

Gestión de residuos asistida por computadora

Adriel Alejandro Aliaga Benavides



Profesor de la Facultad de Ciencias Informáticas en la Universidad de Granma. Ingeniero en Ciencias Informáticas, Máster en Informática para la Gestión del Medio Ambiente. Bayamo [Granma], Cuba.
<aaliagab@udg.co.cu>.

Yudisel Santana Pacheco



Vicedecana de la Facultad de Ciencias Informáticas en la Universidad de Granma. Ingeniera en Ciencias Informáticas, Máster en Informática para la Gestión del Medio Ambiente. Manzanillo [Granma], Cuba.
<ysantanap@udg.co.cu>.

Resumen

La investigación realizada, propone un Sistema de Gestión de Residuos (SGR) basado en indicadores y soportado en el *software* "Ambiens". El principal problema que resuelve Ambiens, se enmarca en la ineficiente gestión de los procesos de gestión de residuos de una entidad o un grupo de entidades relacionadas en las variables tiempo y costo. Para ello la solución se centró en el desarrollo de este *software*, integrando el flujo de información de un SGR propuesto y todas sus etapas. Con el fin de validar la investigación, se tuvieron como casos de estudio el Grupo Empresarial del Ministerio de la Construcción (GEMICONS) en la provincia de Granma en Cuba y otras empresas que este asesora y controla, lo que permitió evidenciar entre los principales resultados de la investigación, una disminución notable del costo y tiempo de ejecución de los procesos de gestión de residuos, se establece la propuesta de un SGR basado en indicadores capaz de sincronizar el trabajo de varios roles involucrados en este. Se utilizó de la suite TIBCO la herramienta para modelado y simulación de procesos, la cual arrojó resultados de simulación que apoyan la solución propuesta. El resultado del *software* actualmente está listo para ser desplegado en cualquier SGR y por sus características es adaptable a todo tipo de residuos generado, lo que permite su uso en cualquier industria o empresa, esto es posible debido a que este integra el ingreso de información basado en todos los residuos identificados por la Lista Europea de Residuos.

Palabras clave

medio ambiente, gestión, residuos, software.

Waste management computer assisted

Abstract

The research proposes a Waste Management System (WMS) based on indicators and supported in software "Ambiens". The main problem it solves is part of the inefficient management of waste management processes of an entity or group of entities related in time and cost variables. This solution focused on the development of this software, integrating the information flow of a proposed WMS and all stages. In order to validate the research, taken as a case study the Business Group of the Ministry of Construction in the province of Granma in Cuba and other companies that advises and controls, allowing evidence that the main results of research, a remarkable decrease in the cost and time of implementation of waste management processes, a proposed based in indicator WMS able to synchronize the work of several roles involved in this set. We used the TIBCO tool suite for modeling and simulation of processes, which yielded simulation results that support the proposed solution. The result of the software is now ready to be deployed at any WMS and its features are adaptable to all types of waste generated, allowing use in any industry or company, this is possible because it integrates data entry based all residues identified by the European waste List.

Keywords

environmental management, waste, software.

1. Introducción

Los residuos, se corresponde con aquella sustancia u objeto generado por una actividad productiva o de consumo, de la que hay que desprenderse por no ser objeto de interés directo de la actividad principal (CASTELLS, 2009), otra definición considerada desde un punto de vista jurídico puede ser "cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse" (PASTOR & RODRÍGUEZ PÉREZ, 2008). Los procesos productivos generan en ocasiones una gran cantidad de residuos, muchos de los cuales son recuperables. La Gestión de Residuos (GR) en la industria, debe ser el conjunto de actividades desarrolladas con el fin de garantizar la administración de residuos, dirigidas principalmente a recolectar, procesar, tratar, reciclar, transportar y reutilizar estos. La GR debe ir orientada a garantizar una máxima reducción de los residuos que no son aprovechados, teniendo como ventajas el aumento de la productividad con menor costo de materia prima, que se traduce en aumento de ganancias con menos recursos, por lo que se garantiza el desarrollo sostenible, competitividad y prestigio, dado que el impacto ambiental negativo es reducido en gran medida (ALIAGA, 2014).

El aumento del costo de producción en la industria por pérdida de materia prima no utilizada, ha conllevado a la preocupación de expertos por el estudio de la generación de residuos en los procesos productivos. Dicha preocupación es sustentada por la ley de la conservación de la masa establecida por Lavoisier, "la masa total de las sustancias que reaccionan es igual a la de los productos que se forman" a la cual en un proceso productivo (PP), se le atribuye lo que se conoce como balance de masa, este se enfoca en que la masa de la materia entrante es igual a la masa de la materia saliente. La materia que sale estará compuesta por lo que se desea producir (producto final) y lo que no se desea producir (residuos) esto confirma que en la medida de que se minimice la generación de residuos, mayor será la producción de lo que se desea.

