

Principios básicos del nuevo modelo de integración empresarial: Actor de Empresa (ADE)

Basic Principles of a New Enterprise Integration Model: Enterprise Actor

DIANA JIMENA LÓPEZ MESA*

JUAN MARTÍN VELASCO**

ÓSCAR AMAURY ROJAS ALVARADO***

RESUMEN

El modelo de integración empresarial *actor de empresa* es un concepto reciente desarrollado en el grupo de I + D en Automática Industrial de la Universidad del Cauca. En torno a este concepto se han desarrollado algunos trabajos de investigación, cuyos resultados han permitido la formalización de definiciones y características del modelo. La investigación futura se centra en la definición de una metodología que permita aplicar este modelo a empresas de manufactura; de esta manera evaluar las ventajas que hasta ahora se han definido teóricamente. La formalización de la metodología ha llevado a hacer una comparación entre el estado actual del modelo actor de empresa y los sistemas multiagentes (SMA); esta comparación le ha dado al grupo de investigación un nuevo panorama sobre algunos elementos que deben ser modificados, agregados o eliminados de la estructura actual del modelo de integración propuesto. Este artículo muestra los principios básicos de este modelo de integración empresarial, su estado actual y los futuros proyectos que permitirán continuar con su desarrollo.

Palabras clave: integración empresarial, automatización industrial, modelos de integración empresarial, holones, sistemas multiagentes (SMA).

ABSTRACT

The enterprise integration model called *enterprise actor* is a recent concept developed in the Industrial Automatics I + D group of Universidad del Cauca. Research work has been developed regarding this concept, and its results have allowed specific definitions and characteristics of the model. Future investigation is centered on the definition of a methodology that allows applying this model to manufacturing companies in order to assess the advantages that so far have been theoretically defined. The formalization of the methodology has led to a comparison between the current status of the enterprise actor model and multi-agent systems. This comparison has provided the investigation group with a new overview of certain elements that need to be modified, added or

FECHA DE RECEPCIÓN: 22 DE MAYO DEL 2012 • FECHA DE APROBACIÓN: 27 DE SEPTIEMBRE DEL 2012

*Magíster (C) en Automática, IPET-FIET docente ocasional del Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control, Universidad del Cauca, Colombia. Correo electrónico: djlopez@unicauca.edu.co.

**Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, Magíster en Dirección Universitaria, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Doctor en Ciencias de la Educación. Correo electrónico: jmvelasc@unicauca.edu.co.

***Ingeniero en Electrónica de la Universidad del Cauca. Especialista en Informática Industrial. Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones. Candidato a Doctor en Ciencias Aplicadas, área de Automatización Industrial, Universidad de Los Andes, Venezuela. Correo electrónico: orojas@unicauca.edu.co.

removed from the current structure of the proposed integration model. The present article shows the basic principles of the enterprise integration model, its current status and future projects that will allow its continuous development.

Keywords: Enterprise integration, industrial automation, enterprise integration models, multi-agent systems.

Introducción

Actualmente, la integración empresarial se convierte en un medio fundamental para mejorar el rendimiento y la eficacia de las funciones operacionales de una empresa industrial moderna (Vento, 2006). El problema de la integración funcional total de la empresa de manufactura es hoy en día uno de los temas de interés más relevantes en el entorno industrial y académico; este interés está motivado por un escenario actual que combina múltiples requisitos que aún no han sido satisfechos respecto a la integración empresarial y avances en las tecnologías de la información y la comunicación (Pérez, 2006).

Al integrar todos los niveles de planta (fabricación, control y supervisión) con los procesos administrativos permite a las organizaciones realizar una toma de decisiones operacionales, tácticas y estratégicas más eficaces, además de obtener otros beneficios implícitos, reflejados en la conservación del medio ambiente, calidad en los productos finales, flexibilidad y seguridad laboral (Durán, 2006).

Con el propósito de enfrentar el reto de integración total y automatización de las empresas de manufactura, se han desarrollado desde hace ya varios años diferentes modelos. Estos son patrones que representan la estructura, el comportamiento, la organización e integración de los componentes de la empresa, además de establecer los aspectos más importantes que deben considerarse durante el proceso de integración y automatización empresarial, como: la información que fluye entre los diferentes componentes de la empresa y las relaciones existentes entre las áreas de apoyo, el proceso de producción y los sistemas de decisión (Rojas, 2008). Entre los modelos de integración empresarial más relevantes reportados en la literatura se destacan: el modelo GRAI (*Research Group of Industrial Automation*) (Doumeingts, 1984) CIMOSA (*Open System Architecture for CIM*) (Vlietstra, 1991), PERA (*Purdue Enterprise Reference Architecture*) (Williams, 1989), Modelo CIM propuesto por ingenieros de Siemens (Baumgartner y Knischewski, 1989), GERAM (*Generalized*

Enterprise Reference Architecture and Methodology) (Williams, 1994), PROSA (*Process Resource Order Staff Architecture*) (Wyns, 1998), MRAI (*Modelo Referencial de Automatización Industrial*) (Chacón y Camacho 1996), 3D-EBM (*Modelo de 3 Dimensiones del negocio de la empresa*) (Chacón y Montilva, 2001), ADACOR (*Adaptative Holonic control Architecture*) (Leitao, 2004) y PROHA (*Product Resource Order Heterarchical Architecture*) (García y Cejor, 2006).

