

Estado actual de la Gestión de Procesos de Negocio basada en Computación en la Nube

Juan Pablo Ferreyra¹, Jorge Roa², Diego Cocconi¹, Marisa Perez¹, Claudia Verino¹, Pablo David Villareal²

¹ Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Francisco
Av. de la Universidad 501, 2400, San Francisco, Córdoba, Argentina
{jperreyra, dcocconi, mperez, cverino}@sanfrancisco.utn.edu.ar

² CIDISI, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe
Lavaisse 610, S3004EWB, Santa Fe, Argentina
{jroa, pvillarr}@frsf.utn.edu.ar

Resumen

La Gestión de Procesos de Negocio (Business Process Management – BPM) permite a las organizaciones optimizar sus procesos de negocio por medio de la aplicación de un ciclo de mejora continua. La colaboración cada vez más frecuente entre organizaciones para combinar fuerzas en la generación de productos y servicios en los escenarios tan dinámicos y cambiantes generan nuevas necesidades de flexibilidad y tiempos de respuesta. Con el avance de la computación en la nube, BPM puede beneficiarse del potencial de los recursos escalables disponibles en la nube. Esto es posible debido a que la adopción de servicios en la nube es cada vez mayor por parte de las pequeñas y medianas organizaciones. Sin embargo BPM en la nube plantea una serie de desafíos que deben ser abordados. En el presente trabajo se analiza el estado actual de conocimiento de BPM en la nube, y se identifican características esperables para sus implementaciones, tales como: asignación de recursos en la nube, ejecución descentralizada, colaboración entre procesos, privacidad de la información y optimización de costos.

1. Introducción

La Gestión de Procesos de Negocio (BPM, del inglés Business Process Management) ha ganado mucha

popularidad en las últimas dos décadas, ya que permite a las organizaciones administrar y optimizar sus procesos de negocio [1] a través de la aplicación de un ciclo de mejora continua, de manera que los procesos evolucionen y conduzcan a una optimización organizacional.

BPM permite supervisar cómo se lleva a cabo el trabajo en una organización para asegurar resultados consistentes y para aprovechar las oportunidades de mejora. Se trata de la gestión de cadenas enteras de eventos, actividades y decisiones que en última instancia agregan valor a la organización y sus clientes. Estas cadenas de eventos, actividades y decisiones se denominan procesos de negocio [2]. Un proceso de negocio consiste en un conjunto de actividades que se llevan a cabo de manera coordinada en un entorno organizacional [3]. Cada proceso de negocio contribuye a alcanzar uno o más objetivos de la organización [3].

Existen factores que actualmente dificultan la adopción de BPM. Por un lado, la implementación de un sistema de gestión de procesos de negocio (BPMS, del inglés Business Process Management System) en un entorno privado implica una inversión inicial que las organizaciones deben realizar tanto en componentes de hardware como en licencias de plataformas BPM, motores de base de datos, recursos calificados para el desarrollo, testeo y mantenimiento [4] [5] [1]. Por otro lado, las organizaciones necesitan colaborar cada vez más para competir en un mercado global, haciendo uso de

tecnologías para superar la barrera tradicional de distribución geográfica.

Internet y la computación en la nube no sólo facilitan el desarrollo de nuevos procesos de colaboración, sino que también permiten nuevas formas de prestación de servicios asociados a los productos [6]. Estos productos / servicios son normalmente realizados a través de procesos de negocio, que en muchos casos aprovechan la infraestructura de software existente de las organizaciones [3]. Hoy en día, la computación en la nube es el primer paso en la construcción de tales sistemas de información distribuidos geográficamente [7].

La *computación en la nube (Cloud Computing)* es un modelo de computación uniforme basado en acuerdos de servicios entre el proveedor y el receptor del servicio [8]. Proporciona economías de escala en una infraestructura compartida, ofreciendo espacio privado para cada aplicación dentro de un entorno compartido, y el suministro de ese espacio sucede de forma rápida, bajo demanda para lograr el nivel requerido y calidad de servicio [5].

La adopción de servicios en la nube es cada vez mayor por parte de las pequeñas y medianas organizaciones [9]. Esto se debe a factores como la facilidad de uso y comodidad, seguridad, reducción de costos, fiabilidad, intercambio y colaboración. Con el avance de la computación en la nube, los sistemas BPM pueden beneficiarse del potencial de los recursos escalables disponibles en la nube y utilizar solo los recursos que necesitan [10]. BPM basado en la nube ofrece a los usuarios la oportunidad de utilizar software en la nube para ejecutar procesos bajo la forma de pago-por-uso [4] [1]. Por lo tanto, la aplicación de tecnologías BPM en la nube puede ser muy beneficiosa especialmente para pequeñas y medianas organizaciones [1]. De esta manera las organizaciones pueden centrarse en la innovación continua, en lugar de en los detalles del desarrollo de servicios, alojamiento y mantenimiento, reduciendo así las barreras para la adopción de BPM [5].