En Cuba, los procesos industriales generan residuos en los cuales la relación de su volumen de generación depende mucho del sector en el que están inmersos dichos procesos. Uno de los sectores que más se destaca en la generación de residuos, por la actividad económica que integra, es el sector industrial. La producción en Cuba se ve afectada por la generación de residuos, a pesar de que no es precisamente este, un país altamente productivo (comparado con países del primer mundo o en desarrollo). Este es uno de los motivos por el cual, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) ha establecido leyes que velen por el cumplimiento de la protección ambiental. Para ello las entidades productivas implementan los conocidos Sistemas de Gestión de Residuos (SGR), estos se identifican como un régimen definido por etapas. Estas etapas suelen ser en su orden la identificación, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final (GASPAR, 2004):

- **Identificación:** En esta se identifican las posibles fuentes generadoras con la caracterización de los residuos que generan teniendo en cuenta cantidad y composición. Permite detectar las posibles mejoras en el proceso e identificar posible reutilización directa.
- **Almacenamiento:** Para el almacenamiento se deben tener en cuenta las características del residuo, sus propiedades físicas y químicas, peligrosidad, tasa de generación y tiempo máximo para su almacenaje y del recipiente su calidad y disponibilidad de espacio.
- **Recolección y Transporte:** Se debe garantizar la seguridad en la recolección de los residuos para prevenir posibles accidentes en el transporte de estos hasta su despacho. Se debe tener previsto de la recolección el tipo de residuo, volumen y frecuencia, y sobre el transporte las normativas y leyes asociadas a su transporte, distancia entre fuente y destino, además de la maquinaria disponible.
- **Tratamiento:** Es el mecanismo que se emplea para reducir la cantidad o volumen y la peligrosidad de un residuo. Es para aquellos residuos que no pudieron ser reutilizados, recuperados o reciclados. En muchas ocasiones de este tratamiento se generan componentes o materias que son útiles en algún otro proceso y que por lo general ofrecen valor económico, tal es el caso de residuos orgánicos que al ser

- tratado se obtiene biogás, compost, etc.
- Disposición final: Es para aquellos residuos que no ofrecen ningún valor económico, generalmente esta disposición viene dada en rellenos sanitarios. El relleno es un sistema de acumulación, que aplica principios de ingeniería para confinar y compactar los residuos, con el propósito de que sus propiedades nocivas no puedan afectar en ningún caso el tiempo, el ambiente o a la salud humana.

La situación está, en que muchas de las entidades productivas cubanas comprenden en su actividad económica la implementación de un SGR, pero aún así, no se satisfacen en tiempo las necesidades de obtener información de este por parte de los especialistas del medio ambiente, con el objetivo de poder tomar una decisión acorde con el flujo de información que se genera por cada actividad de sus etapas. Además, en muchas ocasiones se cuentan con indicadores que permiten visualizar de forma cuantitativa y cualitativa, la información deseada por los especialistas, pero el tiempo de respuesta para obtener dicha información según los indicadores establecidos es muy lento, lo cual ralentiza el flujo de trabajo del SGR aplicado. Otra variante en la que se muestra un flujo de trabajo lento, es en el caso de los Sistemas de Gestión de Residuos controlados desde un Grupo Empresarial (GE). En los GE se controla el funcionamiento de cada SGR implementado en el resto de las empresas adjuntas a su organismo. Esto provoca que si el flujo de información de cada SGR implementado es ralentizado, también el control desde el GE mediante la información obtenida, es ralentizado, lo trae consigo un aumento en el costo de producción, insatisfacción de la población y clientes, etc. Para lograr un mayor entendimiento de lo explicado anteriormente, se tiene el árbol de problemas mostrado en la Figura 1.

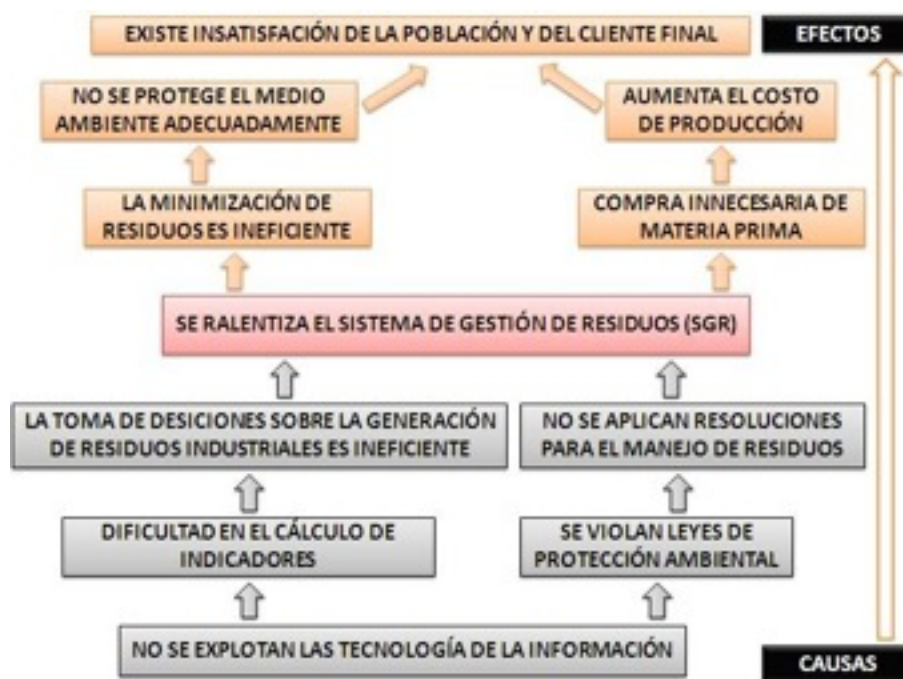


Figura 1. Árbol de causas y efectos (creación propia del autor).

