

UN MARCO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES PARA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

OSWALDO TERÁN¹, FLOR NARCISO¹, ADDISON RÍOS-BOLÍVAR¹, FRANCISCO HIDROBO², JOHANNA ÁLVAREZ¹,
LEANDRO LEÓN¹, JOSÉ AGUILAR¹, DOMINGO HERNÁNDEZ¹

¹Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Sistemas. e-mail: oteran@ula.ve

²Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Laboratorio SUMA: e-mail: hidrobo@ula.ve

Recibido: junio de 2007

Recibido en forma final revisado: febrero de 2009

RESUMEN

En este trabajo se presenta un marco metodológico para el análisis y la evaluación de las tecnologías y metodologías que soportarían el desarrollo, tanto de la plataforma como de las aplicaciones, en el área de Automatización Industrial. Dicho marco es requerido por la fase final de una metodología orientada por el contexto de realizar ejercicios de prospectiva tecnológica propuesta previamente. El producto de esa fase consiste en un plan de implantación que está constituido por una serie de etapas que involucran, entre otros aspectos, el análisis y la evaluación de las tecnologías y metodologías que dan soporte al desarrollo. El análisis y la evaluación derivan en la selección de una plataforma computacional, la arquitectura de la aplicación, y las tecnologías y metodologías requeridas para alcanzar un desarrollo funcionalmente exitoso y plenamente integrado. El marco metodológico es aplicado, para su validación, en el desarrollo de un sistema de Adquisición de Datos y Control Supervisorio (SCADA).

Palabras clave: Desarrollo tecnológico, Prospectiva tecnológica, Ingeniería de software, Automatización industrial, SCADA.

A METHODOLOGICAL FRAMEWORK TO DEVELOP APPLICATIONS FOR INDUSTRIAL AUTOMATION

ABSTRACT

In this work, we present a methodological framework for the analysis and evaluation of technologies and methodologies for the development of applications in the area of Industrial Automation. This methodological framework is required in the final phase of a context oriented methodology to implement of a previous technological prospective proposal. The product of this phase is an implantation plan consisting of steps involving, among other things, the analysis and evaluation of technologies and methodologies that will support the development. Analysis and evaluation are based on the selection of a computational platform, the required application architecture and, the technologies and methodologies to achieve a successful and totally integrated system. In order to validate the methodological framework proposed, we use a SCADA system.

Keywords: Technological development, Technological prospective, Software engineering, Industrial automation, SCADA.

INTRODUCCIÓN

A partir del desarrollo de las tecnologías de información y comunicación (TIC), el área de la automatización es, en la actualidad, un campo fundamental para el crecimiento industrial. Por esta razón, resulta primordial la realización de estudios de prospectiva tecnológica para orientar los cambios a realizar en las plataformas que soportan la automatización industrial. Dichos estudios permitirán establecer el

estado del arte en los ámbitos científicos y tecnológicos, determinar las expectativas y objetivos a alcanzar, así como el proceso de cambio enmarcado en criterios preestablecidos al inicio de los estudios (por ejemplo, garantizar procesos de transferencias tecnológicas), entre otros aspectos (Godet, 1995).

En general, la prospectiva es un mecanismo con un alto componente explicativo y exploratorio del futuro en base a

escenarios posibles, que permite el adelantamiento y el proceso de diseño del futuro desde el ahora o desde la situación actual (Godet, 1999; Bas, 1999; Medina, 2001).

En lo referente al ámbito tecnológico, el enfoque prospectivo ha dado como resultado un impulso importante a las áreas de robótica, biotecnología, acuicultura, tecnologías de información y comunicación, energías alternas, nuevos materiales y nanotecnología (Futuro, 2000; Friend & Hickling, 2002; de Jouvenel, 2005; Echarri, 2004).

En Fundacite-ULA, 2006, se plantea una metodología para realizar estudios de prospectiva tecnológica en el área de Automatización Industrial. La metodología es amplia y exhaustiva en cuanto a que considera un análisis íntegro de la organización, proponiendo para ello la identificación de dominios de especialización y de variables de dominio, así como también variables transversales a los dominios. Esta descripción de los dominios, en términos de variables, recoge suficientes detalles de la organización, distinguiendo las características específicas de cada uno. A la vez, las variables transversales permiten caracterizar aspectos que simultáneamente afectan a varios dominios. Los cambios sugeridos dentro de la organización incluyen modificaciones para cada uno de estos dominios en términos de las variables de dominio, y para varios dominios simultáneamente en términos de las variables transversales. La metodología considera, además, elementos restrictivos, tales como: factibilidad técnica, factibilidad financiera, desarrollo sustentable, soberanía tecnológica, desarrollo de tecnología nacional, apropiación de tecnología foránea, factibilidad organizacional, entre otros.

El resultado de la aplicación de esta metodología concluye con un plan general de implantación de la tecnología objeto de estudio. En este trabajo, a partir de ese plan general se propone una sub-fase para el desarrollo tecnológico, la cual consiste en el análisis y evaluación de las diferentes tecnologías y metodologías de desarrollo para la creación de los diferentes subsistemas asociados a la aplicación de software a construir. Para la toma de decisiones, en cuanto a la selección de estas tecnologías y metodologías, se consideran criterios fundamentales que forman parte de los lineamientos empresariales y de la nación. Entre estos criterios o requisitos se tienen: licencias de código abierto, implantación de esquemas de seguridad sólidos y confiables, integración con aplicaciones de gestión y gerencia del negocio, alta disponibilidad, redundancia, visualización mediante clientes ligeros (WEB) y visualización basada en roles.

Para su evaluación práctica, este marco metodológico se aplica en una propuesta de desarrollo de un sistema de adquisición de datos y control supervisorio (SCADA), que es

una plataforma computacional ampliamente utilizada en los procesos productivos. Esta herramienta permite la supervisión y control de los procesos, en tiempo real, mediante la evaluación de los datos presentes y el comportamiento histórico de los procesos controlados.