El grupo de I + D en Automática Industrial de la Universidad del Cauca no podría ser ajeno a la problemática empresarial descrita y ha realizado aportes al campo de la automatización y la integración empresarial al proponer dos modelos: el modelo CIM-FIET (Gómez y Manquillo, 2007) y el más reciente, el modelo Actor de Empresa (ADE) (Hernández y Viveros, 2008).

Este artículo presenta, de manera detallada, los principales conceptos del modelo de integración empresarial: ADE, su definición, modelo de comportamiento e instructivo. Posteriormente, se muestra una analogía de un ADE con un agente y se finaliza con las conclusiones al respecto.

Actor de empresa

El modelo ADE nace con el propósito de establecer un patrón que represente de forma integral y sistemática la estructura el comportamiento, la organización e integración de los componentes de una empresa de manufactura, lo cual facilita en gran medida el proceso de automatización empresarial. El ADE es una importante contribución al área de la automática industrial, ya que su fundamento se diferencia de los conceptos tradicionales al incluir tanto *software* como *hardware* de ejecución. Es de aclarar que la gran mayoría de modelos desarrollados hasta el momento, exceptuando los holones, se basan en el diseño *software*, tal como los relacionados con los sistemas multiagentes o se fundamentan, principalmente, en el campo informático. Otra ventaja del modelo ADE consiste, al basarse en la estructura y la acción del ser humano, en que permite una implementación tanto automática como no automática; esta característica no es usual en aplicaciones encaminadas a la integración empresarial. El modelo ADE parte de la suposición de que toda la empresa, y cada parte de esta, pueda ser modelada a partir del esquema de la estructura humana donde lo que se pretende es humanizar la técnica.

La estructura interna de un ADE consta de dos tipos de flujo: el flujo físico (líneas continuas) y el flujo de información (líneas punteadas), tal como se muestra en la figura 1. El flujo físico representa la secuencia que transforma la *materia prima* y los *insumos* en *productos* y *residuos* al realizar el proceso; mientras el flujo de información representa el intercambio de información que hace posible el control del flujo físico, es decir, la secuencia del proceso.



Figura 1. Esquema del actor de empresa

Fuente: elaboración propia.

El modelo para integración empresarial se construye mediante la unión de varios actores de empresa que conforman una red, en la cual cada actor desempeña un papel determinado, asociado a una función específica dentro de la empresa (Hernández y Viveros, 2008).

El modelo ADE, en adelante llamado MADE, consta de tres componentes: un ADE, que tiene asociado un modelo de comportamiento, el cual, ejecuta un instructivo. Este instructivo contiene la información que hace que cada ADE se diferencie de los demás. A continuación se presenta una descripción del modelo de comportamiento y del instructivo del ADE:

Modelo de comportamiento del Actor de Empresa

El modelo de comportamiento del ADE está estructurado en un diagrama de flujo, a partir del cual se puede modelar cualquier función empresarial, sin importar si hace parte o no del proceso productivo. En este diagrama de flujo se utilizan los símbolos mostrados en la figura 2. Los estados son momentos de reposo en la ejecución de un procedimiento de control; las señales de entrada son informaciones que recibe un estado para ejecutar una acción. Las señales de salida son resultados

producto de la ejecución de una acción y los bloques son componentes o divisiones del procedimiento, es decir: “unidades de procedimiento”, “operaciones” o “fases” (de acuerdo con el modelo de procedimientos de la norma ISA 88), que controlan etapas, operaciones de proceso o acciones de proceso (Lozada, 2010).

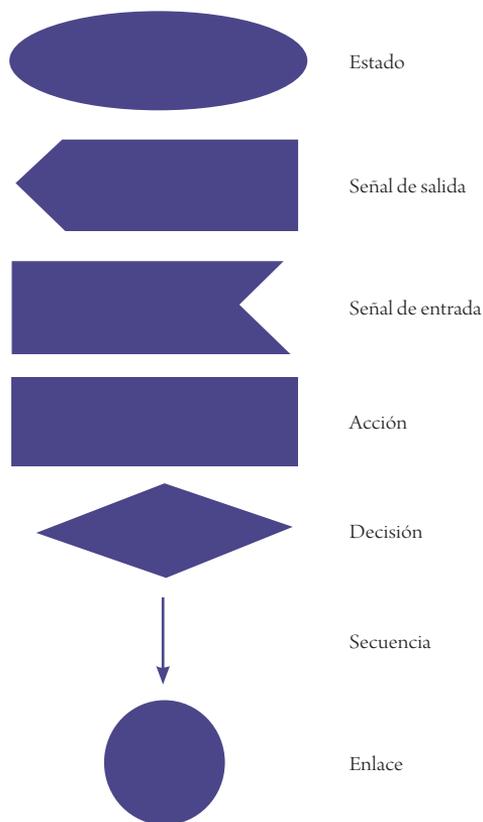


Figura 2. Símbolos utilizados en el modelo de comportamiento del actor de empresa

Fuente: elaboración propia.

El modelo general de comportamiento del ADE muestra siete secciones que dejan entrever la capacidad del ADE para modelar las diferentes tareas que se le asignen.

En la figura 3 se expone de forma detallada cada una de las secciones correspondientes al modelo de comportamiento del ADE. En la figura 3a se ofrece una vista ampliada de la sección 1, denominada: “carga de instructivo de actor”. El estado inhabilitado significa que el actor no opera; el actor sale de ese estado tras recibir

una señal de habilitación. La siguiente señal de entrada es el instructivo de actor; acto seguido, se realiza la operación cargar, al cabo de la cual el actor reconoce sus tareas, entradas, salidas y la restante información consignada en el instructivo. Finalmente, emite una salida de “habilitado” e ingresa al estado “disponible”.

