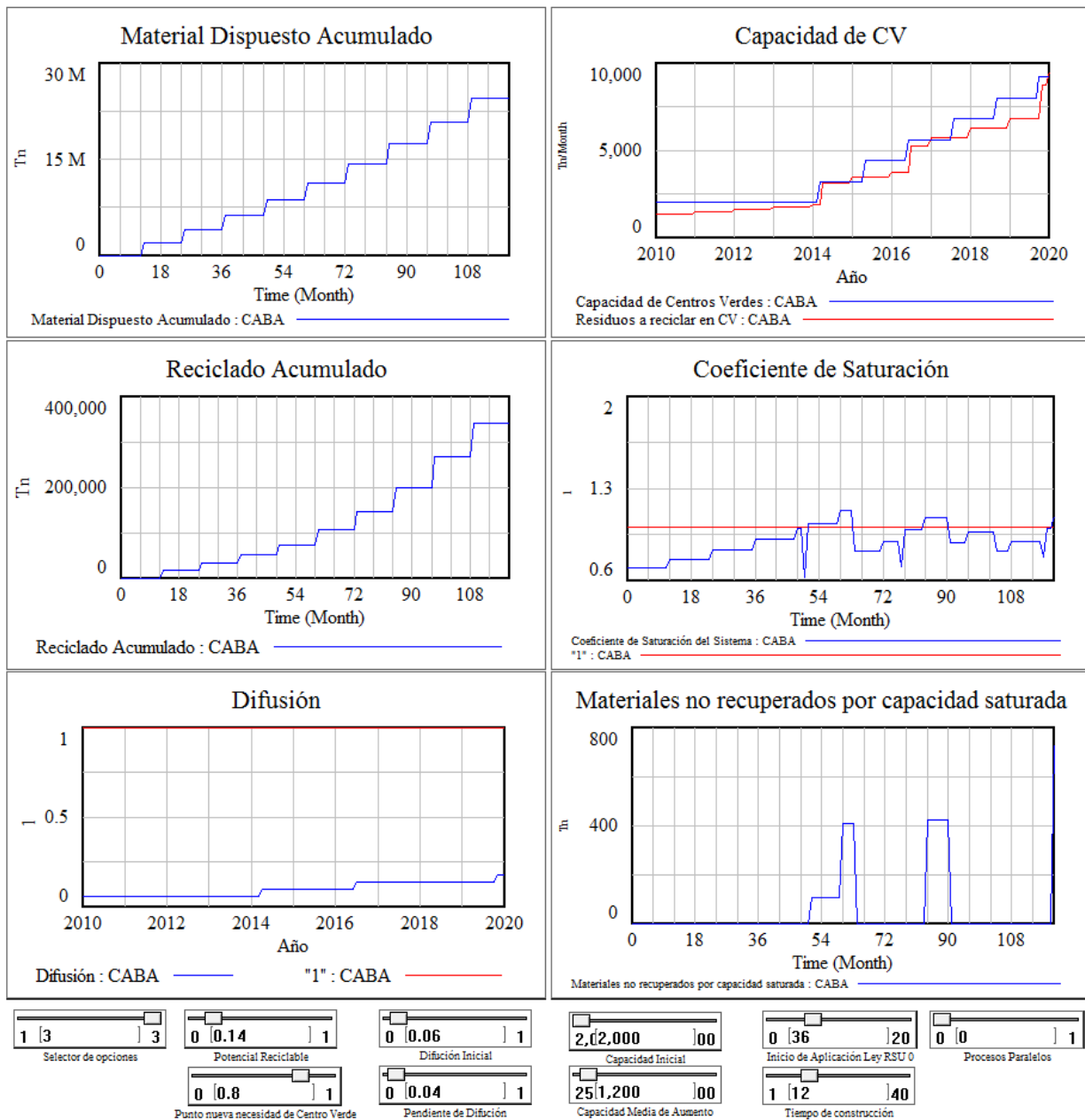


Figura 27: Comportamiento del sistema de reciclado utilizando bucle de retroalimentación para la difusión.

El modelo permite a través de la opción 3 que analice el estado de saturación del sistema para que, en caso de tener capacidad ociosa se dispare la generación de un nuevo centro verde. La evaluación de la capacidad se hace comparando el coeficiente de saturación con el punto de

nueva necesidad de centro verde. Podemos observar que cuando él se le delega al modelo la decisión de la difusión, la cantidad de materiales no recuperados tiene a disminuir. De podemos observar que la difusión es una variable que retroalimenta al sistema saturando, por lo que no es conveniente definir el crecimiento de la difusión de manera lineal. La variable de crecimiento de la Difusión es importante para evitar la saturación del sistema.

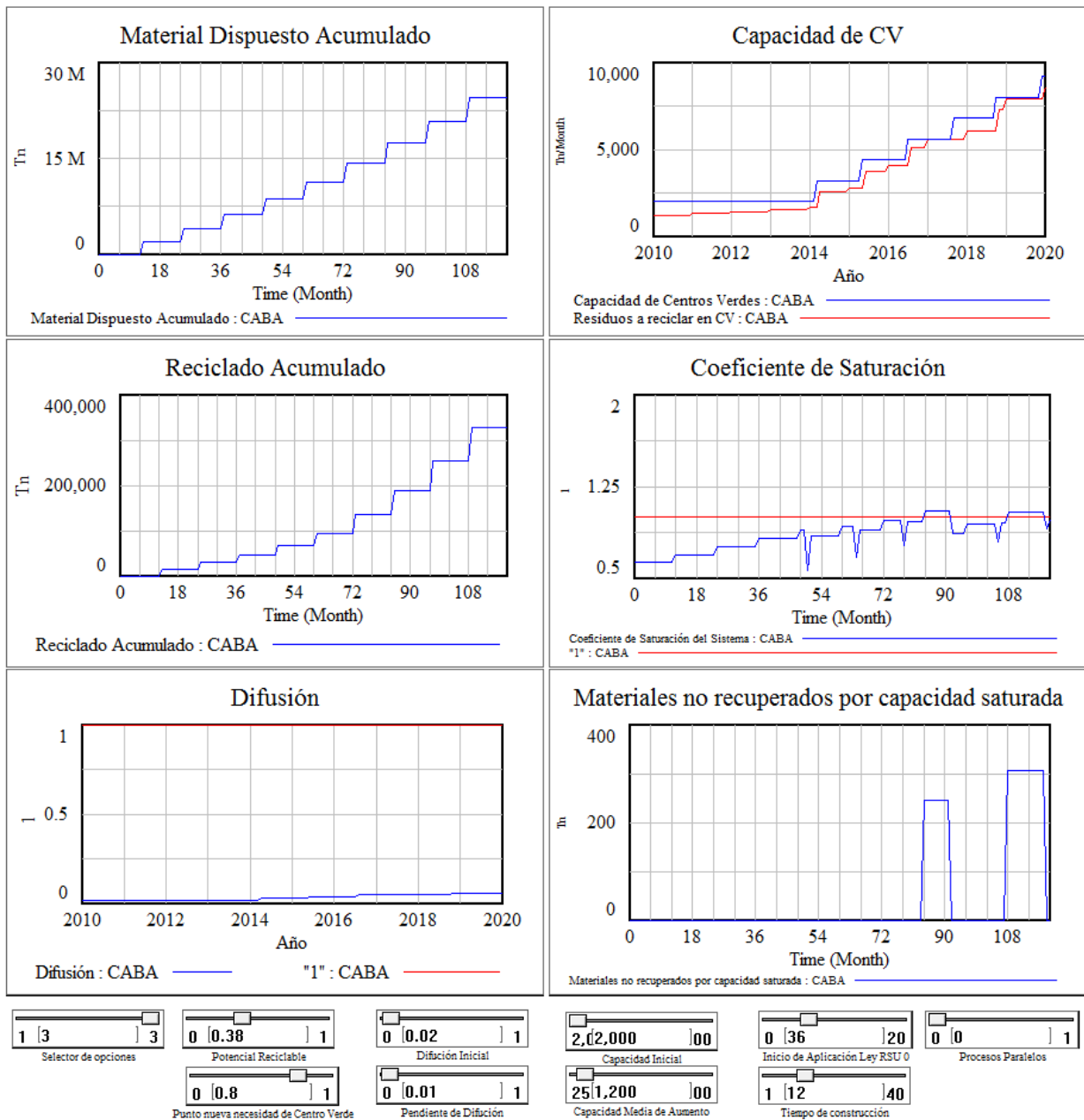


Figura 28: Comportamiento del sistema de reciclado aumentando el potencial reciclable.

En esta figura (Fig. 28) se varió el porcentaje del potencial reciclable, llevándolo al máximo posible (Inalcanzable en la práctica). Lo que vemos es que el reciclado acumulado no aumenta ya que el sistema está saturado en todo momento. Lo otro que se puede ver es que para evitar que crezca la cantidad de materiales no recuperados por capacidad saturada, el crecimiento de la difusión debe ser más suave. Esto es porque en este caso, una misma porción de la ciudad generará más cantidad de residuos aptos para el reciclaje. Vemos que mientras exista saturación en el sistema no tiene sentido actuar sobre este atributo.

Vemos que no tiene sentido cambiar el punto de mejora ya que el sistema está constantemente colapsado, teniendo su nivel de saturación cercano a 1 en todo momento.

Escenario Optimización desde al Año 2010

Tomamos como punto inicial el año 2010, momento en el cual la cantidad de RSU dispuestos duplicó la cantidad permitida por la Ley de Basura Cero. En el siguiente gráfico lo que se puede ver es el comportamiento que hubiera tenido el reciclaje de la CABA si se hubieran aplicado las políticas actuales a partir de dicho año.