2. Materiales y Métodos

Es por ello que el problema de la investigación científica radicó en la falta de un Sistema de Gestión de Residuos, que agilice la toma de decisiones, basado en el flujo de información obtenida. Para ello se realizó un estudio de la gestión de residuos en el proceso productivo de las industrias cubanas, con el fin de encontrar o desarrollar un Sistema de Gestión de Residuos basado en Indicadores y soportado en Tecnologías de Información (SGRITI), que dinamice el tiempo de respuesta con que se obtiene la información.

2.1. Legislación ambiental para la gestión de residuos

En Cuba el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) preocupado por el manejo integral de residuos peligrosos, establece la resolución 136/09 que busca establecer las disposiciones que contribuyen a asegurar el manejo integral de los desechos peligrosos en el país, mediante la prevención de su generación en las fuentes de origen y el manejo seguro de los mismos a lo largo de su ciclo de vida, con el fin de minimizar los riesgos a la salud humana y al medio ambiente. También se establecen las normas relativas a los movimientos transfronterizos de estos desechos (CUBA, 2009). En la provincia de Granma, el CITMA realiza cada año un taller en el que se discute la implementación de dicha resolución por cada especialista de Medio Ambiente de las empresas de la provincia, esto evidencia la importancia que se tiene con respecto a la gestión de residuos en dicho caso los que categorizan por peligrosos.

La resolución 126/07 del CITMA establece en sus anexos, en el aspecto 6 del medio ambiente, que la información que debe ser brindada para Estudios de Factibilidad de un Proceso Inversionista debe recoger para los residuos sólidos generados su caracterización y tipo, además del requerimiento para su tratamiento y disposición. En el aspecto 5 dice que también se deben identificar las principales emisiones líquidas y gaseosas durante la instalación y funcionamiento de la tecnología, caracterización de sus componentes principales, puntos de descarga y requerimientos para su tratamiento (CUBA, 2007). Es importante observar que la aplicación de un SGR debe tener en cuenta la legislación ambiental vigente, lo cual implica un crecimiento en la documentación del proceso de gestión de residuos y esto a su vez requiere de un mayor esfuerzo para el procesamiento de la información.

2.2. Logística Inversa una alternativa en la gestión de residuos

Una variante muy ingeniosa utilizada por algunas industrias para minimizar la generación de estos residuos, además de los beneficios que aporta en el aspecto económico, es la implementación de la denominada logística inversa. Esta, también conocida por su desempeño ambiental como logística verde, se encarga de velar en la producción y productos consumidos el coste del flujo de materiales de forma eficiente con el objetivo de recuperar y reutilizar en aras de disminuir los costos en el proceso productivo. Se encarga de la recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos peligrosos, así como de los procesos de retorno de excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventarios estacionales (LEZAMA; TÉLLEZ; LOZADA; GUTIÉRREZ & LÓPEZ, 2013).

Como en otros ámbitos de la ingeniería de organización, existen modelos matemáticos que intentan facilitar la toma de decisiones respecto a este tema, siendo en general modelos estocásticos y deterministas (ORTEGA MIER, 2008), pero a pesar de la existencia del conocido modelo matemático referido a la cantidad de pedido óptimo (EOQ por sus siglas en inglés), realmente en el campo de los inventarios reparables tras el modelo definido por Schrady, muchos son los trabajos que desde la década de los 60 se han desarrollado (GATO; CARBONERAS; BABILONI & TARRADELLAS, 2010). Dichos trabajos definen variedades de modelos deterministas o estocásticos que en esencia se diferencian por la cercanía que presenta la determinación de sus variables, es decir, si realmente el comportamiento de las variables que intervienen es posible determinarlo mediante alguna función que la defina respecto al tiempo, o si estas presentan valores de forma aleatoria.

2.3. Tecnologías de la Información

Las tecnologías de la información (TI) se corresponden con el conjunto de herramientas generalmente de la rama de las ciencias informáticas que permiten visualizar, procesar u obtener información sobre algo. Integrar las TI en un SGR basado en indicadores completaría el soporte requerido por el sistema pues dentro de las principales ventajas que se tienen se encuentra la información dinámica. Esta característica posibilita obtener reportes en tiempo real, para todo el flujo de trabajo que se tiene en el SGR a partir de los indicadores. Además, mediante las TI, los indicadores para la toma de decisiones obtenidos a partir de un modelo, ofrecen mayor control para obtener información dinámica, partiendo de la facilidad que brinda el uso de *software* para su cálculo. Es

por tal motivo que existen diversos ejemplos que evidencian la utilización de tecnologías de la información. Estos son algunos de ellos:

- EcoElvex: Es un *software* de gestión de residuos especializado en el tratamiento de residuos, diseñado para cumplir las normas de gestión ambiental ISO 14000 y la normativa legal vigente en materia de gestión de residuos peligrosos, así como en relación al transporte de dichos residuos (ADR). Es una herramienta ideal para gestores de residuos intermedios y finales. Integra las funcionalidades habituales de la gestión empresarial a gran escala con las específicas del tratamiento de residuos. Posee una estructura flexible y modular, está desarrollado con ASP.NET 2.0 y gestor de bases de datos SQL Server. EcoElvex se realizó para englobar todos los datos pertinentes de los clientes que posee una empresa (ELVEX, 2009).
- TCQ2000: Con el *software* para la construcción TCQ2000 se puede generar la documentación del estudio de gestión de residuos de construcción y demoliciones (según RD 105/2008) y analizar los diversos impactos ambientales que provocan los materiales de construcción y su puesta en obra. Presenta algunas operaciones en cuanto al cumplimiento con el Real Decreto 105/2008, para el establecimiento de un estudio de gestión de residuos.

Existen muchos más, el detalle está en que se requiere de un *software* que sirva como soporte a un SGR basado en indicadores (los indicadores posibilitan exactitud en la información obtenida de las formas cuantitativas y cualitativas), que soporte las etapas identificadas anteriormente para este tipo de sistema y que teniendo en cuenta las nuevas tendencias con el uso de *software* en Cuba, debe ser desarrollado con tecnologías libres. Luego de un análisis extenso de varios *software* con propósitos similares no fue posible encontrar uno que cumpliera con los requerimientos, por lo que se decide diseñar e implementar el *software* Ambiens con el fin de dinamizar el proceso de gestión de la información y toma de decisiones (Figura 2).

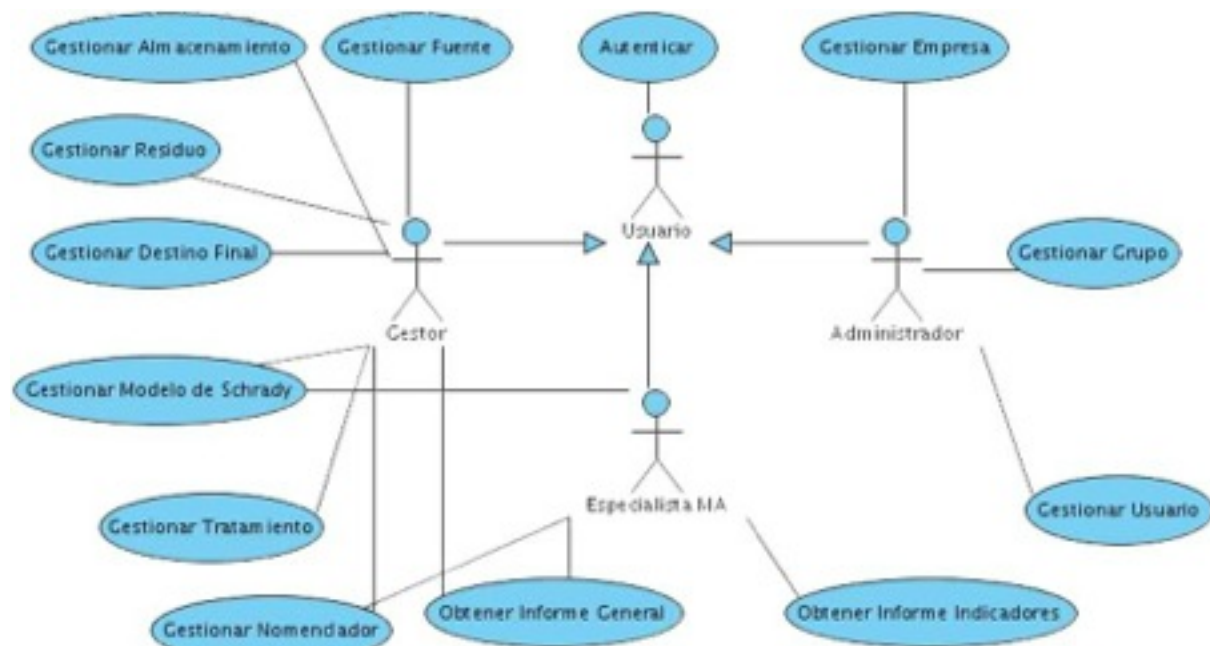


Figura 2. Diagrama de casos de uso (creación propia del autor)

Actores: Usuario (autenticado, no autenticado), autenticado (administrador, gestor de residuos, especialista de medio ambiente).

CU del administrador:

- Gestionar Empresa: crear, modificar y eliminar una empresa en el *software*.
- Autenticar: identificar el usuario mediante el nombre de usuario y contraseña.