Una de las señales de entrada que hace que el actor abandone el estado disponible y que hace parte del flujo físico que maneja un ADE, es la señal de materia prima presente, tal como se muestra en la figura 3b. El actor atiende solo una materia prima a la vez; posteriormente, realiza la tarea buscar en la que debe obtener información de la ubicación física de esa materia prima: “equivale a recibir la información de los sensores y demás elementos que le indiquen al actor la ubicación precisa de la materia prima”. La tarea Asir consiste en sujetar dicha materia prima por distintos sistemas: una mano robot, un gancho manual, un contenedor. La tarea “localizar” consiste en llevar esa materia prima hasta el lugar en donde debe estar en el instante previo a realizar alguna tarea física sobre ella o en conjunto con otras materias primas, por ejemplo, pegar, soldar, remachar, atornillar, etc. Dichas tareas podrían estar relacionadas directamente con el modelo de control procedimental, que resulta de aplicar el estándar ISA 88 a una empresa de manufactura, aunque no necesariamente deben ser extraídas de dicho modelo. “Reposicionar” es la acción que hace que el sistema vuelva a las condiciones iniciales. Finalmente, con la salida “Fin de localización”, cualquier ADE interesado puede conocer que esa materia prima se halla en posición; al cabo de estos pasos, el ADE retorna al estado disponible.

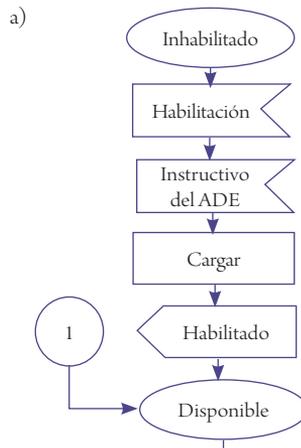
La figura 3c representa la sección denominada “manejo de tareas de información”. En esta sección, una vez se recibe una señal de entrada de tarea de información, se emite una salida que es una confirmación de recibido hacia el actor que originó la señal. Se realiza la pregunta de si hay alguna señal de activación activada; si la respuesta es negativa, el ADE vuelve al estado “disponible”, pero si la señal de entrada por sí sola es suficiente para activar una señal de activación o si fue un conjunto de señales las que generaron la activación de una señal de activación, entonces se realizan las tareas que se incluyen en el bloque “realizar tarea(s)” y se emite una salida registro/envío de datos de operación. Si la información no es recibida por el ADE destino se realiza un manejo de excepción; en caso de que el registro/envío sea exitoso se debe entonces desactivar la señal de activación actual; se emite una señal de “fin de ciclo” y retorna al estado “disponible”.

La figura 3d muestra la sección “manejo de tareas físicas”. Una vez se recibe una señal de entrada de tarea física, se emite una salida que es una confirmación de recibido hacia el actor que originó la información. Se realiza la pregunta de si hay alguna señal de activación activada; si la respuesta es negativa, el ADE vuelve al estado de “disponible”, pero si la señal de entrada por sí sola es suficiente para activar una señal de activación o si fue un conjunto de señales las que generaron la activación de una señal de activación, entonces se realiza la tarea: “ajuste de herramientas” a condiciones iniciales (disponer herramientas, efectuar reglaje previo y cargar el programa), es decir, se preparan las herramientas físicas y se realizan las tareas que se incluyan en el bloque “realizar tareas”; una vez finalizadas, se ejecuta la operación “herramientas” a condiciones de reposo. Finalizado esto, se emite la salida “registro-envío” de datos de operación. Si la información no es recibida por el ADE de destino, se realiza un manejo de excepción; en caso de que el registro-envío sea exitoso se debe entonces desactivar la señal de activación actual, se emite una señal de “fin de operación” y la señal “fin de ciclo”, con la cual se coordina el trabajo entre actores. De esta manera, se indica que esa operación ya terminó. A continuación se hace la pregunta de si existe producto; si la respuesta es afirmativa pasa a la sección “manejo de producto” y si la respuesta es negativa, entonces realiza la pregunta de si existe residuo; de nuevo, si la respuesta es afirmativa entonces va a la sección “manejo de residuo”, pero si es negativa retorna al estado “disponible”.

Otra de las señales de entrada que hace que el actor abandone el estado “disponible” y que hace parte del flujo físico que maneja un actor de empresa, el cual es la señal de “insumo” presente, tal como se muestra en la figura 4e. El ADE atiende solo a un insumo a la vez; posteriormente, realiza la tarea “buscar”, en la que debe obtener información de la ubicación física de ese insumo: “equivale a recibir la información de los sensores y demás elementos que le indiquen al actor la ubicación precisa del insumo”. La tarea “asir” consiste en sujetar dicho insumo por distintos sistemas, una mano de robot, un gancho manual, un contenedor. La tarea “localizar” consiste en llevar ese insumo hasta el lugar en donde debe estar en el instante previo a realizar alguna tarea física sobre él o en conjunto con otras materias primas e insumos; la acción “reposicionar” se encarga de llevar el sistema empleado a condiciones iniciales. Con la salida “fin” de localización, cualquier ADE interesado puede conocer que ese insumo se halla en posición; cuando finaliza este ciclo el actor vuelve al estado “disponible”.