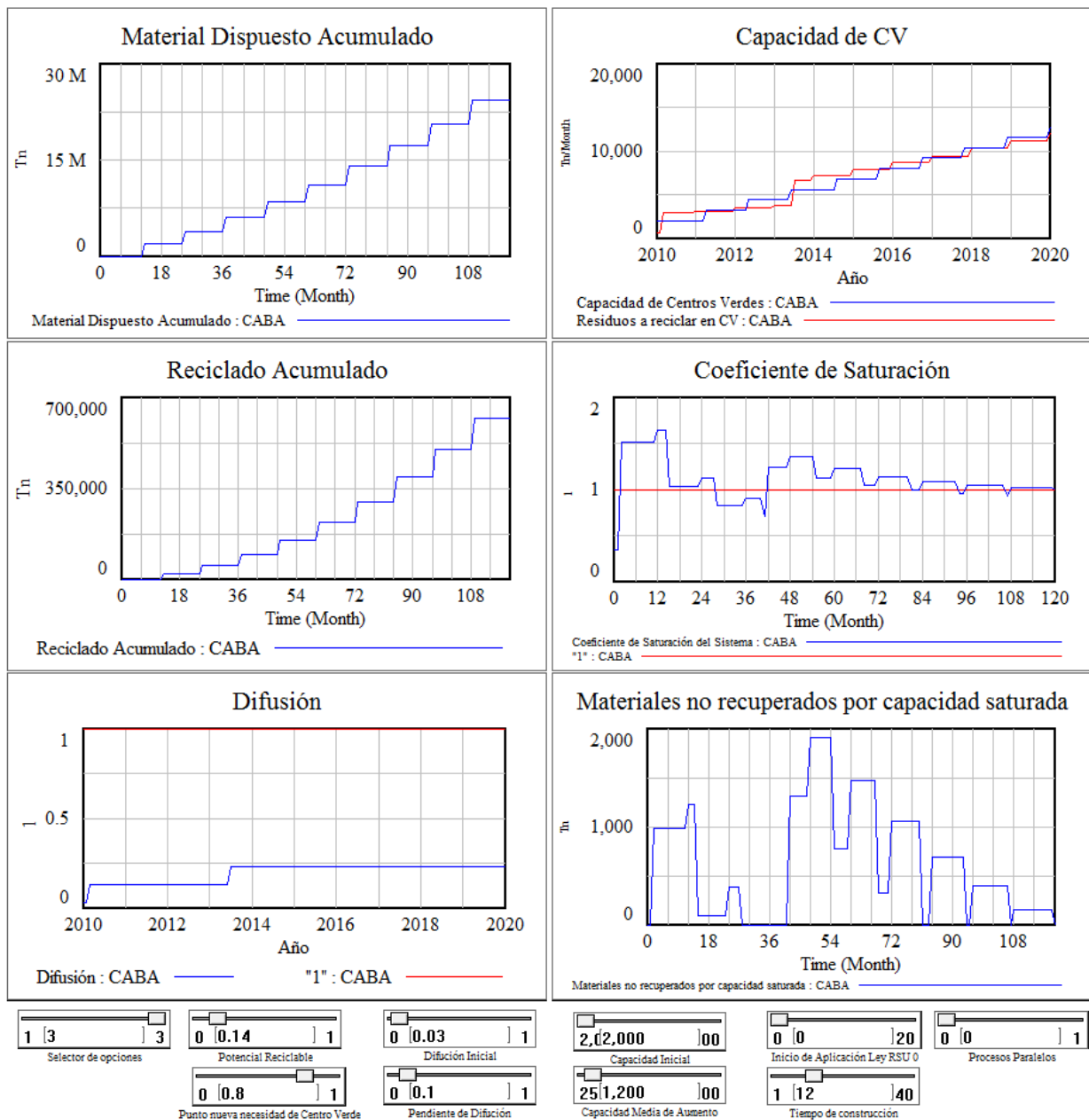


Figura 29: Comportamiento del sistema de reciclado aplicando políticas actuales a partir del año 2010.

Podemos ver en la figura (Fig. 29) que la principal diferencia es la cantidad de residuos reciclados acumulados y el nivel de difusión alcanzado. Sobre esta base cambiaremos diferentes variables para ver cómo sería la reacción del sistema y evaluar que variables pueden apalancar el

sistema y ayudar a acercarnos más al cumplimiento de la ley.

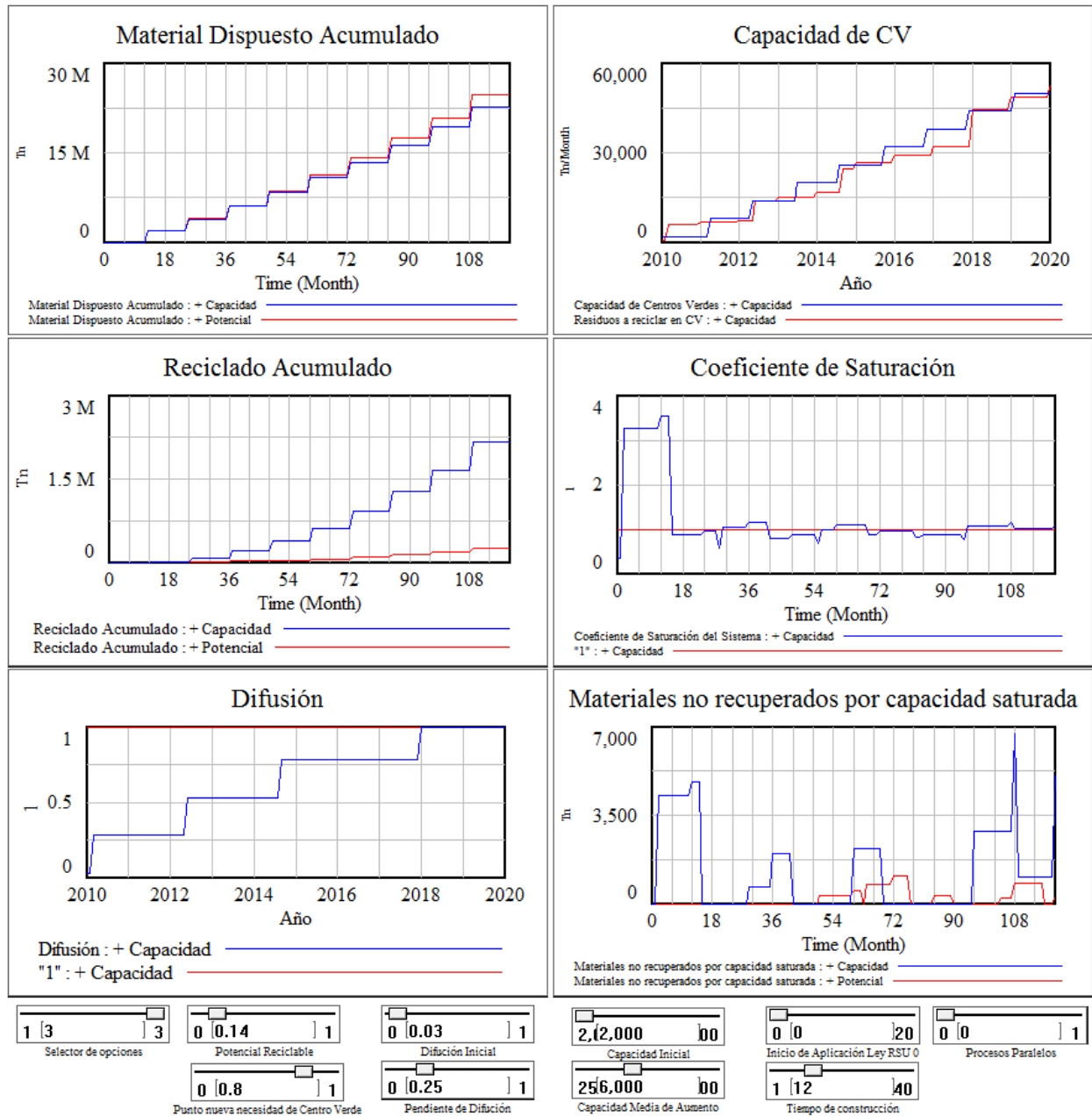


Figura 30: Comportamiento del sistema de reciclado mejor configuración a partir del año 2010. Cuando ajustamos la capacidad media de aumento (6000 Tn/Mes) vemos en la figura (Fig.

30) que el sistema llega a la difusión del 100% para el año 2010 con una capacidad suficiente para procesar todos los residuos enviados. También vemos que el Reciclado Acumulado (En azul) aumenta respecto a la situación anterior (En rojo) y en consecuencia lo contrario pasa respecto a los Materiales Dispuestos Acumulados.