- Gestionar Usuario: crear, modificar y eliminar un usuario en el *software*. Inicialmente una vez instalado el sistema como prerrequisito se crea en el proceso de instalación un usuario correspondiente al administrador del sistema.
- Gestionar Grupo: crear, modificar y eliminar un grupo en el *software*. Inicialmente una vez instalado el sistema como prerrequisito se crea en el proceso de instalación un usuario correspondiente al grupo súper administrador del sistema que posteriormente podrá crear grupos y sus correspondientes permisos del sistema.

CU del gestor de residuos:

- Gestionar residuo: crear, modificar y eliminar los residuos identificados en el SGR.
- Gestionar almacenamiento: crear, modificar y eliminar los recipientes de almacenamiento de residuos disponibles en el SGR.
- Gestionar fuente generadora: crear, modificar y eliminar las fuentes generadoras de residuos identificadas en el SGR.
- Gestionar transporte: crear, modificar y eliminar los vehículos de transporte de residuos disponibles en el SGR.
- Gestionar tratamiento: crear, modificar y eliminar los tratamientos de residuos que se ofrecen en el SGR.
- Gestionar destino final: crear, modificar y eliminar los destinos o disposiciones finales identificados para los residuos en el SGR.
- Gestionar nomenclador: crear, modificar y eliminar los nomencladores a utilizar en la aplicación o SGR.
- Gestionar Modelo de Logística Inversa: crear, modificar y eliminar modelos de logística inversa basados en el modelo (1, R) de Schrady.
- Autenticar: identificar el usuario mediante el nombre de usuario y contraseña.

CU del especialista de medio ambiente:

- Obtener informe general: generar el informe de toda la información registrada por el gestor de residuos.
- Obtener informe de indicadores: generar el informe de información obtenida a partir del cálculo por indicadores previamente definidos.
- Autenticar: identificar el usuario mediante el nombre de usuario y contraseña.
- Gestionar Modelo de Logística Inversa: crear, modificar y eliminar modelos de logística inversa basados en el modelo (1, R) de Schrady.

En esencia se logró desarrollar un *software* con las funcionalidades mencionadas, regido por una interfaz amigable (Figura 3):

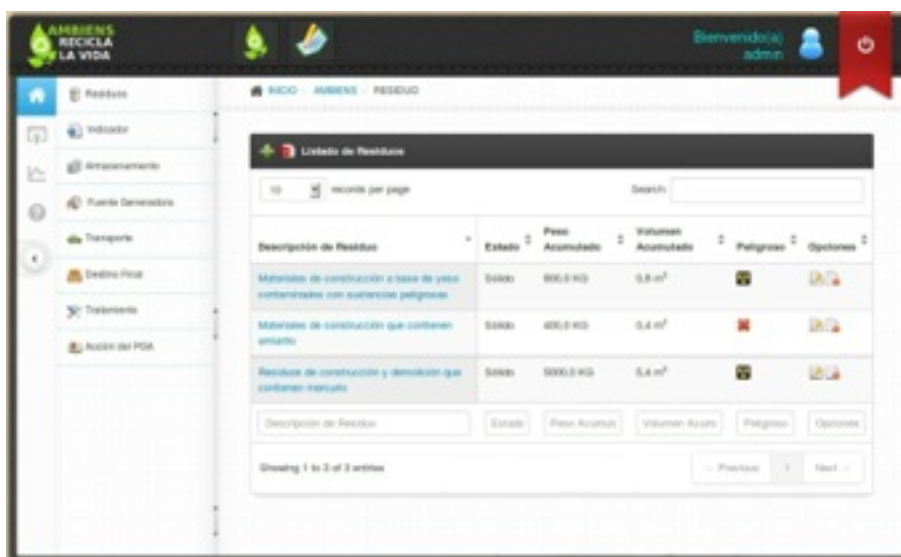


Figura 3. Interfaz de Ambiens.

Con el fin de validar la investigación y comprobar la factibilidad del uso del *software* desarrollado, se tomaron como caso de estudio algunas empresas de la provincia Granma dedicadas a la industria de la construcción, estas son:

- Grupo Empresarial del Ministerio de la Construcción (GEMICONS).
- Empresa de Servicios de Ingeniería y Diseño (ESID).
- Empresa Constructora de Obras de Arquitectura e Industriales (ECOAI).

Se han simulados 4 procesos esenciales en el *software* para modelado de procesos TIBCO, el cual pertenece a la suite integral de procesos de negocios TIBCO. Este posibilita definir los actores que intervienen en el proceso, así como las actividades, campos y variables de entrada y salida. La estrategia de selección de los procesos fue orientada a dividir el flujo de trabajo del SGR propuesto soportado por Ambiens en dos partes teniendo en cuenta las posibilidades de comparar con un SGR que no se soporte en tecnologías de la información. La primera parte comprende el flujo de trabajo entre las etapas de generación de residuos y disposición finales por ser las etapas que la mayoría de los SGR contienen y la segunda parte comprende el proceso de generación del informe basado en indicadores, teniendo en cuenta los SGR que aunque no cuentan con TI si aplican indicadores para el análisis de la información (Figura 4).