MARCO METODOLÓGICO

Todo proceso de desarrollo tecnológico (o de planificación) tiene como objetivo generar opciones y hacer una selección de las mismas, considerando algunos criterios. Los criterios son aquellos derivados de las restricciones que se imponen de acuerdo a los lineamientos empresariales, las leyes y políticas de estado, acuerdos, estándares y protocolos de estricto cumplimiento. Así, la metodología para analizar y evaluar alternativas en el desarrollo tecnológico de productos informáticos involucra la consideración de variables cualitativas y cuantitativas, a través de un procedimiento sistemático. Particularmente, este proceso fue descrito en Fundacite-ULA, 2006, de la siguiente manera:

Determinación de los criterios o restricciones de contexto

Los criterios o restricciones de contexto para la determinación de la plataforma de desarrollo incluyen aspectos a diferentes niveles del entorno organizacional, los cuales están relacionados con la tecnología, con la eficiencia empresarial, con los intereses de la nación (por ejemplo, soberanía tecnológica), con restricciones presupuestarias, entre otros.

Identificación de los dominios tecnológicos, de las variables (externas, internas) de cada dominio, y de las variables transversales de la plataforma objeto

Se denomina dominio a cada una de las áreas de especialización de la plataforma tecnológica objeto. La clasificación de dominios debe seguir los estándares en el ámbito tecnológico objeto de estudio. Por otro lado, se denominan variables transversales a aquellas variables que son comunes a dos o más dominios. Estas variables son útiles para describir situaciones globales que no pueden ser descritas por variables de un solo dominio. A los fines de su evaluación, es necesario determinar rango de valores de las variables de cada dominio y las transversales, orientado a los intereses, requisitos e incidencia del entorno empresarial.

Diagnóstico de la situación actual y de los avances tecnológicos y científicos en el área bajo estudio

El levantamiento de información para el diagnóstico del estado actual de la plataforma tecnológica se apoya fundamentalmente en: visitas, entrevistas, consulta a expertos,

revisión bibliográfica y hemerográfica, etc.

Levantamiento de requisitos

El levantamiento de los requisitos es una tarea a realizar conjuntamente con la empresa, a objeto de obtener información de todos los usuarios en los diferentes niveles organizacionales.

Elaboración de escenarios y determinación de los paradigmas tecnológicos actuales

Para el estudio y selección de los paradigmas se realizan trabajos orientados a identificar los aspectos y variables claves de cada uno de los dominios, así como las tendencias a nivel internacional para cada una de tales variables.

Determinación de las brechas tecnológicas entre la situación actual de la plataforma objeto y los paradigmas

Sobre la base de las variables externas e internas (por dominio), y de las variables transversales, se determina la brecha entre la situación actual y la situación deseada derivada de las tendencias de los paradigmas. Estos paradigmas determinan el marco sobre el cual se debería edificar la futura arquitectura tecnológica.

Selección y priorización de las variables claves

Consiste en determinar cuáles variables requieren mayor atención a fin de planificar cambios a cortoplazo, por ejemplo a 2 años, y cuales variables pueden diferirse a fin de planificar su cambio a más largo plazo, por ejemplo a 6 años. La priorización de variables facilita el establecimiento de los lineamientos que deberían orientar los cambios, algunos a considerar en el futuro inmediato y otros a más largo plazo.

Planificación de la implantación

Identificadas las brechas entre la situación actual y la situación deseada, se deben describir las diferentes operaciones que conforman el plan de implantación en cierto periodo de tiempo, orientadas a reducir tales brechas. Deben considerarse aspectos tales como la viabilidad y la planificación y lineamientos de negocio.

Estas fases constituyen el insumo fundamental para proponer esquemas definitivos de adquisición, desarrollo e implantación de la arquitectura computacional. A grandes rasgos, la metodología se orienta al diagnóstico del estado del arte y los requisitos de desarrollo según las restricciones.

Esas dos visiones se comparan para establecer la brecha tecnológica y sugerir los planes para disminuirla.

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y METODOLOGÍAS

La metodología aquí descrita requiere, en la fase de Planificación, de la implantación de una subfase de Análisis y Evaluación de Tecnologías y Metodologías a ser utilizadas durante el desarrollo de las aplicaciones y plataformas. Específicamente, nosotros aquí proponemos cómo se realizaría esa subfase en el área de Automatización Industrial. Este análisis parte de las conclusiones de cada una de las etapas previas a la Planificación de la Implantación, y considera, en el contexto de sistemas informáticos, lo siguiente:

1. Restricciones de contexto. Vanguardia tecnológica, viabilidad, soberanía tecnológica, políticas de estado, diversidad de usuarios, rentabilidad del negocio, viabilidad técnica, económica y organizacional.
2. Dominios tecnológicos. Seguridad, desarrollo de aplicaciones, infraestructura, integración, soporte y mantenimiento, visualización y datos.
3. Variables de dominio. Esquema de licenciamiento, esquema de soporte, disponibilidad del conocimiento, infocultura, integración, alta disponibilidad, redundancia, aplicaciones legadas, requisitos, escalabilidad, disponibilidad de los datos, metodologías y herramientas, eficiencia, impacto, modelado, enfoques de desarrollo de software, etc.

Esta subfase tiene por objeto la definición de la plataforma que soportaría el desarrollo de la arquitectura y de las aplicaciones de softwares. Para esto, en esta subfase se realiza un análisis y evaluación de las tecnologías y metodologías, de las implicaciones económicas, y de los riesgos que impedirían lograr los objetivos de acuerdo a la visión prospectiva.

Para la evaluación de las tecnologías y metodologías se considera pertinente realizar un análisis comparativo, tanto cualitativo como cuantitativo, de las diferentes alternativas identificadas en las siguientes áreas:

- Enfoque global de implantación de la aplicación. Una aplicación de software puede implantarse realizando, por ejemplo, un desarrollo propio o la adquisición de un sistema comercial que cumpla con los requisitos exigidos.

- **Arquitectura general de la aplicación.** Describe cómo las funcionalidades de una aplicación de software se distribuyen sobre un número de componentes lógicos, y cómo estos componentes se interrelacionan. En definitiva, define la estrategia de modelado.
- **Metodologías para el desarrollo de software.** Describen el conjunto de fases, etapas, actividades y tareas asociadas a la producción de software de calidad. La formalización del proceso de desarrollo se conoce como ciclo de desarrollo de un producto o aplicación de software o ciclo de vida del software, el cual se utiliza para estructurar el conjunto de actividades requeridas para desarrollarlo y mantenerlo, e incluso para retirarlo una vez que se considera no útil y/o improductivo.
- **Sistemas operativos.** Permiten la comunicación del usuario con la computadora y gestionan sus recursos de forma eficiente.
- **Lenguajes de programación.** Permiten construir las aplicaciones a ser ejecutadas por el hardware de una computadora.
- **Componentes principales de la aplicación.** Son tareas o bloques de software que permiten llevar a cabo las actividades propias de la aplicación de software. Estos componentes se definen en base a los subsistemas de comunicaciones, monitoreo y supervisión de procesos, interfaz gráfica de usuario y gestión de datos.
- **Integración de aplicaciones e integración de los distintos componentes de la aplicación.** Es el esquema de operación conjunta que define la forma de interacción entre las aplicaciones externas y la aplicación a desarrollar, así como entre los componentes internos de esta última.