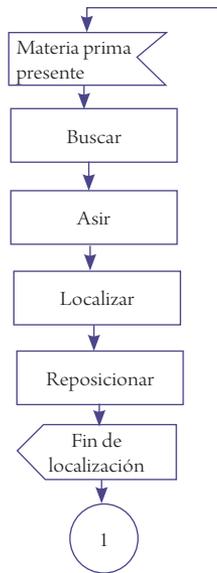
La figura 3f ofrece una vista ampliada de la sección “manejo de producto”, se llega hasta aquí desde la sección “manejo de tareas físicas” o desde sí misma, cuando la respuesta a la pregunta; ¿existe producto? es afirmativa. Cuando el ADE se encuentra en esta sección, lee la señal de entrada e identifica el producto. Las acciones siguientes son “buscar”, “asir”, “localizar”, “reposicionar” y emitir una señal de “fin de localización”. Inmediatamente después, pregunta si existe algún otro producto disponible que deba ser localizado y si lo hay se repiten los pasos, de lo contrario, pregunta si existe residuo; de ser así va a la sección “manejo de residuo”; en caso de que no existan residuos vuelve al estado “disponible”.

En la figura 3g se brinda una vista ampliada de la sección “manejo de residuo”; se llega hasta aquí desde la sección “manejo de tareas físicas” o “manejo de producto”, cuando la respuesta a la pregunta: ¿existe residuo? es afirmativa. Cuando se encuentra en la sección “manejo de residuo”, el ADE lee la señal de entrada e identifica el residuo; las acciones siguientes son: “buscar”, “asir”, “localizar”, “reposicionar” y emitir una señal de fin de localización. Posteriormente, pregunta si existe otro residuo y si lo hay realiza los pasos de esta sección de nuevo, de otro modo vuelve al estado “disponible” (Hernández y Viveros, 2008).

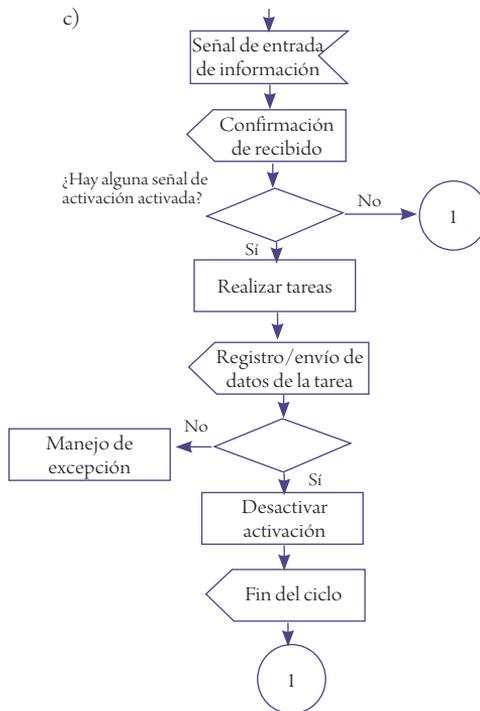


Continúa

b)

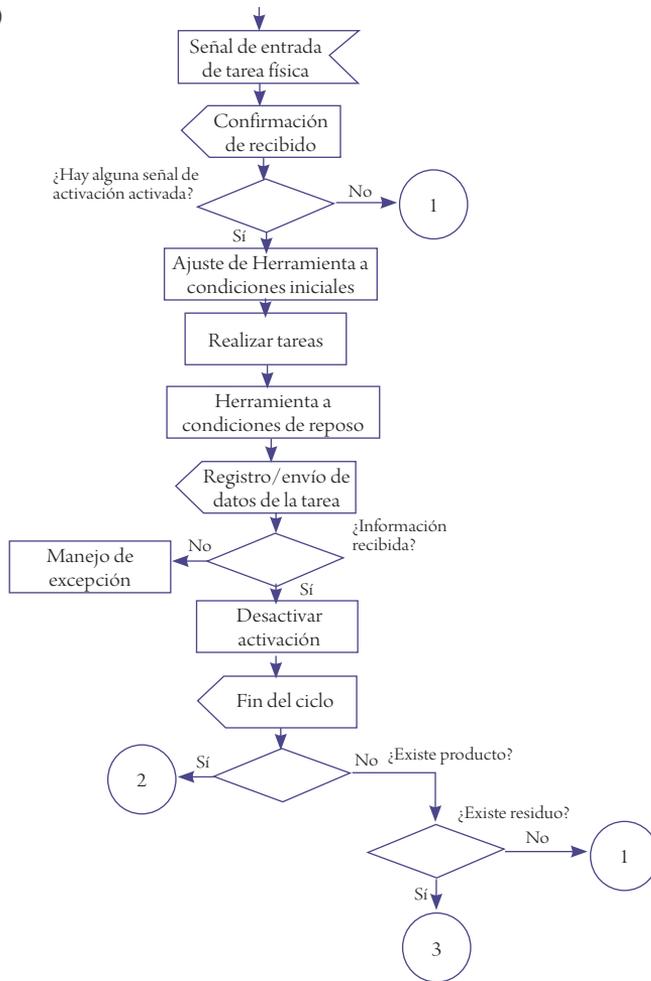


c)