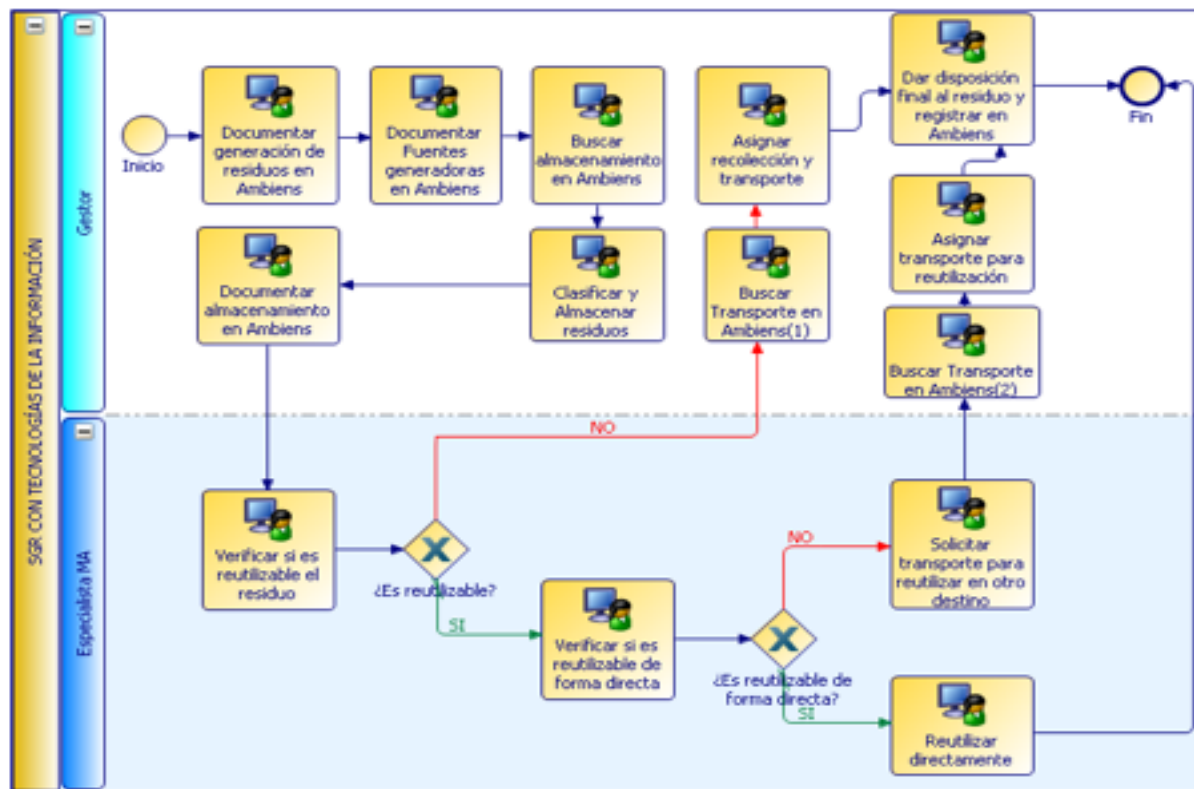


Figura 4. Proceso de aplicación del SGR hasta la disposición final con TI (imagen generada en TIBCO).

Para la simulación, el TIBCO tiene en cuenta el tiempo establecido a cada actividad, este tiempo es multiplicado por el costo que implica la participación de uno de los roles anteriores y así se establece la relación costo-tiempo para cada actividad. Además en los puntos de decisión (XOR), se aplican variables booleanas a las cuales se les aplicó una probabilidad de ocurrencia de 0.5 a los valores de falso y verdadero (decisión tomada por los expertos de gestión de residuos del GEMICONS, teniendo en cuenta equidad basada en la variedad de la tipología de residuos). Estas condiciones se establecieron también en el proceso de aplicación de un SGR sin TI con el fin de realizar una comparación de ambos procesos. El tiempo de las actividades para esta simulación fue estimado en minutos de la siguiente forma según el criterio de especialistas en el Grupo Empresarial y los investigadores:

SGR basado en Indicadores y soportado en TI (SGRITI) (Figura 5):

- Buscar almacenamiento en Ambiens: 2
- Asignar transporte para reutilización: 20
- Buscar Transporte en Ambiens(2): 2
- Documentar almacenamiento en Ambiens: 5
- Buscar Transporte en Ambiens(1): 2
- Verificar si es reutilizable de forma directa: 10
- Solicitar transporte para reutilizar en otro destino: 10
- Verificar si es reutilizable el residuo: 10
- Reutilizar directamente: 120
- Asignar recolección y transporte: 20
- Dar disposición final al residuo y registrar en Ambiens: 90
- Documentar Fuentes generadoras en Ambiens: 10
- Clasificar y Almacenar residuos: 30
- Documentar generación de residuos en Ambiens: 20