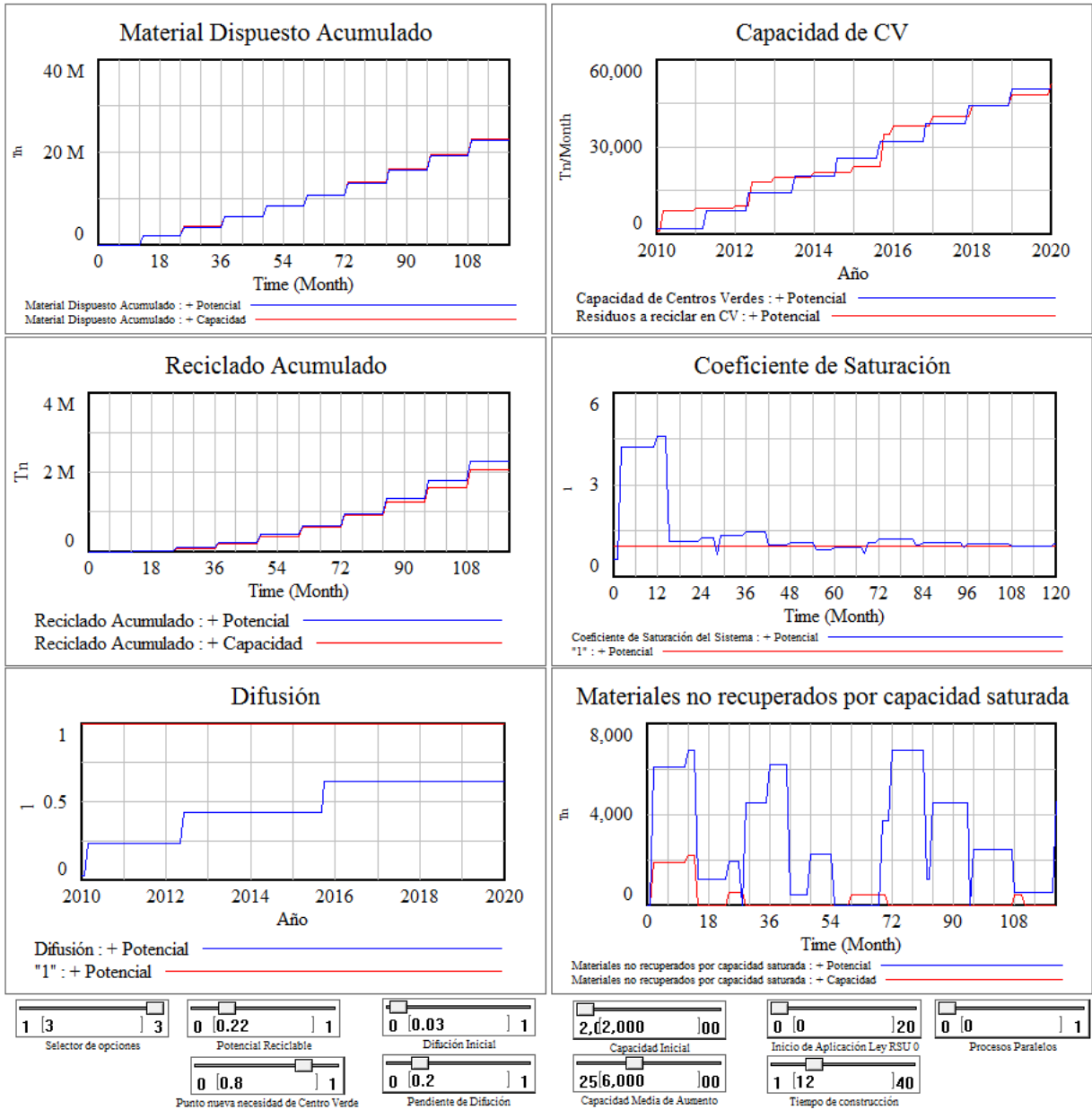


Figura 31: Comportamiento del sistema de reciclado mejor configuración a partir del año 2010 aumentando el potencial reciclable.

Vemos en la figura (Fig. 31) que en este caso tampoco tiene sentido, al menos hasta el año 2020, aumentar el porcentaje de los materiales potencialmente reciclables ya que cuando el sistema se encuentra ocioso se puede aumentar la difusión y así la cantidad de materiales reciclados. Vemos como en el caso anterior, en el que se aumentó el potencial reciclable, que la difusión crece más lentamente. En este caso tampoco se llega a la separación en origen del 100% de la ciudad.

Optimización de las políticas a partir del año 2014

En este escenario analizaremos de qué manera se puede apalancar el sistema a partir del año 2014 para alcanzar el procesamiento de la totalidad de los residuos reciclables para el año 2020. Partimos de la situación actual, con un procesamiento de 2000 Tn/Mes y un aumento anual de 1200 Tn/Mes.

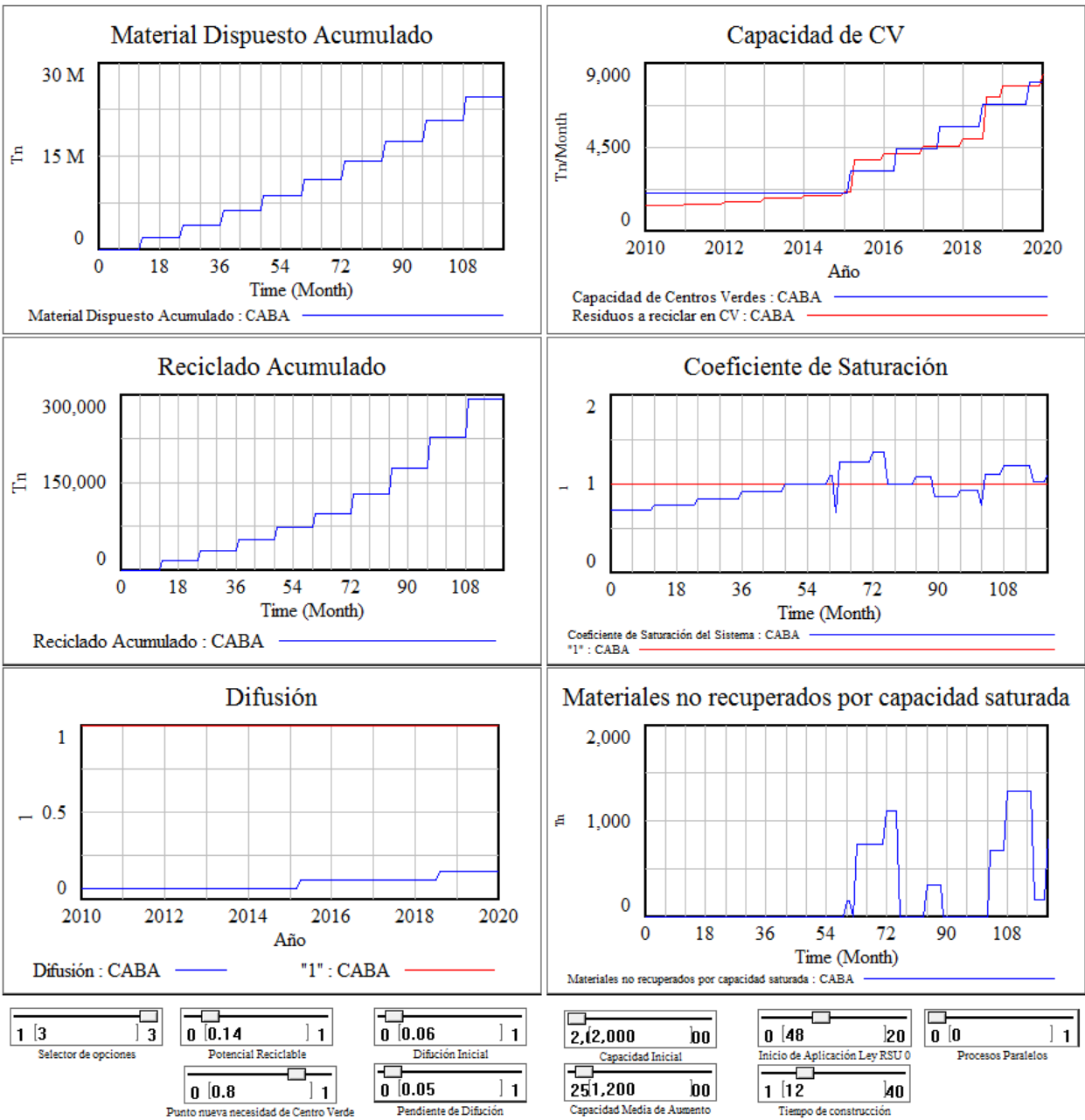


Figura 32: Comportamiento del sistema de reciclado política actual a partir del año 2014.

El comportamiento indica que para 2020 se separará en origen el 16% de la ciudad y se tendrá una capacidad de 8000 Tn/Mes.

Aumentando la capacidad media de aumento vemos que es necesario llegar a un valor de 10.250 Tn/Mes para lograr el procesamiento de la totalidad de los residuos reciclables.

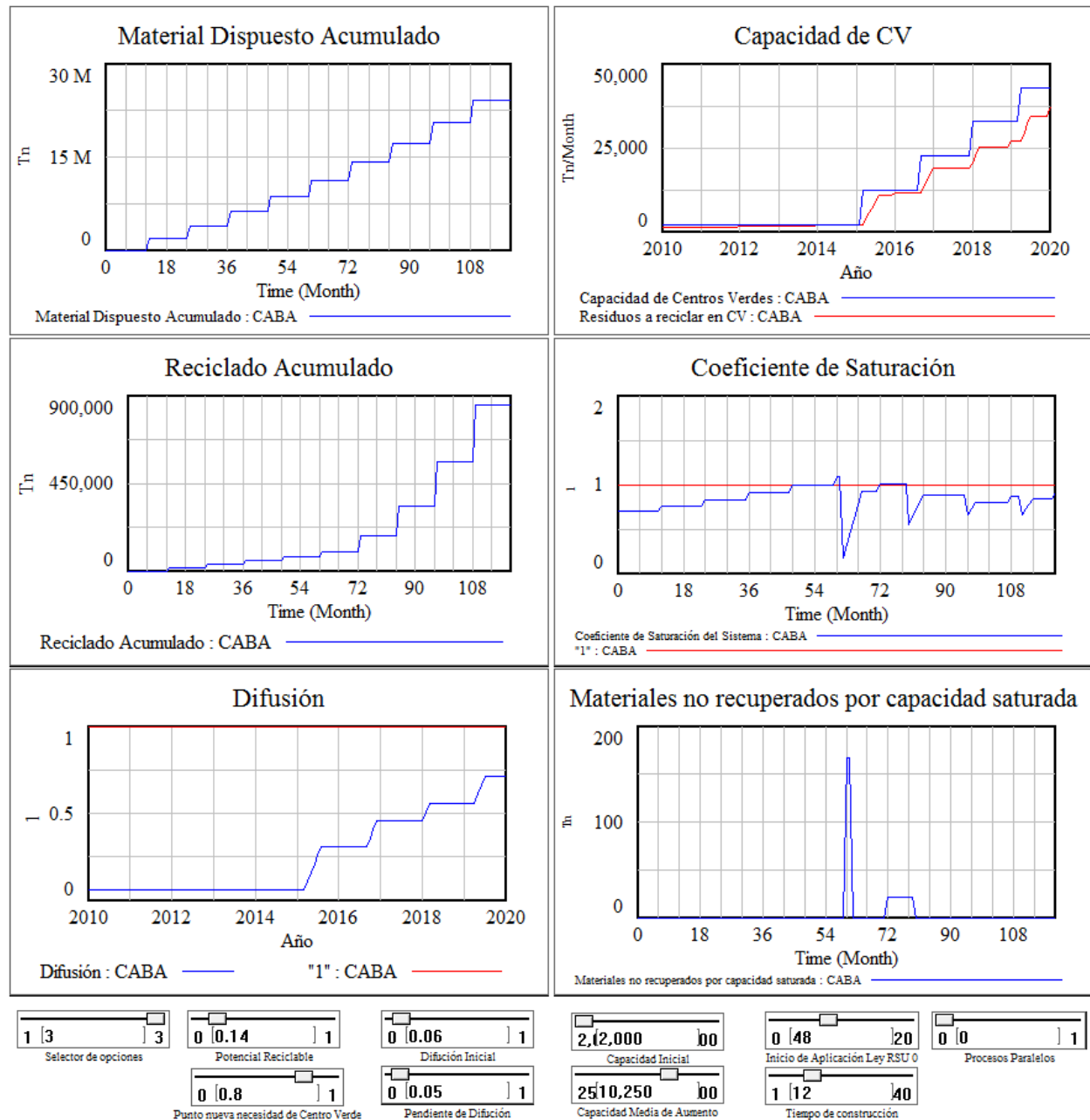


Figura 33: Comportamiento del sistema de reciclado mejor configuración a partir del año 2014.