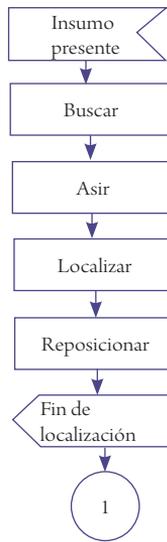
Continúa

d)

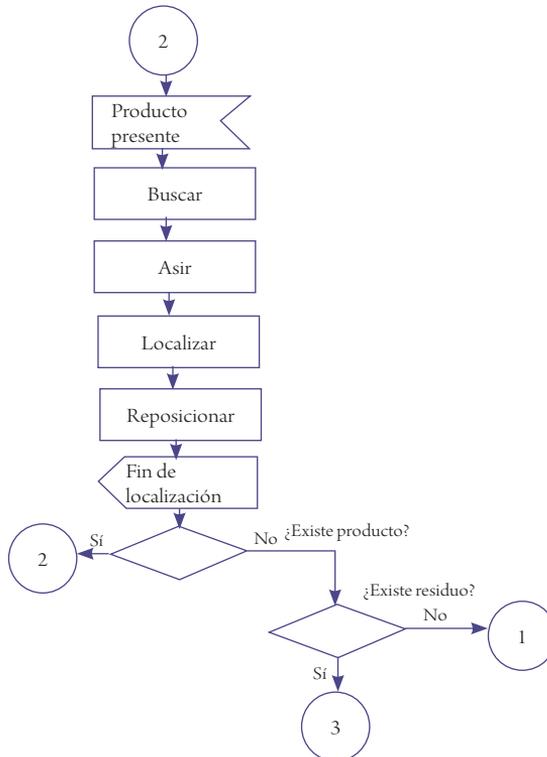


Continúa

e)



f)



Continúa

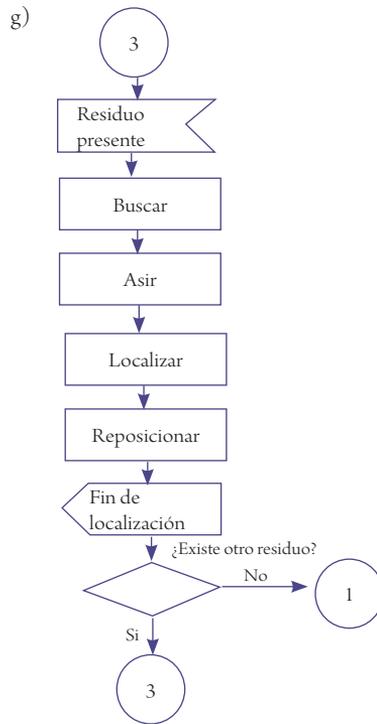


Figura 3. Secciones del modelo de comportamiento del MADE: a) carga del instructivo, b) manejo de materia prima, c) manejo de tareas de información, d) manejo de tareas físicas, e) manejo de materias primas, f) manejo de producto y g) manejo de residuo

Fuente: elaboración propia.

El número de veces que se realiza cada sección, así como el orden en que se ejecutan, salvo la primera de ellas, que se ejecuta una sola vez y antes que cualquier otra, depende exclusivamente del instructivo que haya sido asignado a un ADE en particular. La descripción de las tareas que debe hacer un ADE se consigna también en el instructivo (Guevara, 2010).

Instructivo del ADE

El instructivo le enseña al actor cómo utilizar sus capacidades para realizar la función empresarial asumida; consiste en una serie de tablas o listas de elementos, entre las que se incluyen: lista de señales de entrada y salida de información, lista de señales de entrada de materia prima e insumo, lista de señales de salida de producto y residuo y lista de tareas que realiza. Estas listas contienen los parámetros necesarios

para que siguiendo los pasos propuestos en el modelo de comportamiento, el ADE pueda dar cumplimiento a un conjunto de tareas definidas en el instructivo (Lozada, 2010). En la tabla 1 se muestra la tabla básica del instructivo MADE.

Tabla 1. Instructivo MADE

ATRIBUTO	VALOR
Nombre del ADE	Cadena de caracteres
Tipo de tareas que realiza	Físicas/no físicas
Número de señales de entrada de información	Dato tipo entero
Número de señales de salida de información	Dato tipo entero
Número de señales de activación	Dato tipo entero
Número de tareas de información	Dato tipo entero
Número de señales de entrada de materia prima	Dato tipo entero
Número de señales de entrada de insumos	Dato tipo entero
Número de señales de salida de productos	Dato tipo entero
Número de señales de salida de residuos	Dato tipo entero
Número de tareas físicas	Dato tipo entero

Fuente: elaboración propia.

Analogía de las propiedades de un agente y el ADE

Los siguientes proyectos a ejecutar están relacionados con el desarrollo de una metodología que permita la aplicación del MADE. Hasta el momento se planea tomar como base la metodología para sistemas multiagentes (SMA), denominada INGENIAS (Gómez, 2002). Aunque INGENIAS es una metodología *software* orientada, específicamente, a agentes, ha sido aplicada de manera exitosa en investigaciones relacionadas con este concepto (Soto, 2005; Gómez y Fernández, 2005; García e Hidalgo, 2006), ha demostrado ser útil para otro tipo de aplicaciones. Dentro del grupo de I + D de Automática Industrial, se han desarrollado cuatro importantes proyectos cuyo objetivo principal es la obtención de un modelo dinámico para el proceso de programación y control de la producción, planificación de la producción, proceso de control de la fabricación en la manufactura asistida por computador y control estadístico de la calidad, todos ellos aplicando los conceptos de la metodología INGENIAS. Estos proyectos entregaron excelentes resultados y

proporcionaron un impulso para continuar con la investigación, aplicación y uso de INGENIAS en el área de la automatización e integración empresarial.