El análisis cualitativo refleja las fortalezas y debilidades de cada alternativa objeto de estudio, mientras que el análisis cuantitativo incorpora algunos aspectos importantes del entorno tecnológico, y se define en términos de dominios y/o entornos de competencia, evaluando, dentro de cada uno de estos atributos claves para cada una de las alternativas. El análisis cuantitativo se realiza mediante el cálculo de promedios ponderados por área, de la siguiente manera:

1. Para el área en estudio se identifican los dominios y/o entornos a considerar. A cada dominio y/o entorno se le asigna una ponderación, según su importancia.
2. Por cada dominio y/o entorno se definen las variables que describen dicho dominio. Se evalúa cada alternativa del área en función del nivel de presencia de la caracte-

terística que representa la variable: Totalmente (1,00), Mucho (0,75), Medianamente (0,50), Bajo (0,25) y Nada (0,00).

3. Por cada dominio y para cada alternativa se calcula el promedio aritmético considerando los valores cuantitativos asignados a cada variable.
4. Finalmente, para cada alternativa, se calcula el promedio ponderado considerando todos los dominios. Este promedio es utilizado como base para establecer la recomendación respectiva al área.

El resultado de ambos análisis se resume en las recomendaciones de uso de una o varias de las alternativas evaluadas.

Una vez realizados los análisis cualitativo y cuantitativo para cada una de las alternativas de las áreas definidas, se realiza un análisis de las implicaciones económicas de la implantación de la aplicación. En algunos casos, las implicaciones económicas de las diferentes alternativas son muy similares, por lo que es suficiente realizar solamente un análisis cualitativo. En caso de ser necesario realizar un análisis cuantitativo, se sigue un procedimiento similar al descrito anteriormente.

Seguidamente se pasa a realizar un estudio de riesgos, donde se identifican, en primer lugar, los factores de riesgo y sus respectivos impactos, para cada una de las alternativas de cada área. En segundo lugar, para las alternativas seleccionadas de cada área, se presenta un análisis de riesgos, en el cual se incluyen factores de riesgo, probabilidad de ocurrencia, cualificación del impacto y los planes para contrarrestar estos riesgos.

La cuantificación del nivel de impacto se obtiene mediante el siguiente procedimiento:

- Se asigna un valor de probabilidad de ocurrencia a cada riesgo: Alta (0,6), Moderada (0,3) y Baja (0,1).
- Se asigna un peso al impacto del riesgo: Catastrófico (0,6), Serio (0,3), Tolerable (0,1) e Insignificante (0,0).
- Para cada uno, se calcula el nivel de riesgo como el producto de la probabilidad de ocurrencia por el impacto.
- El nivel de impacto se calcula como el promedio de los valores obtenidos en el paso anterior.

Basándose en los valores de cuantificación, se puede determinar un valor límite para el nivel de impacto multiplicando una probabilidad de ocurrencia Alta (0,6) por un impacto

Catastrófico (0.6), resultando un valor de 0.36. Este valor límite permite orientar la selección de una alternativa y/o cuantificar la magnitud del riesgo.

Los planes se diseñan para contrarrestar los efectos que puedan causar los riesgos. Por lo general son planes de contingencia, esto es, planes reactivos para recuperar las actividades de modo normal, con el menor costo de recursos. En algunos casos se describen planes preventivos para alterar la probabilidad del riesgo y/o planes preventivos para minimizar el impacto del riesgo. Luego de realizados el conjunto de análisis descritos, y tomando en consideración los resultados de los mismos, se establece, de manera concluyente, la arquitectura que soportaría el desarrollo de la aplicación de software, la cual se construye a partir del plan de desarrollo. El producto final es toda una herramienta computacional con todas las fortalezas para su escalabilidad, mejoras, reformulaciones, adaptaciones, etc.

CASO DE ESTUDIO: SCADA VENEZOLANO

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es una aplicación de software de tiempo real, especialmente diseñada para trabajar en computadoras, para el control y supervisión de la producción, proporcionando la comunicación con los distintos dispositivos de campo y controlando el proceso desde equipos de despliegue gráfico. Además, proporciona toda la información que se genera en el proceso para los diversos usuarios, sin importar los roles y niveles (Ríos-Bolívar *et al.* 2005; Hidrobo *et al.* 2005).

Típicamente, un SCADA consiste de dispositivos de campo, protocolos de comunicación, redes de datos, aplicación de software para el control (lógico, óptimo, continuo) y una interfaz gráfica de usuario, los cuales se integran a través de un medio de gestión de servicios (middleware) (Bravo *et al.* 2004; Ríos-Bolívar *et al.* 2005).

Un SCADA debe tener ciertas características fundamentales, entre estas:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaz de crecer y adaptarse, de acuerdo a los cambios y necesidades del negocio.
- Deben permitir la comunicación, con total facilidad y transparencia, del usuario con los equipos de planta y con el resto de los procesos empresariales.
- Deben ser programas simples de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, fácil de usar y con interfaces de usuario amigables.

Para realizar las tareas de adquisición, supervisión y con-

trol, un SCADA está construido a partir de subsistemas, los cuales, fundamentalmente son:

1. Configuración. Permite al usuario definir el ambiente de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular.
2. Interfaz Gráfica de Usuario. Provee al operador de las funciones de control y supervisión de la planta. Las imágenes del proceso, por medio de gráficas sinópticas, se construyen y almacenan a partir de una aplicación del subsistema de configuración. Las funciones de visualización se realizan en tiempo real, proporcionando los resultados dentro de un tiempo específico.
3. Módulo del Proceso. Ejecuta las acciones de control pre-programadas a partir de los valores presentes de las variables leídas y las diferentes consignas de producción.
4. Gestión de Datos. Se encarga del almacenamiento y procesamiento de los datos, de modo que otras aplicaciones o dispositivos puedan tener acceso a ellos. Este subsistema contempla la gestión tanto de bases de datos en tiempo real como de bases de datos históricos.
5. Comunicaciones. Se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura de hardware que soporta el SCADA, y entre éste y el resto de los elementos de cómputo de gerencia de producción.