Si bien este apalancamiento aumento hasta 43.000 Tn/Mes la capacidad del sistema vemos

en la figura (Fig. 33) que la difusión no llego al 100% de la ciudad. Esto nos deja ver que la forma en la que crece la difusión mensualmente cuando el sistema tiene capacidad ociosa es insuficiente.

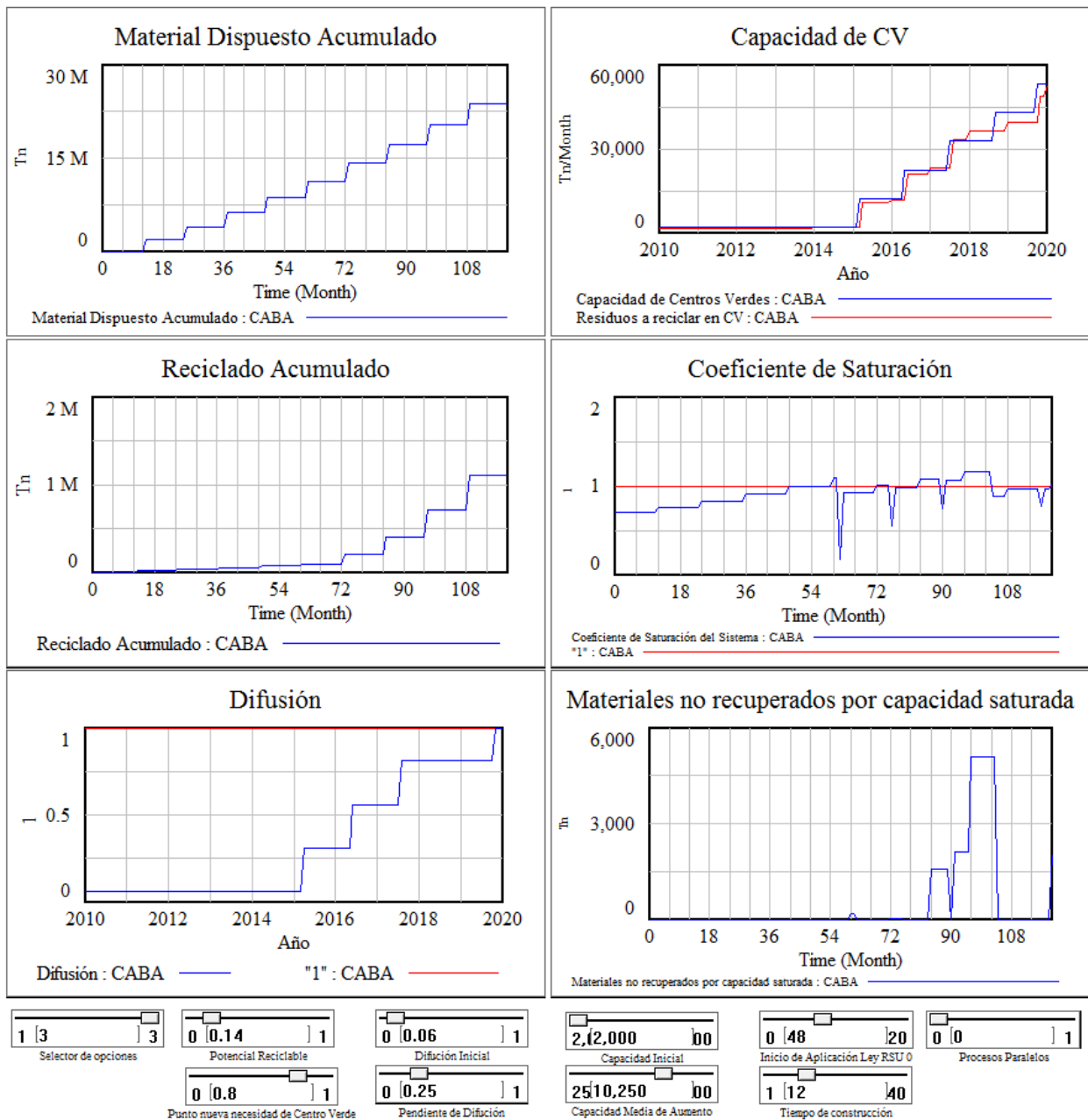


Figura 34: Comportamiento del sistema de reciclado mejor configuración a partir del año 2014 ajuste de difusión.

En esta figura (Fig. 34) podemos ver que si se suma a un cuarto de la ciudad cuando se tiene capacidad ociosa en el caso que haya un aumento de la capacidad de 10.250 Tn/Mes el sistema respondería reciclando el 100% de los materiales para el año 2020. El valor final de la capacidad del sistema será de 53.250 Tn/Mes. Nuevamente vemos que no es conveniente aumentar el potencial reciclable ya que el sistema se encuentra saturado en todo momento. Esto se debe a que cuando está por debajo del nivel de nueva necesidad se aumenta la difusión y en consecuencia el sistema tiende a saturarse nuevamente.

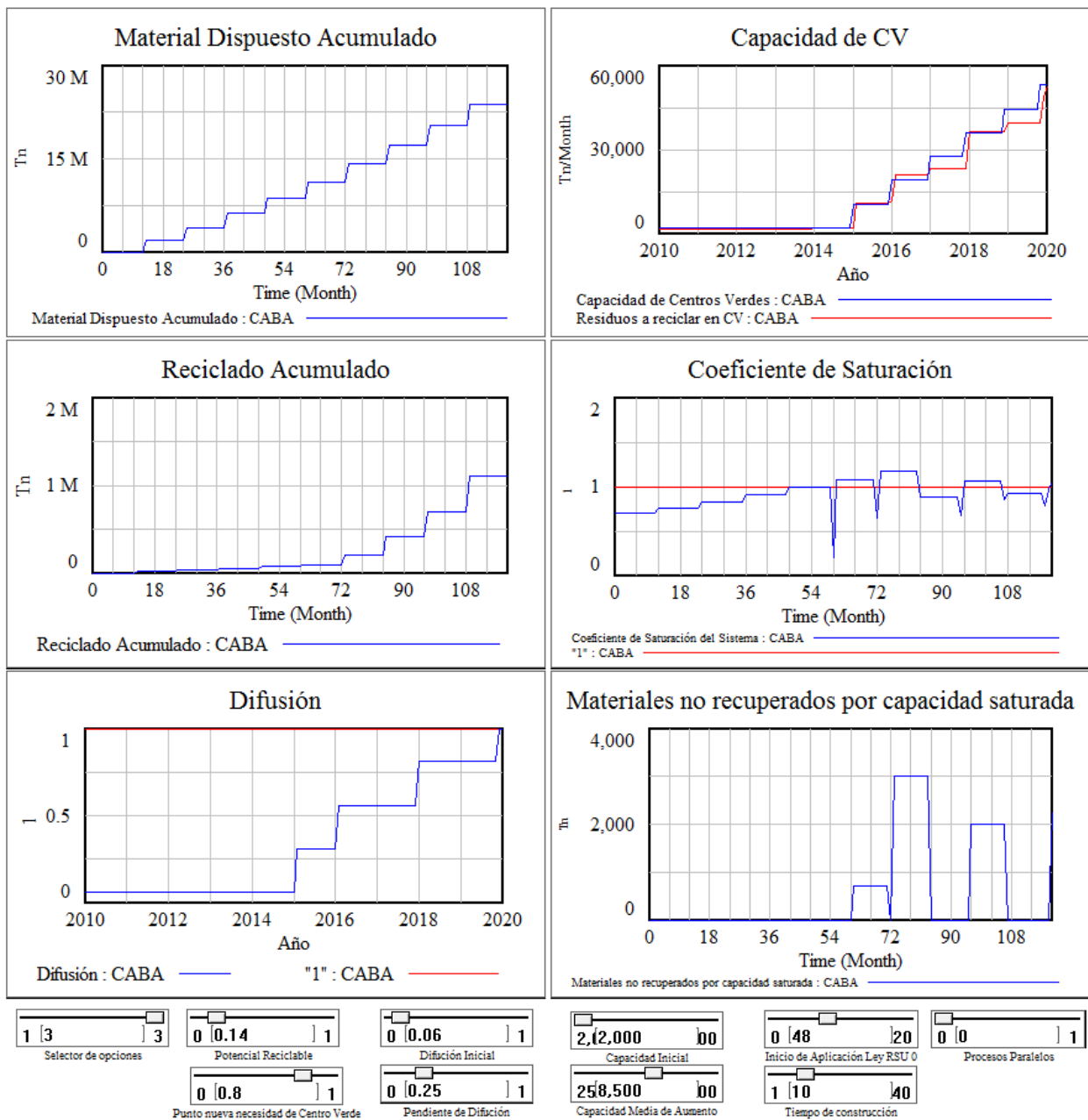


Figura 35: Comportamiento del sistema de reciclado mejor configuración a partir del año 2014 ajuste del tiempo de construcción.