El primer paso para desarrollar una metodología de aplicación del MADE es la realización de una analogía entre las propiedades de los agentes y las actuales propiedades del ADE. Esto también permitirá conocer qué características importantes deben ser agregadas a la estructura actual del ADE. Para el desarrollo de la analogía, se analizaron las propiedades del agente: autonomía, habilidad social, racionalidad, reactividad, proactividad, adaptabilidad, movilidad, veracidad y benevolencia, y fueron comparadas con las características actuales del ADE.

Autonomía

Los agentes han sido utilizados con éxito en dominios, en los cuales el grado de incertidumbre e imprevisibilidad requiere unidades de procesamiento capaces de acción autónoma, sin la directa intervención de humanos u otros agentes (Giret, 2005). Por su parte, los sistemas de control de fabricación están diseñados para llevar a cabo una tarea claramente definida, aunque, en ocasiones, se puede necesitar que el sistema realice u omita tareas que no fueron planeadas, por motivos como: la no disponibilidad de recursos (físicos o no físicos) para desarrollar las tareas, variaciones en el tiempo de inicio, procesamiento o finalización de una tarea, errores de tipo *software*, entre otras. Estos aspectos propios de un sistema de producción, indican que es necesario que un ADE tenga la capacidad de monitorizar y tomar algunas decisiones de acuerdo con las circunstancias del entorno. Esta característica aún no está diseñada para el ADE.

Habilidad social

Los agentes no actúan aislados sino en presencia de otros agentes o humanos; por tanto, necesitan de habilidades sociales y de comportamiento interactivo para comunicarse, cooperar, coordinarse y negociar con ellos. Los agentes son capaces de interactuar y, especialmente, de comunicarse con otros agentes, gracias a lenguajes de comunicación de agentes (*Agent Communication Language [ACL]*) (Giret, 2005). En el caso de los ADE, estos deben asociarse y comunicarse para permitir la ejecución de tareas; la señal de salida de un ADE se puede convertir en la señal de entrada de uno o más ADE. Por ejemplo, las señales de salida de un ADE específico: “fin de chequeo del programa de producción” y “resultado del

chequeo del programa de producción” se convertirán en las señales de entrada de otro ADE encargado de realizar la tarea: “modificar el programa de producción por horas, teniendo en cuenta la capacidad de salida del equipo, mano de obra y disponibilidad de materias primas”, la cual genera la señal de salida de información: “resultado de la modificación del programa de producción”; esta señal de salida a su vez servirá de señal de entrada de un siguiente ADE encargado de cumplir otra tarea específica. La habilidad social de un ADE estará conformada entonces por su comunicación; no existe específicamente cooperación, coordinación, negociación, ni procesos diferentes a la comunicación.

Racionalidad

Un agente racional es uno que hace lo correcto, es decir, una acción que causa que el agente sea el más exitoso. Las acciones que un agente ejecuta pueden ser entendidas como sus objetivos (Giret, 2005). Si se habla de un ADE, este también tiene objetivos y debe cumplirlos según le sean programados. Sin embargo, en el estado actual de desarrollo no es capaz de determinar por sí mismo el correcto cumplimiento de estos. Es necesario diseñar un mecanismo para que el ADE detecte errores en su comportamiento y produzca señales que alerten esta situación y si es posible tome algunas decisiones para corregirla.

Reactividad

Un agente responde a eventos que ocurren en su entorno. Estos eventos afectan tanto a los objetivos del agente como a los supuestos que soportan los procedimientos que el agente está ejecutando para lograr sus objetivos (Giret, 2005). De la misma manera, un ADE debe reaccionar ante cambios en el entorno (materia prima agotada, máquina no disponible, información no disponible) que afectan sus objetivos internos e impiden la ejecución de tareas planeadas. Esta característica está bastante relacionada con la autonomía y aún no ha sido diseñada para el ADE.

Proactividad

Los agentes no actúan simplemente en respuesta a su entorno, son capaces además de exhibir comportamiento dirigido por objetivos al tomarla iniciativa. Estos sistemas dirigidos por objetivos que usan los agentes asumen que el entorno no cambia mientras se ejecuta el procedimiento. De igual manera, se asume que el

objetivo, es decir, la razón para ejecutar el procedimiento, permanece válido, al menos, hasta que el procedimiento haya terminado (Giret, 2005). Un ADE intenta alcanzar sus objetivos de manera sistemática de acuerdo con su modelo de comportamiento; sin embargo, no está en capacidad de actuar a priori conforme aparecen nuevas situaciones.

Adaptabilidad

La adaptabilidad en los agentes está relacionada con el aprendizaje. Cuando se diseña un sistema multiagente, generalmente, es imposible prever todas las situaciones potenciales que un agente puede encontrar y especificar, de antemano, el comportamiento de un agente de manera óptima. Para superar estos problemas de diseño, los agentes tienen que aprender de su entorno y adaptarse a él a partir de Giret (2005). Para el caso del ADE, todo su conocimiento se encuentra programado en el instructivo y no tiene manera de adquirir nuevo conocimiento del entorno ni adaptarse a él por sí mismo.