En definitiva, SCADA es toda una herramienta computacional que permite la operación automatización de plantas industriales. Tienen un amplio uso en los diferentes sectores productivos por lo que constituye un elemento fundamental de desarrollo tecnológico.

Considerando, en base a lineamientos empresariales y de políticas de estado, criterios tales como: licencias de código abierto, implantación de esquemas de seguridad sólidos y confiables, integración con aplicaciones de gestión y gerencia del negocio, alta disponibilidad, redundancia, visualización mediante clientes ligeros (Web) y visualización basada en roles, el marco metodológico aquí propuesto se utiliza en (Ríos *et al.* 2005), a objeto de aplicar la subfase de Análisis y Evaluación de Tecnologías y Metodologías en el desarrollo de los diferentes subsistemas del SCADA Venezolano.

El resultado de la aplicación práctica de esta fase se presenta a continuación, resaltando solamente aquellos aspectos que remiten a la formulación de las recomendaciones.

Enfoque global de implantación de la aplicación

Para determinar el enfoque global de implantación del

SCADA Venezolano se evalúan dos alternativas: el desarrollo de un SCADA propio y la adquisición mediante la requisición y compra de un SCADA comercial.

A la luz del análisis cualitativo realizado en base a las fortalezas y debilidades de cada alternativa de implantación, la adquisición vía licitación de un sistema SCADA que cumpla con los lineamientos, políticas y requisitos empresariales y de la nación no es completamente factible debido a que va en contra de la visión comercial de los fabricantes. Por lo tanto, la orientación del desarrollo nacional es una alternativa viable y adecuada, la cual no está exenta de dificultades y requiere de un alto nivel de compromiso y dedicación de parte de los actores involucrados.

Para el análisis cuantitativo de estas alternativas fueron considerados los dominios y variables mostrados en la tabla 1. De acuerdo a los resultados de este análisis, el valor del promedio ponderado, para cada alternativa, se muestran en la tabla 1, donde se observa que la alternativa de implantación más conveniente es la del desarrollo de un SCADA propio.

Tabla 1. Dominios, variables y promedios ponderados de las alternativas de implantación.

Dominio	Variables
Corporativas	Lineamientos, experticia, estándares
Políticas de estado (país)	Desarrollo endógeno, marco legal-fiscal, uso de recursos, soberanía tecnológica, seguridad nacional, sustitución de importaciones
Entorno tecnológico	Disponibilidad de la tecnología, compatibilidad con tecnología existente, cantidad de oferentes en el mercado, madurez de la tecnología, transferencia tecnológica
Alternativa	Promedio ponderado
Adquisición de un sistema comercial	0,54
Desarrollo de un SCADA propio	0,78

La ponderación considera el hecho de que el desarrollo de un SCADA propio requerirá tener una comunidad de desarrolladores y de mantenimiento que esté permanentemente dando soporte y haciendo mejoras al mismo. Dicha comunidad puede formar parte de unidades de desarrollo, pequeñas y medianas empresas, cooperativas de base tecnológica, etc. El costo de tener esa comunidad es cubierto por la amplia base instalada de sistemas SCADAs en el país.

Arquitectura General de la Aplicación

Para la implantación de la arquitectura existen diferentes estrategias de modelado. En este caso particular se evalúan cualitativamente, en función de sus fortalezas y debilidades, las alternativas: objetos distribuidos, componentes, servicios WEB y agentes.

En el análisis cuantitativo se consideran los dominios y variables que se muestran en la tabla 2. Este análisis incorporó, únicamente, los sistemas basados en objetos distribuidos y en agentes. En la caracterización de estos sistemas está implícita la idea de que para su implantación, la estrategia de modelado seleccionada requiere de un medio de gestión de servicios (middleware) que provea las funcionalidades indicadas en la columna “Variables” de la tabla 2. Así, la ponderación incluye el análisis de los medios de gestión de servicios que soportan estas estrategias de modelado para su implantación, por ejemplo, en el caso de sistemas basados en agentes se pudieran considerar JADE o SPADE (Aguilar *et al.* 2008).

Tabla 2. Dominios, variables y promedios ponderados de las alternativas de estrategias de modelado.

Dominio	Variables
Entorno tecnológico	Disponibilidad de la tecnología, compatibilidad con tecnología existente, cantidad de oferentes en el mercado, madurez de la tecnología, transferencia tecnológica
Alternativa	Promedio ponderado
Objetos distribuidos	0,61
Agentes	0,79

Para el caso de los modelos basados en componentes y servicios WEB, pueden ser tratados como esquemas integrados a los otros dos modelos.

Los valores de promedio ponderado presentados en la tabla 2 muestran que las diferencias entre ambas alternativas son mínimas y no permiten realizar una selección única; por lo tanto, se recomienda combinar las potencialidades de ambas. En las tareas que ameriten menor complejidad y mayores restricciones de tiempo (ej. adquisición de datos), se sugiere usar orientación a objetos. Por el contrario, en las que se requieran actividades complejas (gestión, planificación), se recomiendan los sistemas basados en agentes. Los sistemas basados en agentes pueden incluir tanto mo-

delos orientados a objetos como tecnología basada en objetos distribuidos para describir y ejecutar tareas de automatización. Los elementos que ejecutan las acciones son vistos como objetos que tienen toda la información necesaria para su operación. Es natural, por esa percepción de autonomía, considerar dicho componente como un agente ligero, siendo posible realizar una correspondencia directa entre el agente y la instancia física que representa. En este sentido, los agentes deberían ser contemplados en aquellos niveles donde las funcionalidades involucren o requieran, entre otras, cooperación, negociación, adaptabilidad para reducir la complejidad y aumentar la flexibilidad. Sin embargo, en los niveles donde las funcionalidades no involucren tales capacidades se pueden emplear agentes ligeros.

Metodologías para el desarrollo de software

En este contexto, se consideran como alternativas: el Modelo Cascada V, el Modelo Espiral, el Modelo Incremental, las metodologías Rational Unified Process (RUP), Enterprise Unified Process (EUP) y el Modelo de Procesos para la Industria de Software (MoProSoft), las cuales se evalúan cualitativamente en función de sus fortalezas y debilidades. La tabla 3 muestra los dominios y variables considerados para las alternativas en el análisis cuantitativo y los resultados de los valores de promedio ponderado obtenidos para cada una de ellas.