Al cambiar el tiempo de construcción vemos en la figura (Fig. 35) que el sistema reacciona más rápidamente, lo que permite reducir la capacidad media de aumento. De todas formas la capacidad final será de 53.000 Tn/Mes, un valor cercano al obtenido en el caso que el tiempo de

construcción es de 12 meses. Nuevamente vemos que el impacto de una variable se ve afectada por el nivel constante de saturación del sistema. Por este motivo se descarta como solución cambiar el tiempo de construcción de un centro verde.

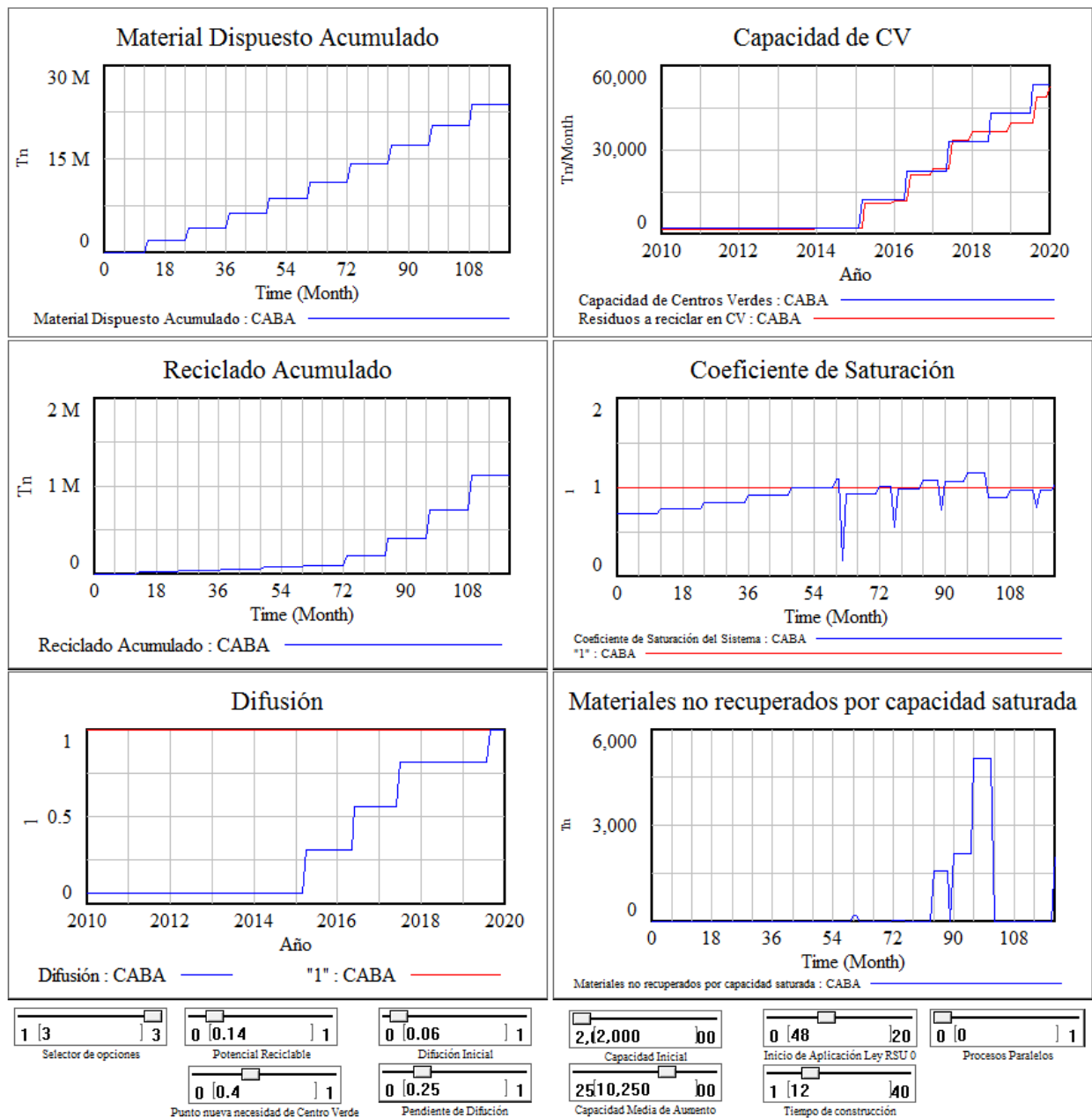


Figura 34: Comportamiento del sistema de reciclado mejor configuración a partir del año 2014 ajuste punto de nueva necesidad.

Ajustamos el punto de nueva necesidad para ver de qué manera reacciona el sistema. Lo que pudimos observar en la figura (Fig. 34) es que el sistema no cambió de manera significativa su comportamiento. Esto se debe al nivel de saturación constante y a su retroalimentación por la difusión. Podemos concluir de esto que el punto de nueva necesidad no es una variable de apalancamiento, al menos en las condiciones que presenta el sistema hasta el año 2020.

Análisis de los resultados

Como vimos en este apartado es sumamente importante que la difusión se de en caso que el sistema no esté saturado. De lo contrario la saturación del sistema llevará a que los reciclables dupliquen su recorrido (Recolección en origen para el envío a centro verde y luego la recolección en centro verde para el envío a relleno sanitario).

Por otro lado vemos que la cantidad de RSU reciclados totales dependen del momento en que se comenzó a actuar activamente sobre los RSU reciclables y de la forma en la que el sistema aumenta su capacidad.

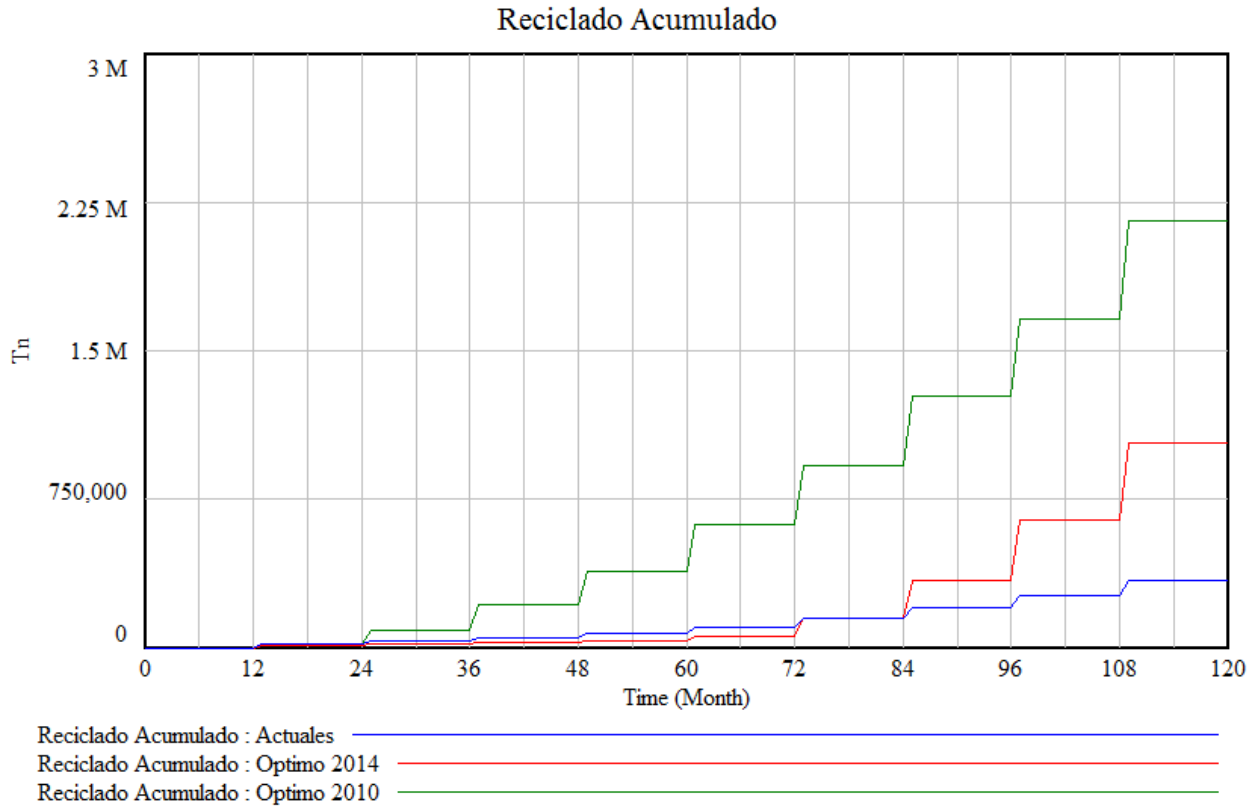


Figura 35: Reciclado Acumulado según escenarios óptimos.

Vemos en la figura (Fig. 35) que en cada escenario la cantidad de residuos reciclados para el año 2020. El escenario de las políticas actuales es el que posee la menor cantidad de residuos reciclados con 340.000 Tn acumuladas. En los escenarios en los cuales se tomó la mejor política posible desde el 2010 y la mejor desde el 2014 observamos una cantidad notoriamente mayor (2,2 millones para el Óptimo 2010 y 1 millón para el Óptimo 2014).

La cantidad de RSU dispuesta según la proyección del modelo en caso que se alcance una efectividad del 100% sobre los residuos separados en origen para el 2020 será de 3.9 millones.

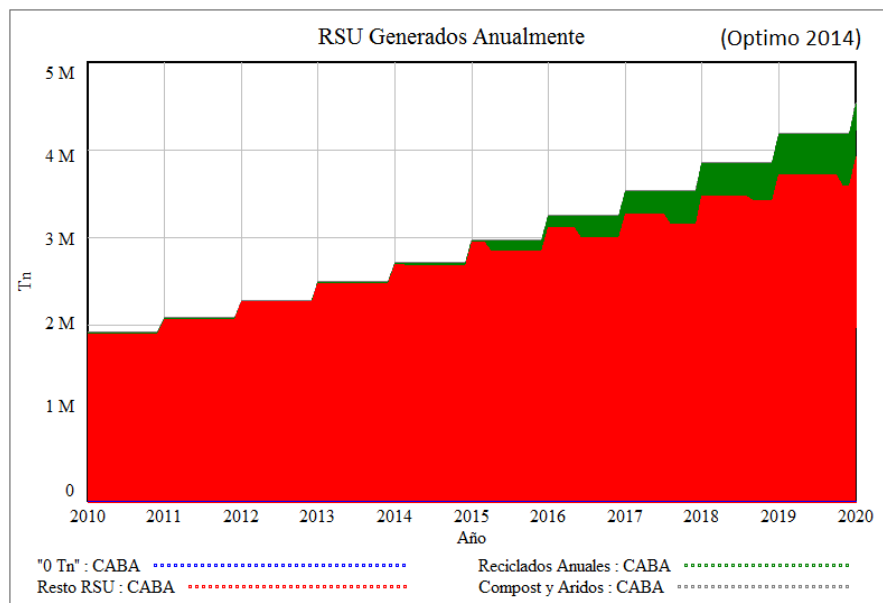


Figura 36: RSU generado según su destino. Donde se tomaron las mejores políticas posibles desde el año 2014.