Movilidad

Los agentes móviles, extienden las capacidades de los sistemas distribuidos mediante la movilidad del código. Los agentes móviles son programas que pueden viajar a través de una red de computadoras y se pueden conectar a otros agentes y a plataformas de agentes para desarrollar sus tareas (Giret, 2005). Esta característica es apropiada para aplicaciones de *software* complejas con grandes volúmenes de datos. Para el caso del ADE no se considera necesaria la inclusión de esta propiedad.

Veracidad

Un agente no puede comunicar información falsa de manera deliberada (Giret, 2005). De igual manera, un ADE solo debería comunicar información verdadera y útil, sin embargo, no existe un mecanismo para que el ADE determine la veracidad de la información.

Benevolencia

La propiedad de benevolencia es aquella, por la cual el agente coopera con otros agentes cuándo y dónde sea posible (Giret, 2005). Para el caso del MADE, la asociación entre los ADE ya está definida y no tienen la capacidad de organizarse de otra manera.

A partir de esta analogía, se pudo concluir qué propiedades posee actualmente el ADE y cuáles son útiles para el diseño de una metodología (el ADE es), las características que es necesario adicionar (El ADE debería ser) y, finalmente, las características que no se tendrán en cuenta, dado el escenario para el cual fue creado el modelo (el ADE no es). Los resultados se resumen a continuación:

EL ADE es social:

- Un ADE se comunica con otros ADE para lograr objetivos comunes.
- La información que deben compartir está definida en el instructivo. Cada ADE tiene su función delimitada y no puede asumir tareas de otros ADE.
- En el instructivo se encuentra consignada la organización del MADE, indicando cuáles son los ADE que compartirán información.
- Un ADE solo podrá compartir información con el o los ADE programados; no se puede modificar la organización del MADE.

El ADE debería ser:

- Autónomo: no se ha definido un entorno para el MADE, es decir, las posibles situaciones en que un ADE se pueda encontrar, ni un mecanismo para que el ADE tome decisiones con respecto a las situaciones del entorno.
- Racional: no existe un mecanismo para que el ADE detecte errores en su comportamiento y produzca señales que alerten esta situación y si es posible tome algunas decisiones para corregirla.

- Reactivo: está relacionado con la autonomía del ADE; si se definiera un entorno, no existiría un mecanismo de reacción ante cambios en este.
- Veraz: no existe un mecanismo que le permita al ADE saber si la información que envía y recibe es verdadera y útil.

El ADE no es:

- Proactivo: un ADE no está en capacidad de tomar decisiones a priori acerca de los cambios en el entorno. Es suficiente con que cumpla sus objetivos de manera sistemática de acuerdo a su modelo de comportamiento y cumpla con las características de autonomía y reactividad.
- Adaptable: todo el conocimiento del ADE se encuentra consignado en el instructivo, no es necesario que adquiera nuevo conocimiento a partir del entorno.
- Móvil: el MADE no está diseñado para aplicaciones complejas y con grandes cantidades de datos, sino para pymes, las cuales abarcan cerca del 95% de todas las empresas registradas en Colombia. No es necesario que un ADE sea móvil.
- Benevolente: está relacionada con la habilidad social del ADE. No es necesario que un ADE cumpla las funciones asignadas a otro ADE o que intercambie información con un ADE para el cual no fue asignado.

De acuerdo con la analogía realizada entre las propiedades de un agente y las propiedades que tiene o debería tener un ADE, se concluye que se requiere definir algunos elementos inexistentes dentro del MADE, entre ellos:

- Definir un entorno donde los ADE puedan operar. Este entorno hace referencia a las diferentes situaciones que se pueden presentar durante la ejecución de tareas, por ejemplo, la aparición de un nuevo ADE, materia prima o insumo agotado, materia prima o insumo disponible, herramienta o máquina inhabilitada, herramienta o máquina disponible, información disponible, información no disponible, etc. La definición de estas situaciones facilitará la adición de reactividad y autonomía al ADE.

- De acuerdo con las situaciones concretas definidas en el entorno, se deben incorporar métodos para la toma de decisiones y definir la manera en que debe actuar el ADE ante determinada situación. La incorporación de estos aspectos dotará al ADE de reactividad y autonomía, ya que estará en capacidad de controlar sus propias tareas, tomando decisiones y podrá reaccionar de alguna manera a los cambios previstos del entorno.
- Determinar la información que permite al ADE tomar decisiones. Con la definición del entorno y las acciones que se deben tomar con respecto a los cambios del entorno, se debe definir toda la información necesaria para que se ejecuten dichas acciones. Por ejemplo, ante la situación: información disponible, un ADE toma la decisión de transferir la información a otro ADE, para ello requiere información adicional, tal como: ADE origen, ADE destino, contenido de la información, tipo de respuesta esperada, tareas asociadas, etc.
- Proponer un mecanismo que le permita al ADE detectar errores en su comportamiento y produzca señales que alerten esta situación, de igual manera, identificar si la información que entrega o recibe es verdadera. Estos aspectos le darán al ADE propiedades de racionalidad y veracidad.

Se considera que para cumplir con los objetivos para los cuales ha sido creado el ADE, no es necesario que este sea: proactivo, adaptable, móvil ni benevolente.

Conclusiones

Este artículo presentó los principales conceptos y componentes del modelo de integración empresarial ADE: modelo de comportamiento e instructivo y la analogía que se obtuvo entre un ADE con un agente, por lo que se pudo concluir:

- Actualmente, aunque el modelo ADE permite especificar de una manera integral y sistemática las diferentes funciones de una empresa, no cuenta con una metodología que permita aplicarlo; disponer de una herramienta conceptual de este tipo, facilitaría la prueba y posterior implementación del modelo ADE, en empresas de manufactura de cualquier tamaño y grado de automatización.