En el presente trabajo se realiza una revisión del estado actual de conocimiento de propuestas de BPM basadas en computación en la nube, específicamente para las fases de ejecución y evaluación del ciclo de vida de BPM. Se identifican características esperables para la implementación de soluciones BPM en la nube, tales como: asignación de recursos, ejecución descentralizada, colaboración entre procesos, privacidad de la información y optimización de costos. En base a dichas características se analizan las diferentes propuestas y se concluye acerca de sus beneficios y limitaciones.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 presenta las principales características de BPM,

su ciclo de vida y una introducción a la computación en la nube, detallando sus modelos de servicio y los beneficios que ofrecen. La Sección 3 analiza cada una de las características esperables de BPM en la nube. La sección 4 analiza las propuestas y plantea criterios de clasificación para los trabajos. Finalmente, la Sección 5 expone conclusiones y trabajos futuros.

2. Antecedentes

2.1. Gestión de Procesos de Negocio (BPM)

BPM consiste en aplicar un ciclo de mejora continua en el que intervienen una serie de actividades. Este ciclo de mejora se conoce como *ciclo de vida de BPM*, en el que intervienen las fases de diseño y análisis, configuración, ejecución y evaluación (Figura 1) [3].

En la fase de *diseño y análisis* se identifican los procesos de negocio de la organización y se representan en modelos de procesos de negocio. Durante la fase de *configuración* se configuran y especifican aspectos necesarios para que los modelos de procesos puedan ser interpretados y orquestados por un BPMS. En la fase de *ejecución* el BPMS crea instancias de los modelos de procesos de negocio de la organización para que puedan ser ejecutados. Finalmente, en la fase de *evaluación* se analizan los registros de ejecución de las instancias y se realizan los ajustes necesarios a los modelos de procesos [3].

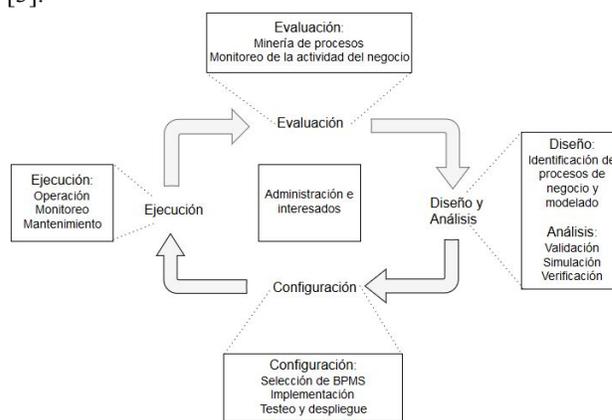


Fig. 1. Ciclo de vida de proceso de negocio [3].

2.2. Computación en la Nube

La computación en la nube es un modelo de cómputo que permite un acceso conveniente, bajo demanda a un conjunto de recursos informáticos configurables y compartidos (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, memoria, aplicaciones y servicios) que pueden ser provistos y liberados rápidamente con el mínimo esfuerzo de gestión [11] [12]. La computación en

la nube es un sistema que adopta una arquitectura orientada a servicios (SOA, del inglés Service Oriented Architecture) y se basa en capas de servicios [8].

La arquitectura en la nube consiste en tres capas abstractas: infraestructura, plataforma y aplicación [12]. Basado en esta arquitectura, la computación en la nube consiste en una serie de modelos de servicio, que se compone principalmente en tres niveles de servicios básicos (Figura 2):.

Infraestructura como Servicio (*IaaS*), es la capa de abstracción más baja de la arquitectura en la nube y se encarga de proveer recursos básicos como procesamiento, almacenamiento, redes y otros recursos informáticos fundamentales como servicios estandarizados a través de la red [12]. En este modelo, el usuario no administra la infraestructura de la nube pero tiene control sobre los sistemas operativos, almacenamiento y aplicaciones implementadas y posiblemente el control limitado de componentes de red seleccionados (por ejemplo, firewalls de host) [11]. La mayor ventaja de IaaS es que los usuarios pueden usar y liberar recursos computacionales en forma dinámica, pagando sólo por la capacidad que realmente se utiliza [5]. La virtualización se utiliza ampliamente en el modelo IaaS con el fin de integrar o descomponer los recursos físicos para satisfacer la demanda creciente o decreciente de recursos computacionales en la nube. La estrategia básica de la virtualización es la creación de máquinas virtuales independientes que están aisladas tanto del hardware como de otras máquinas virtuales [13]. La virtualización permite la abstracción y el aislamiento de las funcionalidades de nivel inferior y el hardware asociado [14]. De esta manera, se logra la portabilidad de las funciones de nivel superior y el intercambio y/o agregación de los recursos físicos [14].



Fig. 2 - Niveles de servicio en la nube [8]

El modelo de Plataforma como servicio (*PaaS*) proporciona un mayor nivel de abstracción ofreciendo a

los usuarios servicios para desarrollar, probar, implementar y mantener aplicaciones en un entorno de desarrollo integrado [12]. El usuario no administra la infraestructura de la nube de la red, servidores, sistemas operativos, o el almacenamiento, pero tiene control sobre las aplicaciones desplegadas y posiblemente ajustes de configuración para el entorno de aplicaciones [11].