Por otro lado en el caso que se sigan las políticas actuales de ampliación de reciclaje será de 4,4 millones.

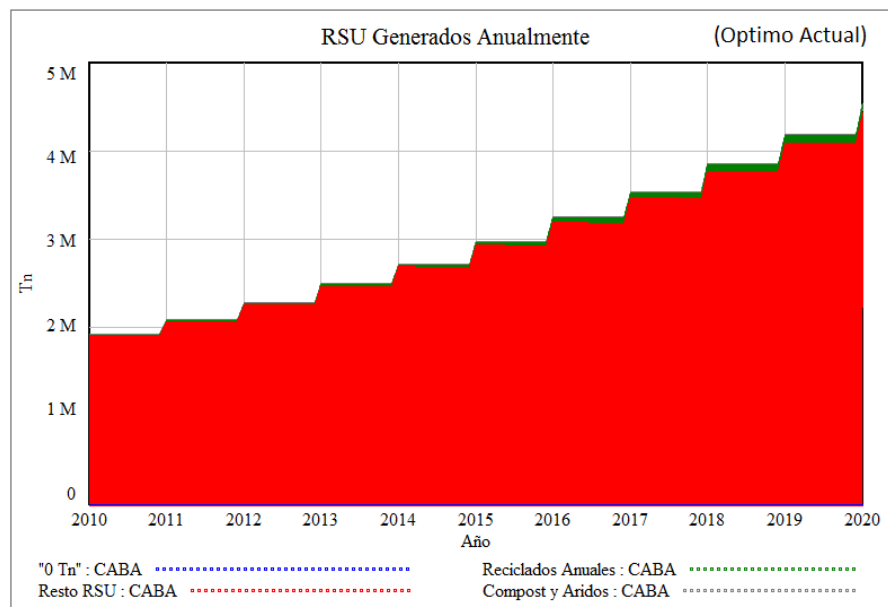


Figura 37: RSU generado según su destino - Políticas actuales.

Lo que nos permite decir que si se hubiera tomado una política agresiva sobre el problema de los residuos reciclables desde el 2010 se hubiera ahorrado más de medio año de relleno sanitario para valores del 2020 (Considerando el mejor escenario la Figura 36) o un año entero a valores del 2010. Si por otro lado se comienza a tomar el mejor escenario desde el 2014 vemos que se podría reciclar el equivalente a un año entero (A valores del 2010).

Como planteamos al principio de este apartado, existen otros métodos que pueden reducir la cantidad de residuos que serán enviados a disposición final. Entre estos se encuentra el tratamiento de los residuos áridos y el compostaje. Los cuales no pueden ser tratados por este sistema de reciclaje y quedan exentos del modelo principal.

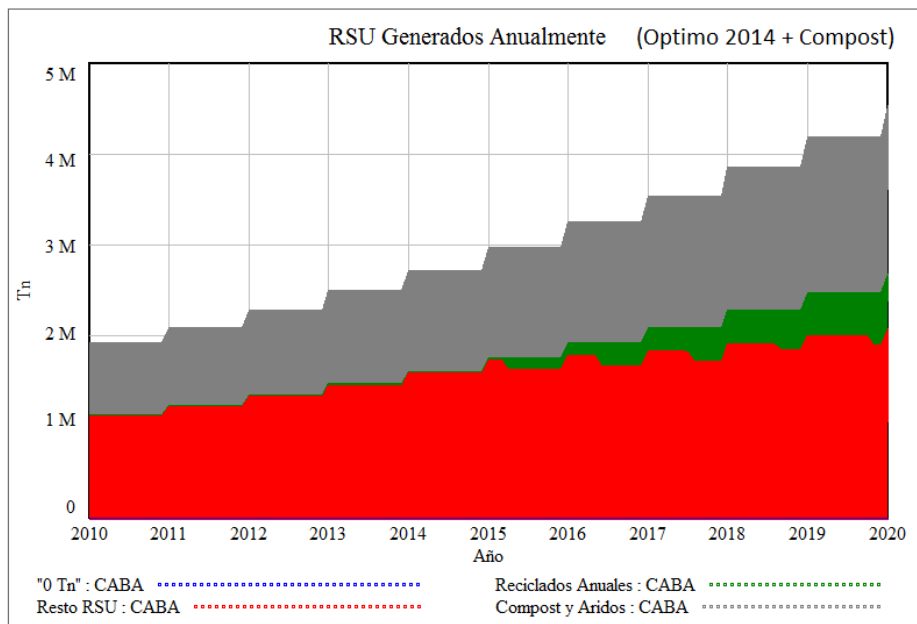


Figura 38: RSU generado según su destino + Compostaje y Áridos

En la figura (Fig. 38) podemos ver que estos residuos representan un gran porcentaje de los RSU, entre ambos suman un 40%. Vemos que de tomar acciones sobre este tipo de residuos, alcanzando para 2020 el procesamiento de la totalidad de estos residuos, se podría reducir la cantidad de RSU dispuestas a valores incluso inferiores a los del 2010.

10. Capítulo VI – Conclusiones

Por un lado, queremos destacar las fortalezas y ventajas de la utilización de la dinámica de sistemas. La misma nos permitió modelar una problemática actual de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, permitiéndonos entender la situación de fondo de esta problemática y sus variables asociadas, entender cuáles son las variables claves del modelo, y cuáles de estas deben ser apalancadas y de qué manera para optimizar el modelo. También nos permite predecir las tendencias del modelo a futuro, analizando el impacto de las variables claves, según las consecuencias que generan estas en el modelo.

Por lo cual podemos decir que es una excelente herramienta para la toma de decisiones.

Por el análisis realizado, notamos que la Ley de Basura Cero no propone metas alcanzables, imposibilitando evaluar si se están tomando acciones correctas para la reducción de los RSU dispuestas. Esto deja a la vista la necesidad de metas cuantificables y objetivas, obtenibles a través de este modelo dinámico.

Podemos concluir que las políticas actuales sobre el aumento de la capacidad del sistema de reciclaje son insuficientes ya que para el año 2020 se estarían enterrando 500.000 toneladas más de las posibles según el mejor escenario.

Se debe limitar la difusión en consonancia con la capacidad ociosa, para evitar que el sistema se vea saturado. Es necesario que sus crecimientos sean armónicos y así evitar tanto invertir en la difusión anticipada como en operaciones logísticas derivadas de la capacidad saturada.

Por otro lado observamos que es importante que exista una acción sobre los residuos áridos y el compostaje, ya que representan una gran cantidad de la basura generada. De lo contrario el aumento anual de la cantidad de basura generada superará ampliamente la reducción por procesos de reciclaje.

A su vez es importante que se tomen acciones sobre la cantidad de RSU generados ya que un gran porcentaje de ellos indefectiblemente deberán ser dispuestos en rellenos sanitarios. Por lo tanto, si el crecimiento sigue este comportamiento, las acciones que se tomen sobre los RSU serán insuficientes para reducir la cantidad de residuos enterrados.

Una solución a la limitación del reciclado es el aumento del porcentaje de los RSU reciclables. Aunque, por lo analizado, no es conveniente tomar medidas hasta que el sistema de reciclaje sea capaz de hacerle frente al problema actual, ya que solo aumentará su objetivo pero no lo ayudara a cumplirlo.

11. Glosario

Áridos: Materiales rocosos naturales que se usan para hacer el hormigón; es decir, la grava y la arena. Provenientes de la construcción.

Biodegradable: Un compuesto que puede ser degradado o convertido en compuestos más sencillos por los microorganismos existentes en la naturaleza, en tiempos normalmente cortos.

CABA: Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

CEAMSE: Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) es una empresa líder en desarrollo ambiental con más de 30 años de experiencia. En la actualidad, procesa 17.000 toneladas de residuos diarios provenientes de la Ciudad de Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense.

Complejos Ambientales: Conjunto de instalaciones en las que se clasifican los residuos según su naturaleza para su posterior valorización, tratamiento o eliminación in situ.

Compost: Mejorador del suelo que se obtiene luego de un proceso de descomposición de los residuos sólidos orgánicos biodegradables en condiciones húmedo aeróbicas (con presencia de oxígeno).

Difusión: Porcentaje de la población de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que realiza separación en origen.

Estaciones de Transferencia: Conjunto de equipos e instalaciones donde se lleva a cabo el transbordo de residuos, de los vehículos recolectores a vehículos de carga en gran tonelaje, para transportarlos hasta los sitios de destino final.

Factores limitantes: es aquel elemento del sistema que ahora mismo limita el crecimiento del sistema. Es único en cada momento, pero a lo largo del tiempo diferentes elementos del sistema pueden actuar como elementos limitativos.

FIUBA: Facultad de Ingeniería de la Universidad Argentina de Buenos Aires.

Líquidos lixiviados: Líquido que se ha filtrado procedente de los residuos dispuestos. Debido a su carga bacteriológica y química los lixiviados deben ser tratados antes de verterlos en medios naturales ya que pueden contaminar las aguas superficiales, subterráneas o el suelo.