- Para el desarrollo de una metodología de implementación del ADE, se pretende usar como referencia análoga la metodología para sistemas multiagentes INGENIAS. A través de las investigaciones realizadas, se ha concluido que se requiere hacer varias modificaciones a las características actuales del ADE, con el propósito de usar los elementos esenciales de INGENIAS.
- Como proyectos futuros, se contempla la posibilidad de agregar al ADE algunos elementos de seguridad basados en la norma ISA 99, agregar al ADE las características faltantes relacionadas con los SMA, definir un modelo dinámico que permita establecer diferentes bloqueos que puede presentar un ADE durante su ejecución, aplicar este concepto a empresas de producción de la región, evaluando su efectividad y finalmente, comparar el desempeño y las características teóricas del MADE con modelos de integración clásicos reportados en la literatura.

Referencias

- Baumgartner, H. y Knischewski, K. (1989). *CIM - Basisbetrachtungen Produktionsautomatisierung*. Siemens-Aktiengesellschaft. Berlín: Editorial John Wiley & Sons.
- Chacón, E. y Camacho, O. (1996). Integral Automation of Industrial Complexes Based on Hybrid Systems. *ISA Transactions*, 35(4), 305-319.
- Chacón, E. y Montilva, J. (2001). An Integration Architecture for the Automation of Continuous Production Complexes. *ISA Transactions*, 40(2), 95-113.
- Doumeings, G. (1984). *Methode GRAL: Methode de Conception des Systems en Productique*. Burdeos: Doctorado en Control Automático -Université Bordeaux I.
- Durán, J. (2006). Integración en automatización. Técnicas emergentes para la automatización integrada de procesos industriales. En *Reporte técnico No. 2*. Mérida, Venezuela.
- García, A. y Cenjor, A. (2006). An Agent-Oriented Design Methodology for RFID Improved Manufacturing Control. Ponencia presentada. En *IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*. República Checa.
- García, J. e Hidalgo, A. (2006). A Workflow Modelling with INGENIAS methodology. En *5th IEEE International Conference on Industrial Informatics*.
- Giret, A. (2005). *ANEMONA: Una metodología multiagente para sistemas holónicos de fabricación*. Valencia: Doctorado en Informática, Universidad Politécnica de Valencia.

- Gómez, J. (2002). *Modelado de sistemas multiagentes*. Madrid: Doctorado en Informática, Universidad Complutense de Madrid.
- Gómez, J. y Fernández, C. (2007). Model driven development and simulations with the INGENIAS agent framework. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(10), 1468-1482.
- Gómez, D. y Manquillo, C. (2007). *Adecuación del modelo Siemens a las normas ISA S88 e ISA S95 con aplicación ilustrativa a un caso de estudio*. Popayán: Ingeniería en Automática Industrial, Universidad del Cauca.
- Guevara, C. (2010). *Modelado para automatización de la operación de compras mediante la aplicación del modelo Actor de Empresa al modelo general de actividades de ISA S95*. Popayán: Ingeniería en Automática Industrial, Universidad del Cauca.
- Hernández, S. y Viveros, D. (2008). *Aplicación del modelo Actor de Empresa en la especificación UML para la implementación de los bloques funcionales CAM, CAP y PPC del modelo resultante*. Popayán: Ingeniería en Automática Industrial, Universidad del Cauca.
- Leitao, P. (2004). *ADACOR: An Agile and Adaptive Holonic Architecture for Manufacturing Control*. Porto: Doctorado en Ingeniería de la Computación, Universidade do Porto.
- Lozada, M. (2010). *Formalización de un modelo de referencia para integración empresarial basado en el concepto de Actor de Empresa*. Popayán: Maestría en Automática, Universidad del Cauca.
- Pérez, L. (2006). Modelos de automatización. Técnicas emergentes para la automatización integrada de procesos industriales. *Reporte técnico No. 1*, Mérida, Venezuela.
- Rojas, O. (2008). Principios de un modelo dinámico para integración de empresas de manufactura. Popayán: Maestría en Automática. Universidad del Cauca.
- Soto, J. (2005). Modelling a Knowledge Management System Architecture with INGENIAS Methodology. *Proceedings of the 15th International Conference on Computing*. México D.F.
- Vento, J. (2006). Optimización en automatización. Técnicas emergentes para la automatización integrada de procesos industriales. *Reporte Técnico No. 3*, Mérida, Venezuela.
- Vlietstra, J. (1991). An Open System Architecture in Computer-Integrated Manufacturing: CIMOSA. *Journal of Applied Manufacturing Systems*, 10(1), 23-35.
- Williams, T. (1989). Reference Model for Computer Integrated Manufacturing, a Description from the Viewpoint of Industrial Automation. *6th International Symposium on Process Systems Engineering*.
- Williams, T. (1994). Contributions of the Purdue Enterprise Reference Architecture and Methodology to the Development of a General Enterprise Reference Architecture

and Methodology (GERAM). *Third International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision*. Singapur.

Wyns, J. (1998). *PROSA: Reference architecture for holonic manufacturing systems-the key to support evolution and reconfiguration*. Lovaina: Maestría en Automatización, Katholieke Universiteit Leuven.