Tabla 3. Dominios, variables y promedios ponderados de las alternativas de las metodologías y modelos para el desarrollo de software.

Dominio	Variables
Datos, visualización, aplicaciones, infraestructura	Rapidez, flexibilidad, extensibilidad, mantenibilidad, usabilidad, confiabilidad, eficiencia
Soporte	Rapidez, extensibilidad, mantenibilidad, usabilidad, confiabilidad, eficiencia
Alternativa	Promedio ponderado
Cascada V	0,75
Modelo Espiral	0,85
Modelo Incremental	0,91
RUP	0,87
EUP	0,94
MoProSoft	0,95

En general, todas las metodologías y modelos aquí evaluados tienen buenos atributos técnicos, aunque sobresalen las metodologías MoProSoft y EUP. Las diferencias técnicas entre ellas son poco significativas, por lo que podría seleccionarse cualquiera de ellas. Sería conveniente hacer un análisis de otras implicaciones para hacer una selección con mejor criterio, lo que podría tenerse luego de analizar las implicaciones económicas y el estudio de riesgos.

Sistemas operativos

En virtud de que el desarrollo del SCADA venezolano se fundamenta en el paradigma de software libre, se evalúan cualitativamente, en función de sus fortalezas, debilidades y hardware, los siguientes sistemas operativos de libre distribución y de código abierto: Linux general (sin tiempo real), Linux tiempo real y variantes, Fluke y C5. Este análisis arroja como resultado la selección del sistema operativo Linux, recomendándose, además, el estudio de las posibilidades de integración a los PC's industriales de los microkernel C5 y Fluke.

Dado que existen diferentes distribuciones del sistema operativo recomendado, se realiza un análisis cualitativo tomando como alternativas: Debian, Gentoo, Mandriva, Suse, Red Hat, Ubuntu, y Fedora, en función de sus fortalezas y debilidades.

De este análisis se concluye que para servidores de muy alto rendimiento o de hardware antiguo lo aconsejable es Gentoo, pues es la distribución que mejor permite optimizar y adaptar el hardware. Para servidores en sí, que no sean críticos se aconseja Debian; y para estaciones de trabajo se recomienda Ubuntu, pues es de buenas prestaciones, fácil de instalar y posee un buen ambiente.

La evaluación de los sistemas operativos no se realizó en términos cuantitativos, puesto que, en este caso particular, se consideró como única alternativa la de sistemas operativos de código abierto.

Lenguajes de programación

Para la evaluación de los lenguajes de programación se consideraron como alternativas: C/C++, Java (a pesar de que aún no es considerado un lenguaje para el desarrollo de aplicaciones en software libre), ADA, Perl/Python, y PHP. El análisis cualitativo es realizado en función de las fortalezas y debilidades de cada lenguaje, en tanto que para el análisis cuantitativo se tomaron en cuenta los dominios y variables mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Dominios, variables y promedios ponderados de las alternativas de lenguajes de programación.

Dominio	Variables
Datos, visualización, aplicaciones, integración	Rapidez, ahorro de espacio, portabilidad, expresividad, popularidad
Alternativa	Promedio ponderado
C/C++	0,81
Java	0,57
ADA	0,60
Perl/Python	0,66
PHP	0,65

A partir de los valores de los promedios ponderados mostrados en la tabla 4 se concluye que C/C++ es el lenguaje más apropiado. La razón está dada por la rapidez de ejecución que prima en todos los dominios. Por lo tanto, C/C++ debería ser adoptado como primera opción a la hora de abordar el desarrollo de una aplicación de software que sería ampliamente utilizada y, en la cual, el rendimiento se establezca como un factor primordial. Este es el caso de los subsistemas fundamentales de un SCADA.

En orden descendente del valor de promedio ponderado se encuentran los lenguajes Perl y Python, los cuales, por sus bondades expresivas, y por el hecho de que son interpretados, permiten desarrollar e integrar aplicaciones (o prototipos) muy rápidamente. Esta bondad es bastante apreciable a la hora de integrar aplicaciones entre sí y cuando se requiera desarrollar aplicaciones céleremente. Ambos lenguajes obtuvieron los mismos puntajes; sin embargo, se recomienda la utilización de Python, pues es un lenguaje con un mejor sistema de tipos, lo que permite mejor ayuda del intérprete.

Como resultado de esta evaluación, se plantean las siguientes recomendaciones:

- C/C++ para desarrollo de núcleos críticos (menor complejidad y mayores restricciones de tiempo).
- Python combinado con C/C++ para la integración y desarrollo de aplicaciones.

Componentes principales de la aplicación

La plataforma de desarrollo del SCADA debe contemplar aspectos que soporten la construcción apropiada de los subsistemas de: comunicaciones, monitoreo y supervisión de procesos, interfaz gráfica de usuario y gestión de datos.

Para los protocolos de comunicación, el análisis cualitativo se realiza en función de los dominios mostrados en la tabla

5, tomando en consideración las características de cada uno según las dos alternativas de tipos de protocolos de comunicación: basado en estándares abiertos y propietario, y no en función de sus fortalezas y debilidades como en los casos anteriores.

Tabla 5. Dominios, variables y promedios ponderados de las alternativas de protocolos de comunicación.

Dominio	Variables
Seguridad	Protección, adaptabilidad, configurabilidad
Aplicación	Reusabilidad, adaptabilidad, disponibilidad de conocimiento
Infraestructura	Flexibilidad, adaptabilidad, escalabilidad
Integración	Flexibilidad, disponibilidad del conocimiento
Soporte y mantenimiento	Rapidez de respuesta, disponibilidad de conocimiento
Alternativa	Promedio ponderado
Basado en estándares abiertos	0,73
Propietario	0,48

La tabla 5 muestra los valores del promedio ponderado para los dos tipos de protocolos de comunicación en base a los dominios y variables indicados en esta tabla. Puede observarse que el mayor valor de promedio ponderado corresponde al protocolo de comunicación basado en estándares abiertos, por lo cual se recomienda utilizar este tipo de protocolos.

Al igual que en el caso anterior, para las alternativas de monitoreo y supervisión de procesos el análisis cualitativo se realiza en función de las características de los dominios y variables que se muestran en la tabla 6. Las alternativas consideradas son: basado en estándares abiertos y propietario.

Los valores de promedio ponderado para los dos esquemas de monitoreo y supervisión de procesos evaluados en el análisis cuantitativo se presentan en la tabla 6. Estos valores muestran que resulta más conveniente utilizar estándares abiertos para el monitoreo y supervisión de procesos, lo cual coincide con la selección realizada para el subsistema de protocolos de comunicación.