Relleno Sanitario: El Relleno Sanitario es el lugar donde se depositan los RSU luego de ser tratados. Su diseño está pensado para evitar la contaminación del subsuelo, por lo que el fondo de la zona elegida se impermeabiliza primero con una barrera de arcilla y luego con una membrana de polietileno de alta densidad. Sobre esa barrera se colocan una capa de suelo y un sistema de captación de líquidos lixiviados, tras lo cual el relleno está en condiciones de entrar en funcionamiento.

Residuos Húmedos: Se denomina residuos húmedos a los desechos de alimentos, yerba, saquitos de té, mate, café, colillas de cigarrillo y envoltorios de papel con restos de alimento, como así también pañales y papel higiénico. En caso de que los residuos secos se encuentren mojados, éstos pasan a ser considerados desechos húmedos. La mayoría de estos son biodegradables y son tratados con los procedimientos de compostaje.

Residuos Secos: Los residuos secos agrupan los artículos en desuso que pueden ser recuperados o reciclados, como papel, cartón, plásticos, vidrio y metales, así como envases de aluminio y tetra brik. En el caso de los envases de cartón, tetra brik o plástico deberán estar limpios y secos. De lo contrario se deben arrojar en el cesto de los residuos húmedos.

Residuos sólidos urbanos / RSU: Los Residuos sólidos urbanos son aquellos que se originan en los núcleos de población como consecuencia de la actividad habitual y diaria del ser humano.

Trabajador informal / Cartoneros: Es la persona que selecciona los materiales reciclables y de reúso de la mezcla de los Residuos sólidos urbanos, ya sea que estén temporáneamente accesibles o hayan sido dispuestos finalmente, para su posterior venta a un acopiador, generalmente también informal. Los recursos así obtenidos son, para muchas de estas personas, su principal fuente de supervivencia.

Variables claves: Variables de máximo apalancamiento que permiten modificar las estructuras del sistema al mínimo costo obteniendo el máximo beneficio.

Validar el modelo: Verificar que el modelo represente el comportamiento real del sistema en todos sus puntos.

12. Bibliografía

ARACIL, Javier y GORDILLO, Francisco. *Dinámica de Sistemas*. 2da ed. Madrid, España: Alianza Editorial S.A., 1997. ISBN 84-206-8168-7.

CELADE, División de Población de la CEPAL. Observatorio Demográfico de América Latina y el Caribe. *Proyección de la Población*. Revista de la CEPAL. [en línea]. 2009, n. 7. [consultado 24 abr. 2014] <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/7/38297/OD7_Proyeccion_Poblacion.pdf>. ISSN: 1990-424X.

DREW, Donald R. *Dinámica Aplicada*, 1ra ed. Madrid, España: Gráficas Marte S.A, 1995. ISBN 84-893-3803-5.

GARCÍA, Juan Martín. *Teoría y Ejercicios Prácticos de Dinámica de Sistemas*, 2da ed. Barcelona, España: Autor-Editor, 2006. ISBN 84-607-9304-4.

GARCÍA, Juan Martín. *Ejercicios Avanzados de Dinámica de Sistemas*, 1ra ed. Barcelona, España: Autor-Editor, 2008. ISBN 84-612-2792-1.

SENGE, Peter M. *La Quinta Disciplina: El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*. 2da ed. Buenos Aires, Argentina: Granica S.A., 2009. ISBN 978-950-641-430-6.

GIORGI, Néstor Fernando Ing. y ROSSO, Marcelo Ing. *Estudio de calidad de los residuos sólidos urbanos del Área Metropolitana de Buenos Aires* [en línea]. 2011, Tercer informe de avance. [consultado 20 abr. 2014] <<http://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2012/06/Tercer-Informe-ECRSU-AMBA.pdf>>.

AMDAN, María Laura, FREDES, Mariano, MAZZEO, Nadia, PIERINI, Verónica, SENMARTIN, María, UIJT DEN BOGAARD, Josefina, VENTURA, Laura y VOGRIG, Jimena.

Los residuos sólidos urbanos. Doscientos años de historia porteña [en línea]. 2010, vol. 20, n. 116. [consulta 20 abr. 2014] <<http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy116/Residuosurbanos.pdf>>. ISSN: 1666-5171.

CEAMSE. Estadísticas [en línea]. © 2014. [consulta 20 abr. 2014]. <<http://www.ceamse.gov.ar/>>.

CEAMSE. Biblioteca. [en línea]. © 2014. [consulta 20 abr. 2014]. <<http://www.bibliotecaceamse.com.ar/>>.

Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Secretaria de Medio Ambiente. [en línea]. 2014. [consulta 10 abr. 2014]. <http://www.buenosaires.gob.ar/areas/med_ambiente/>.

The World Bank. Data [en línea]. 2014. [consulta 1 may. 2014]. <<http://data.worldbank.org/>> .

Anexo A: Datos usados para estimaciones numéricas

Indicador / Año	2002	2003	2004	2005	2006
PIB (US\$ a precios constantes de 2005)	1,414E+11	1,53896E+11	1,67792E+11	1,83193E+11	1,98703E+11
Crecimiento del PIB (% anual)	-10,8944848	8,837040783	9,029573322	9,178950217	8,466062712
PIB, PPA (\$ a precios internacionales constantes de 2005)	37627545	37970411	38308779	38647854	38988923
PIB per cápita (US\$ a precios constantes de 2005)	3.757,89 USD	4.053,04 USD	4.379,99 USD	4.740,07 USD	5.096,39 USD
Basura en Tn	1443046,60 Tn	1421842,10 Tn	1492867,10 Tn	1477147,40 Tn	1536452,80 Tn

Indicador / Año	2007	2008	2009	2010	2011
PIB (US\$ a precios constantes de 2005)	2,15897E+11	2,30488E+11	2,32448E+11	2,53742E+11	2,76248E+11
Crecimiento del PIB (% anual)	8,653336846	6,75843942	0,850241476	9,160916925	8,869553907
PIB, PPA (\$ a precios internacionales constantes de 2005)	39536000	39939000	40341000	40738000	41131000
PIB per cápita (US\$ a precios constantes de 2005)	5.460,77 USD	5.771,01 USD	5.762,08 USD	6.228,64 USD	6.716,30 USD
Basura en Tn	1645368,00 Tn	1884460,20 Tn	1847748,40 Tn	2110122,20 Tn	2276813,20 Tn

Indicador / Año	2012	2013	2014	2015	2016
PIB (US\$ a precios constantes de 2005)	2,81496E+11	2,95571E+11	3,03847E+11	3,11443E+11	3,19229E+11
Crecimiento del PIB (% anual)	1,899578109	5	2,8	2,5	2,5
PIB, PPA (\$ a precios internacionales constantes de 2005)	41523000	41913000	42298000	42676000	43049000
PIB per cápita (US\$ a precios constantes de 2005)	6.779,27 USD	7.052,00 USD	7.183,47 USD	7.297,84 USD	7.415,48 USD
Basura en Tn	2375078,40 Tn				

Script de estimaciones de los RSU generados hechas en MATLAB

```
ano = [1996:2020];
basura = [1590754.6 1671849.4 1817550.2 1977252.8 1953375.1 1835934.3
1443046.6 1421842.1 1492867.1 1477147.4 1536452.8 1645368 1884460.2
1847748.4 2110122.2 2276813.2 2375878.4];

x = ano(7:17);
y = basura(7:end);

subplot(2,2,1);
p = polyfit(x,y,1);
ft = inline(vectorize(p(1)*t+p(2)));
plot(x,y,'.b');
legend('Co. Puntos','Curva Aprox','Location','NorthWest');
title('Conjunto de puntos')

val = polyfit(x,y,2);
syms('t');
ft = val(1)*t^2+val(2)*t+val(3);
val
ftt = inline(vectorize(ft));
st = sum((y-mean(y)).^2);
sr = sum((y-ftt(x)).^2);
RPolinomial = (st-sr)/st
subplot(2,2,2);
plot(x,y,'.b',x,ftt(x),'-r');
legend('Co. Puntos','Curva Aprox','Location','NorthWest');
title(strcat('Regreción Polinomial r^2=', num2str(RPolinomial)))

val = polyfit(x,y,1);
syms('t');
ft = val(1)*t+val(2);
ftt = inline(vectorize(ft));
st = sum((y-mean(y)).^2);
sr = sum((y-ftt(x)).^2);
RLineal = (st-sr)/st
subplot(2,2,3);
plot(x,y,'.b',x,ftt(x),'-r');
legend('Co. Puntos','Curva Aprox','Location','NorthWest');
title(strcat('Regreción Lineal r^2=', num2str(RLineal)));

x1 = log(x);
y1 = log(y);

val = polyfit(x1,y1,1);
syms('t');
ft = val(1)*t+val(2);
```

```

ftt = inline(vectorize(ft));
st = sum((y1-mean(y1)).^2);
sr = sum((y1-ftt(x1)).^2);
RPotencia = (st-sr)/st
subplot(2,2,4);
plot(x1,y1, '.b',x1,ftt(x1), '-r');
legend('Co. Puntos', 'Curva Aprox', 'Location', 'NorthWest');
title(strcat('Regrección Potencia r^2=', num2str(RPotencia)));

x1 = x;
y1 = log(y);

val = polyfit(x1,y1,1);
syms('t');
ft = val(1)*t+val(2);
ftt = inline(vectorize(ft));
st = sum((y1-mean(y1)).^2);
sr = sum((y1-ftt(x1)).^2);
RExponencialE = (st-sr)/st
subplot(2,2,1);
plot(x1,y1, '.b',x1,ftt(x1), '-r');
legend('Co. Puntos', 'Curva Aprox', 'Location', 'NorthWest');
title(strcat('Regrección Exp. e r^2=', num2str(RExponencialE)));

x1 = x;
y1 = log10(y);

val = polyfit(x1,y1,1);
syms('t');
ft = val(1)*t+val(2);
ftt = inline(vectorize(ft));
st = sum((y1-mean(y1)).^2);
sr = sum((y1-ftt(x1)).^2);
RExponencial10 = (st-sr)/st
subplot(2,2,2);
plot(x1,y1, '.b',x1,ftt(x1), '-r');
legend('Co. Puntos', 'Curva Aprox', 'Location', 'NorthWest');
title(strcat('Regrección Exp. 10 r^2=', num2str(RExponencial10)));

x1 = log(x);
y1 = y;

val = polyfit(x1,y1,1);
syms('t');
ft = val(1)*t+val(2);
ftt = inline(vectorize(ft));
st = sum((y1-mean(y1)).^2);
sr = sum((y1-ftt(x1)).^2);
RLogE = (st-sr)/st
subplot(2,2,3);