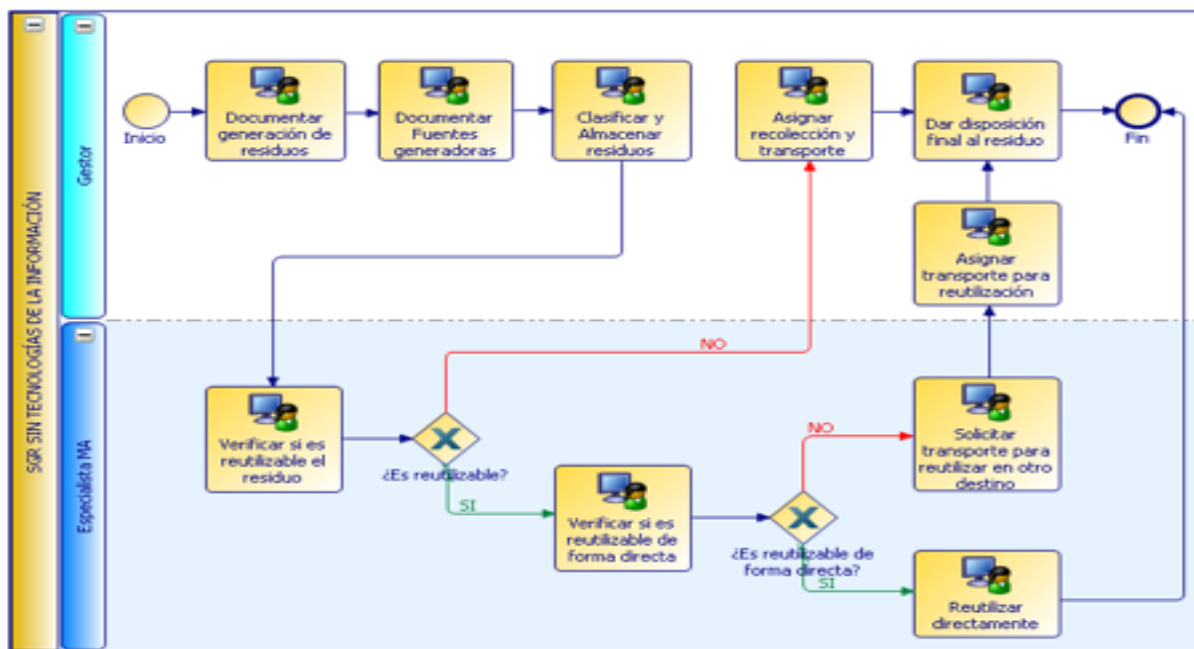


Figura 5. Proceso de aplicación del SGR hasta la disposición final sin soporte de TI.

SGR sin soporte de TI:

- Asignar transporte para reutilización: 60
- Verificar si es reutilizable de forma directa: 10
- Solicitar transporte para reutilizar en otro destino: 10
- Verificar si es reutilizable el residuo: 10
- Reutilizar directamente: 120
- Asignar recolección y transporte: 120
- Clasificar y Almacenar residuos: 90
- Dar disposición final al residuo: 120
- Documentar generación de residuos: 60
- Documentar Fuentes generadoras: 30

Una vez aplicados estos parámetros, los resultados de simulación son los presentes en las Figuras 6 y 7. Para obtener estos datos sobre el tiempo de demora, se simularon 100 casos de entradas sobre la generación de residuos, estos casos realizaron todo un recorrido cíclico desde el inicio hasta el final del proceso, que además del tiempo en minutos arrojaron información sobre el costo de los procesos medidos en pesos (\$). Se puede observar que los resultados favorecen en todos los sentidos, el

proceso de aplicación del SGR hasta la disposición final con TI.

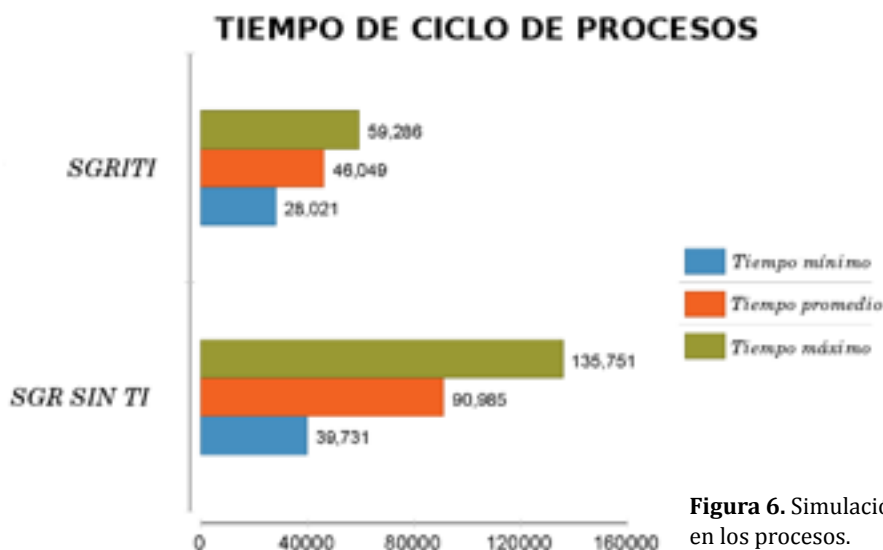


Figura 6. Simulación de tiempos en los procesos.