Las alternativas para la construcción de la interfaz gráfica de usuario del SCADA son: HTML, Tcl/Tk, C++, QT,

Tabla 6. Dominios, variables y promedios ponderados de las alternativas de monitoreo y supervisión de procesos.

Dominio	Variables
Seguridad	Protección, adaptabilidad, configurabilidad
Aplicación	Reusabilidad, adaptabilidad, disponibilidad de conocimiento
Infraestructura	Flexibilidad, adaptabilidad, escalabilidad
Integración	Flexibilidad, disponibilidad del conocimiento
Soporte y mantenimiento	Rapidez de respuesta, disponibilidad de conocimiento
Alternativa	Promedio ponderado
Basado en estándares abiertos	0,73
Propietario	0,48

GTK2 y Java. El análisis cualitativo se realiza en función de las fortalezas y debilidades de cada una de estas alternativas.

Los valores de promedio ponderado para las alternativas evaluadas en el análisis cuantitativo, conjuntamente con los dominios y variables bases de dicho análisis, se muestran en la tabla 7. De acuerdo a estos valores, el lenguaje de programación, para la construcción de la interfaz gráfica de usuario, se corresponde al lenguaje C++ utilizado conjuntamente con las bibliotecas para desarrollar interfaces gráficas de usuario QT y GTK2.

Tabla 7. Dominios, variables y promedios ponderados de las alternativas de construcción de la interfaz gráfica de usuario.

Dominio	Variables
Datos, aplicaciones, seguridad	Rapidez, arquitectura abierta, configurabilidad, interoperabilidad, portabilidad, tiempo real, confiabilidad, eficiencia
Alternativa	Promedio ponderado
HTML	0,79
Tcl/Tk	0,78
Java	0,73
C++	0,95
QT	0,95
MoProSoft	0,95

En el caso de este subsistema, el análisis cualitativo se complementa con una comparación de los manejadores de bases de datos de código abierto: MySQL-4.1.x y PostgreSQL 8.x, en base a la plataforma, compatibilidad con estándar SQL, velocidad, estabilidad, conformidad con ACID (Atomicity Consistency Isolation Durability), integridad de datos, aspectos de seguridad, métodos de autenticación soportados, soporte de SSL, soporte de concurrencia, soporte de triggers, soporte de unicode, vistas, procedimientos almacenados, juntas completas, manejo de restricciones, manejo de cursores, lenguajes de procedimientos, vaciado (Vacuum), programación de interfaces, transacciones, replicación y respaldo en caliente.

En función de los resultados obtenidos en el análisis cuantitativo, en el cual se consideran los dominios y variables mostrados en la tabla 8, se tienen los valores de promedio ponderado presentados en esta misma tabla. Considerando estos valores, es difícil proponer una recomendación; sin embargo, una primera selección dependerá del modelo de datos. Así, si el modelo de datos es relacional se recomienda MySQL, por el contrario, si el modelo es objeto relacional se recomienda Postgres.

Tabla 8. Dominios, variables y promedios ponderados de las alternativas de modelos de bases de datos.

Dominio	Variables
Datos, aplicaciones, seguridad	Rapidez, arquitectura abierta, configurabilidad, interoperabilidad, portabilidad, tiempo real, confiabilidad, eficiencia
Alternativa	Promedio ponderado
MySQL	0,88
Postgres	0,84

Integración de aplicaciones e integración de los distintos componentes de la aplicación

Para esta área se seleccionan los esquemas de integración más utilizados: servicios WEB y componentes. El análisis cualitativo se realiza en función de las fortalezas y debilidades identificadas para cada una de estas alternativas.

Las aplicaciones en los niveles superiores (gestión y planificación) usarían, preferentemente, el modelo de servicios WEB, debido a que presentan un menor acoplamiento (a nivel de aplicación, especialmente en lo que a modelos de datos se refiere) con los componentes de los niveles inferiores, las exigencias de tiempo de respuesta son más flexibles, requieren un mayor volumen de datos pero con una frecuencia de muestreo/utilización menor.

Las aplicaciones en los niveles medio/bajo usarían, preferentemente, el modelo de componentes CORBA, debido a que presentan un mayor acoplamiento con los dispositivos de campo, tienen requisitos de tiempos de respuesta más restrictivos/exigentes, requieren un menor volumen de datos pero con una frecuencia de muestreo/utilización mayor. Para estos dos esquemas de integración, del análisis cuantitativo realizado con los dominios y variables que se muestran en la tabla 9, resultan los valores de promedio ponderado que se muestran en dicha tabla. Aquí puede observarse que ambos valores de promedio ponderado son muy parecidos. Esto resulta razonable para la variedad de escenarios de uso. Esta variedad podría implicar la necesidad de disponer, simultáneamente, de ambos esquemas, de forma de utilizar, para cada caso específico de integración, el esquema que resulte más apropiado.

Tabla 9. Dominios, variables y promedios ponderados de las alternativas de esquemas de integración.

Dominio	Variables
Seguridad	Protección, adaptabilidad, integridad
Alternativa	Promedio ponderado
Servicios WEB	0,63
Componentes	0,62

Implicaciones económicas de la implantación de la aplicación

En esta sección se examinan las implicaciones económicas del desarrollo de un SCADA. Se considera que el aspecto más significativo, en términos económicos, está relacionado con la decisión de adquirir o desarrollar el SCADA. Por otro lado, se considera que el análisis económico para un proyecto de desarrollo debe ser global, en los mismos términos que para la adquisición de un SCADA.

De las evaluaciones expuestas en las secciones anteriores se concluye que las recomendaciones están orientadas hacia el uso de herramientas libres y estándares abiertos, conjuntamente con el empleo de metodologías y modelos abstractos. Existen aplicaciones, libres o propietarias, que facilitan, pero no limitan, la implantación de los subsistemas del SCADA con las opciones seleccionadas. Aun cuando en este trabajo no se realiza una evaluación exhaustiva de las implicaciones del uso del software libre, es importante señalar que ello implicaría potenciar una comunidad de desarrolladores de sistemas SCADAs a nivel nacional, y un sector de pequeñas y medianas empresas que darían soporte, capacitación y contribuirían al mejoramiento del SCADA puesto en servicio.