```

```

plot(x1,y1,'.b',x1,ftt(x1),'-r');
legend('Co. Puntos','Curva Aprox','Location','NorthWest');
title(strcat('Regrección Ln r^2=',num2str(RLogE)));

x1 = x;
y1 = 1./y;

val = polyfit(x1,y1,1);
syms('t');
ft = val(1)*t+val(2);
ftt = inline(vectorize(ft));
st = sum((y1-mean(y1)).^2);
sr = sum((y1-ftt(x1)).^2);
RInv = (st-sr)/st
subplot(2,2,4);
plot(x1,y1,'.b',x1,ftt(x1),'-r');
legend('Co. Puntos','Curva Aprox','Location','NorthEast');
title(strcat('Regrección Inversa r^2=',num2str(RInv)));

```

Script de estimación del PBI hecha en MATLAB

```

clear
clc
syms('t');
ano = [1996:2016];
PCap = [4374.369903    4672.6365    4796.292785 4582.492013 4498.473172
4257.422726 3757.889723 4053.044221 4379.985196 4740.067029 5096.388227
5460.772488 5771.010188 5762.080356 6228.643024 6716.303609 6779.274996
7052.003613 7183.474514 7297.843522 7415.476303];
x = ano(7:17) ;
y = PCap(7:17);
m = zeros(3,4);
m(1,1) = length(x);
m(1,2) = sum(x);
m(1,3) = sum(x.^2);
m(1,4) = sum(y);
m(2,1) = sum(x);
m(2,2) = sum(x.^2);
m(2,3) = sum(x.^3);
m(2,4) = sum(x.*y);
m(3,1) = sum(x.^2);
m(3,2) = sum(x.^3);
m(3,3) = sum(x.^4);
m(3,4) = sum((x.^2).*y);
A = m(1:3,1:3);
B = m(1:3,4);
s = A\B; %//esto es lo mismo que hacer s = polyfit(ano(7:17),PCap(7:17),2)'
ft = s(3)*t^2+s(2)*t+s(1);

```

```

ffPC = inline(vectorize(ft));
subplot(1,1,1);
plot(ano,ffPC(ano),ano(18:end),PCap(18:end), 'og',ano(7:17),PCap(7:17), 'or',ano
(1:6),PCap(1:6), 'om')
x = ano(7:end) ;
y = PCap(7:end);
st = sum((y-mean(y)).^2);
sr = sum((y-ffPC(x)).^2);
RPolinomial = (st-sr)/st
legend('Curva Aprox', 'PBI/Cap Estimado BM', 'PBI/Cap 2002 -
2012', 'Location', 'NorthWest');
title(strcat('PBI 1996 - 2016 BM r^2=', num2str(RPolinomial)))

```

Anexo B: Formulas

(01) A reciclar = Reciclables Posibles

Units: Tn/Month

(02) Año = Time/12+2010

Units: Year

(03) aux = Variación Centros Verdes

Units: Tn

(04) Capacidad de Centros Verdes =

INTEG(Mejora de Centros,Capacidad Inicial)

Units: Tn

(05) Capacidad de Separación =

Capacidad de Centros Verdes*0.95

Units: Tn

(06) Capacidad Inicial = 2000

Units: Tn [0,5000,250]

(07) Capacidad Media de Aumento = 1200

Units: Tn [250,15000,250]

(08) Coeficiente de Saturación del Sistema =

Residuos a reciclar en CV/Capacidad de Separacion

Units: 1

(09) Compost y Aridos =

IF THEN ELSE(Procesos Paralelos=1,RSU Generada Anualmente*(Porcentaje Factible
Compost
+Porcentaje Posible Aridos), 0)

Units: Tn

(10) Descarga Anual =

IF THEN ELSE(MODULO(Time, 12)=0, (Material a Disposición Final Anual) ,0)

Units: Tn/Month

(11) Descarga Anual Reciclables =

IF THEN ELSE(MODULO(Time, 12)=0, (Reciclado) ,0)

Units: Tn/Month

(12) Difusión Inicial = 0.03

Units: 1 [0,1,0.01]

(13) Difusión= INTEG(IF THEN ELSE((Difusión+Incremento difusión)>1, (1-
Difusión)/TIME STEP , (Incremento difusión)),(Difusión Inicial))

Units: 1

(14) FINAL TIME = 120

Units: Month

The final time for the simulation.

(15) Incremento difusión =

IF THEN ELSE(Time>Inicio de Aplicación Ley RSU 0,

IF THEN ELSE(Selector de opciones=1,

IF THEN ELSE(Difusión<1, (Pendiente de Difusión), -(Difusión-1)),
 IF THEN ELSE(Selector de opciones=2, IF THEN ELSE(Difusión<1,
 IF THEN ELSE
 (MODULO(Time/12,1) = 0, (Tabla de Difusión Anual
 (INTEGER(Time/12))/100) , 0) , -(Difusión-1))),
 IF THEN ELSE(Difusión<1,IF THEN ELSE(Coeficiente de Saturación del Sistema<0.8,
 (Pendiente de Difusión) , 0) , -(Difusión-1))))), 0)
 Units: 1/Month

(16) Inicio de Aplicación Ley RSU 0 = 48
 Units: Month [0,120,12]

(17) INITIAL TIME = 0
 Units: Month
 The initial time for the simulation.

(18) Ley vs Tn Dispuestas = Ley de Basura Cero(Time)
 Units: Tn

(19) Material a Disposición Final Anual =
 INTEG(RSU no reciclado-Descarga Anual,0)
 Units: Tn

(20) Material Dispuesto Acumulado = INTEG(Descarga Anual,0)
 Units: Tn

(21) Materiales no recuperados por capacidad saturada =
 Residuos a reciclar en CV - Reciclables Posibles
 Units: Tn

(22) Mejora de Centros =

DELAY FIXED((Capacidad Media de Aumento*Necesidad de nuevo Centro), Tiempo de construcción, 0)

Units: Tn/Month

(23) Meta Anual por Ley =

IF THEN ELSE(Ver Ley=1,Ley vs Tn Dispuestas,0)

Units: Tn

(24) Necesidad de nuevo Centro =

IF THEN ELSE(Time>Inicio de Aplicación Ley RSU 0,

IF THEN ELSE(Relación Capacidad Separación en Origen>Punto nueva necesidad de Centro Verde, 1, 0), 0)

Units: 1

(25) Pendiente de Difución = 0.01

Units: 1 [0,1,0.01]

(26) Porcentaje Factible Compost = 0.39

Units: 1 [0,1]

(27) Porcentaje Posible Aridos = 0.018

Units: 1 [0,1]

(28) Potencial Reciclable = 0.14

Units: 1

(29) Procesos Paralelos = 0

Units: 1 [0,1,1]

(30) Punto nueva necesidad de Centro Verde = 0.8

Units: 1 [0,1,0.01]

(31) Reciclables Posibles =

IF THEN ELSE(Capacidad de Separacion >=Residuos a reciclar en CV, Residuos a
reciclar en CV
, Capacidad de Separacion)

Units: Tn

(32) Reciclado= INTEG(A reciclar-Descarga Anual Reciclables,0)

Units: Tn

(33) Reciclado Acumulado= INTEG(Descarga Anual Reciclables, 0)

Units: Tn

(34) Reciclados Anuales = Reciclables Posibles*12

Units: Tn

(35) Relación Capacidad Separación en Origen =

IF THEN ELSE(Time=(Inicio de Aplicación Ley RSU 0+1), Residuos a reciclar en CV
/Capacidad de Separacion,

IF THEN ELSE(Variación>0, Residuos a reciclar en CV/Capacidad de Separacion, 0))

Units: 1

(36) Residuos a reciclar en CV = RSU Generado Mensualmente*Difusión*Potencial
Reciclable

Units: Tn

(37) Residuos Humedos = RSU Generado Mensualmente*(1-Difusión*Potencial Reciclable)

Units: Tn

(38) Resto RSU = RSU no reciclado*12*TIME STEP

Units: Tn

(39) RSU Dispuestos Anualmente =

IF THEN ELSE ((2010+INTEGER(Time/12))=Año:AND:Año<>2010, Material a Disposición Final Anual,

IF THEN ELSE(Año=2010,RSU Generada Anualmente,:NA:))

Units: Tn

(40) RSU Generada Anualmente = a*(2010+INTEGER(Time/12))^2-
b*(2010+INTEGER(Time/12))+4.05577e+10

Units: Tn

(41) a = (10118.3)

Units: Tn/(Month*Month)

(42) b = (4.05148e+07)

Units: Tn/(Month)

(43) RSU Generado Mensualmente = RSU Generada Anualmente/12

Units: Tn

(44) RSU no reciclado = (Residuos Humedos

+ Materiales no recuperados por capacidad saturada

- RSU Procesados en Procesos Paralelos)

Units: Tn/Month

(45) RSU Potencial Reciclable =

Potencial Reciclable*RSU Generada Anualmente

Units: Tn

(46) RSU Procesados en Procesos Paralelos=

IF THEN ELSE(Procesos Paralelos=1, RSU Generado Mensualmente*(Porcentaje
Posible Aridos

+Porcentaje Factible Compost) , 0)

Units: Tn

(47) Selector de opciones = 1

Units: 1 [1,3,1]

1 = Pendiente de Difusión

2 = Auxiliar Difusión

3 = Auxiliar de Aumento

(48) Tiempo de construcción = 12

Units: Month

(49) Variación =

IF THEN ELSE(Coeficiente de Saturación del Sistema>Punto nueva necesidad de Centro
Verde

,(Capacidad de Centros Verdes-aux) , 0)

Units: Tn/Month

(50) Variación Centros Verdes = INTEG(Variación, 0)

Units: Tn

(51) Ver Ley = 0

Units: 1 [0,1,1]