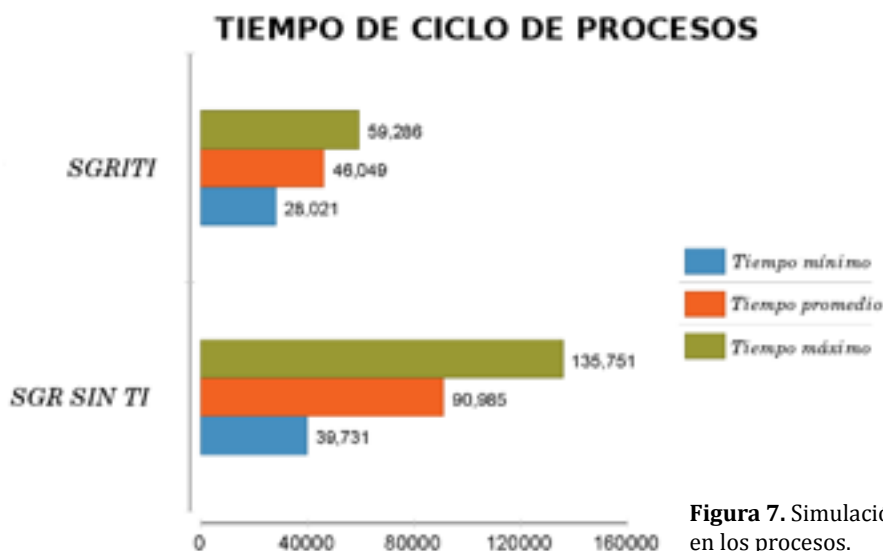


Figura 7. Simulación de costos en los procesos.

Resultados similares se obtuvieron para el proceso de revisión de informe del SGR al comparar este con soporte de TI y sin soporte de esta. En este caso la distribución de actividades identificadas fue:

SGRITI:

- Solicitar Informe del SGR: 2
- Generar Informe en Ambiens: 1
- Imprimir copia: 2
- Entregar copia: 2
- Revisar Informe: 60

SGR basado en indicadores pero sin soporte de TI:

- Solicitar Informe del SGR: 2
- Verificar si tiene el informe: 10
- Pedir informe: 5
- Elaborar informe: 240
- Enviar informe: 5

- Realizar copia: 60
- Entregar copia: 2
- Revisar informe: 60

3. Conclusiones

La simulación de los procesos seleccionados, demostró la necesidad de involucrar las tecnologías de la información en procesos ambientales como aquellos centrados en la gestión de residuos, partiendo de que para lograr eliminar la ineficiencia detectada en la gestión de residuos era necesario lograr una disminución en los tiempos de los procesos que a su vez permitió disminuir costos relativos a las actividades que intervienen en estos. Con la integración de Ambiens a un SGR se agiliza el proceso de toma de decisiones para el apoyo al medio ambiente. Fue posible desarrollar un *software* que soporte las etapas identificadas para este tipo de sistema y teniendo en cuenta las nuevas tendencias con el uso de *software* libre en Cuba.

4. Referencias

- ALIAGA, A. B. **Sistema de Gestión de Residuos basado en Indicadores y soportado en Tecnologías de Información**. Tesis de Maestría. Universidad Central de las Villas. Santa Clara [Villa Clara], Cuba], 2014.
- CASTELLS, X. E. **Reciclaje de residuos industriales**. 2a. ed., Editorial Díaz de Santos, S.A., 2009.
- CUBA. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. **Resolución 126/2007**. Cuba, 2007.
- CUBA. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. **Resolución 136-09**. Manejo integral de desechos peligrosos. Cuba, 2009.
- ELVEX, S. L. EcoElvex. 2009. Recuperado a partir de <http://www.elvex.es/>
- GASPAR, I. **Gestión de Residuos Industriales**. Producción Limpia: Principios y herramientas. 2004.
- GATO, M.P.; CARBONERAS, M.C.; BABILONI, E. & TARRADELLAS, E.G. Revisión de modelos de gestión de inventarios para repuestos reparables. **4th International Conference On Industrial Engineering and Industrial Management**, Proceedings, pp. 1329-1335, 2010.
- ITEC. 2010. **TCQ2000. Programa para los proyectos y obras de construcción**. Recuperado a partir de <http://www.itec.es/programas/tcq/>
- LEZAMA, H.R.; TÉLLEZ, M.R.; LOZADA, M.Á.R.; GUTIÉRREZ, J.L.C. & LÓPEZ, A.T. Logística Inversa: una alternativa para la gestión de productos fuera de uso (PFU). **Revista Internacional La Nueva Gestión Organizacional**, 0(9), 2013.
- ORTEGA MIER, M.A. **Utilización de métodos cuantitativos para el análisis de problemas de localización en logística inversa**. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 2008.
- PASTOR, P.A. & RODRÍGUEZ PÉREZ, R. Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica .1a. ed., **Documenta Universitaria**, 2008. Recuperado a partir de <http://www.agapea.com/libros/Evaluacion-y-prevencion-de-riesgos-ambientales-enCentroamerica-9788496742376-i.htm>