En el caso de las metodologías, los paradigmas de agentes, objetos distribuidos, servicios WEB o componentes son abstracciones o procedimientos sistemáticos de dominio público. Así, existen herramientas útiles para aplicar una metodología o para desarrollar sistemas multiagentes, pero éstas no son imprescindibles, y quien las adopte siempre tendrá alternativas de dominio público (ej. Poseidon, una herramienta de dominio público que facilita el modelado basado en la metodología EUP). También es cierto que un modelo de componentes, de agentes o de objetos distribuidos siempre puede ser desarrollado en un lenguaje de programación, como por ejemplo C/C++. Los elementos necesarios para el desarrollo con C/C++, MySQL, Postgres, las bibliotecas QT y GTK2 no tienen costos asociados, dado que son de dominio público.

Por otra parte, para el desarrollo del SCADA es importante, para un análisis económico, mantener la noción del todo, a objeto de evitar simplificaciones poco realistas, análisis redundantes y probablemente poco útiles. Para ilustrar esta situación, la información suministrada por un análisis de los costos asociados a la selección del lenguaje C++ pierde relevancia si a su vez no se tiene en cuenta la utilidad y consecuencias de su uso en otros subsistemas del SCADA.

En este sentido, es fundamental tomar en consideración, de manera global, los costos asociados a las diferentes fases de un proyecto de desarrollo, tales como inversión inicial, inversión en soporte y mantenimiento (inversión continua en el tiempo), así como los retornos generados ya sea en términos de la empresa misma o para su entorno nacional. En consecuencia, a continuación, se presenta el análisis económico de forma integral, considerando la decisión más relevante entre adquisición o desarrollo del SCADA. El análisis económico detallado debe ser realizado en las fases de ingeniería conceptual e ingeniería básica del proyecto.

El análisis económico se realiza en términos de una evaluación cuantitativa, tomando en consideración los recursos humanos, de infraestructura y de software. Las opciones son evaluadas de acuerdo a las siguientes variables: ahorro en inversión inicial, sostenibilidad, retorno de inversión, ahorro empresarial y valor agregado nacional. El ahorro en inversión inicial se refiere a los gastos realizados para comenzar el desarrollo del SCADA. La sostenibilidad está relacionada con los gastos en el tiempo, asociados al mantenimiento y soporte, formación de personal, extensibilidad, etc.

El retorno de inversión está relacionado con las ganancias en términos de personal formado, experticias adquiridas, reutilización de recursos, entre otras. El ahorro empresarial incluye los beneficios económicos que se obtienen de la in-

versión, tales como ahorros en licencias, en desarrollos de aplicaciones, etc. Finalmente, el valor agregado nacional se refiere a aquellas ganancias que obtiene la nación en términos de desarrollo endógeno, sustitución de importaciones y soberanía tecnológica.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis cuantitativo realizado para las alternativas de implantación, en el que se consideran los dominios y variables que se muestran en la tabla 10, la diferencia entre los dos valores de promedio ponderado resulta significativa (tabla 10). La alternativa de desarrollo toma un valor que es 1,5 veces mayor al de la alternativa de adquisición, por lo tanto, en términos económicos, se recomienda desarrollar el SCADA. Esta recomendación coincide con la realizada para el enfoque global de implantación del SCADA.

Tabla 10. Dominios, variables y promedios ponderados para las implicaciones económicas de las alternativas de implantación.

Dominio	Variables
Recurso humano, infraestructura, software	Ahorro en inversión inicial, sostenibilidad, retorno de inversión, ahorro empresarial, valor agregado nacional
Alternativa	Promedio ponderado
Adquisición	0,40
Desarrollo	0,63

Estudio de riesgos

Para llevar a cabo el estudio de riesgos, primeramente se identifican los riesgos y sus respectivos impactos para cada alternativa dentro de las áreas consideradas: Enfoque global de implantación, Arquitectura general de la aplicación, Metodologías para el desarrollo de software, Sistemas operativos, Lenguajes de programación, Componentes principales de la aplicación e Integración de aplicaciones e integración de los distintos componentes de la aplicación. Seguidamente, se realiza el análisis de riesgos para las alternativas seleccionadas en cada área. La tabla 11 muestra el nivel de riesgo para cada una de las alternativas recomendadas. En los casos en los cuales el nivel de riesgo esté cerca del límite del nivel riesgo (0.36), puede considerarse que no es una alternativa adecuada.

Plan de desarrollo

En la tabla 12 se presenta el plan de desarrollo elaborado considerando las características del SCADA y las alternativas seleccionadas, siguiendo las fases contempladas por la metodología EUP.

Tabla 11. Valores para el nivel de riesgo de las alternativas recomendadas.

Elemento técnico o metodológico	Recomendación	Nivel de riesgo
Enfoque global de implantación del SCADA	Desarrollo nacional	0,06
Arquitectura general del SCADA	Agentes Objetos distribuidos	0,08 0,06
Metodologías para el desarrollo del SCADA	EUP MoProSoft	0,08 0,09
Lenguajes de programación	C/C++, con Python	0,19
Comunicaciones	Basado en estándares abiertos	0,06
Monitoreo y supervisión de procesos	Basado en estándares abiertos	0,04
Interfaz gráfica	C++ combinado con las bibliotecas gráficas QT, GTK2	0,04
Gestión de datos	Manejador de base de datos Postgres	0,07
Integración de aplicaciones e integración de los distintos componentes del SCADA	Componentes (niveles inferiores) Servicios Web (niveles de superiores, gestión y planificación)	0,07 0,07

Arquitectura del SCADA

A partir de las recomendaciones se define una arquitectura de desarrollo de la plataforma de automatización industrial, tal como se muestra en la figura 1. En el lado derecho de esta figura se muestran los métodos y técnicas resultantes de las especificaciones durante la subfase de análisis y evaluación. Allí se describe la herramienta a utilizar para la implantación, de acuerdo al nivel operacional de la arquitectura de automatización. Algunos ejemplos, por nivel: para visualización se sugiere el uso de clientes ligeros WEB, a nivel de la red de procesos se sugiere el uso de Linux tiempo real y para la comunicación con dispositivos de campo se recomiendan protocolos basados en estándares abiertos.

Tabla 12. Plan de desarrollo del SCADA.

Fase de la metodología	Producto
Iniciación	-Descripción del SCADA: arquitectura, características -Funcionalidades del SCADA -Plan preliminar del desarrollo del SCADA
Elaboración	-Definición de los casos de uso del SCADA -Diseño de los componentes de la arquitectura del SCADA -Planificación de las actividades y recursos -Ingeniería de detalle del SCADA
Construcción	-Versión operativa del SCADA: manual del usuario, manual del analista, descripción de potencialidades y limitaciones -Plan de actividades para la fase de transición
Transición	-Evaluación por parte de los usuarios de la versión operativa actual. El resultado de la evaluación determinaría la necesidad o no de una versión mejorada del SCADA
Producción	-La versión del SCADA: manual del usuario, manual del analista, descripción de potencialidades y limitaciones, plan de soporte y mantenimiento

CONCLUSIONES

Se ha presentado un marco metodológico para el diseño de la arquitectura de desarrollo de una plataforma de automatización industrial resultante de un estudio de prospectiva en Automatización Industrial. Este marco metodológico establece criterios para la selección de cambios y la toma de decisiones fijados, por un lado, por la conexión con el interés y políticas de la nación, y, por otro lado, considerando aspectos de viabilidad, factibilidad y de rendimiento en el negocio. Además, esta propuesta involucra la participación creativa de los distintos actores del proceso productivo, y no supone el rango de posibles opciones orientadas a los cambios y soluciones deseadas como dadas, sino que da la oportunidad a esos actores, tanto en lo externo como en lo interno.

El marco metodológico considera diferentes escenarios para, dentro de lo probable y prioritario, y bajo las restricciones de contexto, determinar los paradigmas a seguir. De igual manera, considera los aspectos culturales y de organización para garantizar niveles de satisfacción en la implementación efectiva de la nueva plataforma tecnológica, bajo las restricciones del negocio y del estado.

Además, se ha presentado la validación de este marco metodológico mediante el caso de estudio de implantación de un sistema SCADA. Este marco metodológico permite llegar a recomendaciones específicas en diversas alternativas que se presentan para la implantación.

En el caso de estudio se recomienda como alternativa apropiada el desarrollo de un SCADA basado en el paradigma del software libre. Al respecto, es importante acotar que esta decisión garantizaría que modificaciones al SCADA (mejoras, extensiones, etc.) mantengan las mismas licencias libres (por ejemplo GPL).

Por último, es importante destacar que si bien esta propuesta se ha expuesto desde la perspectiva de Automatización Industrial, puede ser utilizada en cualquier análisis prospectivo de desarrollo y adecuación tecnológica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte financiero del CDCHT-ULA (Proyecto I-820-05-02-AA) y el Fonacit (Proyecto 2005000170). También reconocen el valioso soporte técnico de FUNDACITE-Mérida y de la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA).

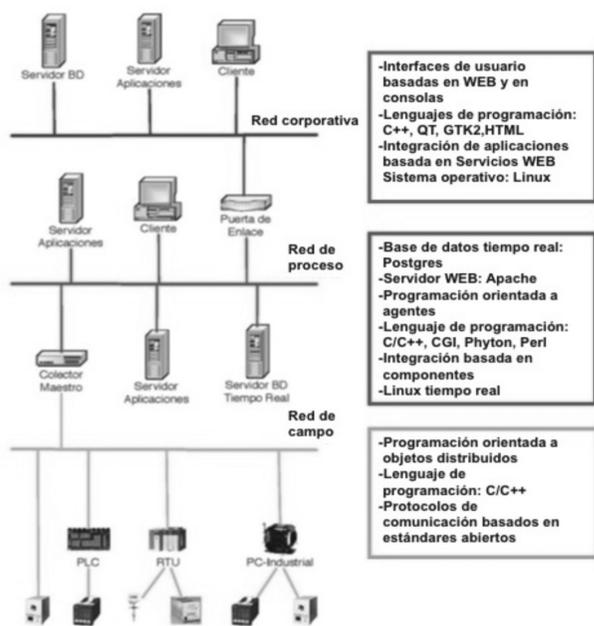


Figura 1. Arquitectura de desarrollo del SCADA.

REFERENCIAS

- AGUILAR, J., PEROZO, N., TERÁN, O. (2008). Proposal for a Multiagent Architecture for Self-Organizing Systems (MA-SOS), Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 5075, 434-439.
- BAS, E. (1999). Prospectiva, herramienta para la gestión estratégica del cambio. Ariel.
- BRAVO, V., AGUILAR, J., RIVAS, F., CERRADA, M. (2004). Diseño de un Medio de Gestión de Servicios para Sistemas Multiagentes, Actas de la XXX Conferencia Latinoamericana de Informática, 431-439, Arequipa, Perú.
- DE JOUVENEL, H. (2005). *Revista FUTURIBLES*. Recuperado en febrero de 2007 de <http://www.futuribles.fr>.
- ECHARRI, J. M. (2004). Instituto de Prospectiva Estratégica. Recuperado de <http://www.prospecti.es>.
- FRIEND, J. & HICKLING, A. (2002). Planificación bajo presión: El Enfoque de Escogencia Estratégica. IVEPLAN.
- FUNDACITE-ULA. (2006). Una metodología para desarrollo tecnológico en automatización industrial. Reporte Técnico, Fundacite-ULA, Mérida, Venezuela.
- FUTURO, EUROPA. (2000). Hacia un espacio europeo de investigación. Recuperado de <http://www.europafutura.org>.
- GODET, M. (1995). Prospectiva y Planificación Estratégica. SG Editores.
- GODET, M. (1999). De la Anticipación a la Acción: Manual de Prospectiva y Estrategia. Alfaomega.
- HIDROBO, F., RÍOS-BOLÍVAR, A., AGUILAR, J. & LEÓN, L. (2005). An architecture for industrial automation based on intelligent agents. WSEAS Transaction on Computers 4(12), 1808–1815.
- MEDINA, M. (2001). Futuria: prospectiva en acción. UNESCO.
- RÍOS-BOLÍVAR, A., AGUILAR, J., BRAVO, V., RIVAS, F., GONZÁLEZ, J., LEÓN, L., CALDERÓN, J., HERNÁNDEZ, D. & PÉREZ, N. (2005). Vanguardias tecnológicas en automatización industrial: Un estudio basado en dominios. Actas electrónicas del V Congreso de Automatización y Control (CAC'05). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.
- RÍOS, A., LEÓN, L., HIDROBO, F., TERÁN, O., NARCISO, F., HERNÁNDEZ, D. & ÁLVAREZ, J. (2005). Informe final: Documento de análisis y evaluación de tecnologías y metodologías. Reporte Técnico, Fundacite-ULA, Mérida, Venezuela.