El modelo de Software como Servicio (*SaaS*) provee aplicaciones empresariales o software específicos que se ofrecen como servicio donde el usuario generalmente accede por medio de un navegador Web [12]. El usuario tampoco controla la infraestructura de la nube ni las capacidades de aplicaciones individuales, solamente puede hacer ajustes de configuración específica de la aplicación de usuario [11]. Las aplicaciones que se ofrecen en el modelo SaaS a menudo emplean una arquitectura de sistema multi-usuario, es decir, diferentes grupos de clientes se organizan en un único entorno lógico en el modelo SaaS en la nube y consumen una o varias aplicaciones [13]. Esto permite lograr economías de escala y la optimización en términos de velocidad, seguridad, disponibilidad, recuperación ante desastres, y en cuanto al mantenimiento [13].

Según el tipo de implementación, la computación en la nube se puede clasificar también de la siguiente manera [11]: (1) Nube privada, (2) Nube comunitaria, (3) Nube pública y (4) Nube Híbrida. Una Nube privada es cuando la infraestructura de la nube es de uso exclusivo de una sola organización, pudiendo estar en las propias instalaciones o fuera [11]. La motivación para la configuración de una nube privada dentro de una organización tiene varios aspectos [13]. En primer lugar, para maximizar y optimizar la utilización de los recursos existentes. En segundo lugar, los problemas de seguridad, incluyendo la privacidad y la confianza de datos también hacen a la nube privada una opción para muchas organizaciones. En tercer lugar, el costo de transferencia de datos de la infraestructura local a una nube pública es todavía bastante considerable. En cuarto lugar, las organizaciones requieren siempre un control total sobre las actividades críticas. Por último, en ambientes académicos se basan a menudo en una nube privada con fines de investigación y enseñanza. Una Nube comunitaria, se refiere a cuando varias organizaciones construyen conjuntamente y comparten la misma infraestructura en la nube [11] [13], donde la misma está preparada para uso exclusivo de una comunidad, pudiendo ser de propiedad, administrada, y operada por una o más organizaciones que integran la comunidad, un tercero o alguna combinación de ello [11]. Una Nube pública se refiere a cuando la infraestructura está preparada para el uso del público en general; la propiedad, administración y operación puede ser de

alguna institución privada o pública, como una institución educativa u organismo de gobierno o una combinación de ello. Una Nube híbrida es cuando la infraestructura de la nube es una combinación de dos o más infraestructura distintas (privada, comunitaria, pública) [11] [13]. Las organizaciones utilizan el modelo de nube híbrida con el fin de optimizar sus recursos computacionales para poder aumentar sus competencias en términos de actividades fundamentales para la organización, ubicando las funciones de apoyo en la nube, mientras que el control de las actividades fundamentales se mantienen en las propias instalaciones a través de una nube privada [13].

3. Características de BPM en la nube

A partir de la literatura revisada y analizada, en este trabajo se identificaron las siguientes características deseables para una implementación de BPM en la nube: asignación de recursos en la nube, la ejecución descentralizada, la colaboración entre procesos, la privacidad de la información y la optimización de costos. A continuación se explica cada característica deseable y su importancia para una implementación BPM en un entorno de computación en la nube. Para cada característica se discuten los trabajos evaluados y un resumen del estado actual de soporte a dicha característica.

3.1. Asignación de recursos en la nube

El entorno de ejecución de procesos en la nube puede ser muy dinámico, lo que conduce a demandas cambiantes con respecto a los recursos informáticos necesarios para llevar a cabo la ejecución de flujos de trabajo [15]. La computación en la nube proporciona una base para la optimización de procesos de negocio ya que el tiempo de ejecución de las tareas de un proceso está influenciado directamente por la cantidad de recursos computacionales provistos [16]. La asignación oportuna de recursos permite a las organizaciones aprovechar los recursos de cómputo de la nube necesarios en el momento requerido de un modo pago-por-uso permitiendo satisfacer los niveles de calidad esperados y minimizando los costos.

Una solución sencilla a la asignación de recursos en la nube es brindar una provisión constante y fija de recursos de cómputo en la nube, que permita manejar picos de carga de trabajo en escenarios de procesos intensivos en cuanto a la utilización de recursos. Sin embargo, esta situación conduciría a una provisión excesiva de recursos de cómputo, con una capacidad ociosa que solo se utilizaría en determinados momentos, provocando un

fuerte impacto en los costos. Además, si a pesar de esta provisión constante, las capacidades de recursos de cómputo resultaran insuficientes para la ejecución de determinados flujos de trabajo, al ser fijas, inevitablemente conducirían a que dichos flujos de trabajo no puedan ser ejecutados, o bien, serían ejecutados por debajo de los niveles de calidad esperada. Con el fin de evitar la provisión excesiva y/o insuficiente de recursos, un BPMS debe ser capaz de ceder y liberar recursos de computación en tiempo de ejecución, es decir, mientras que los procesos se invocan y ejecutan [15].

En este sentido, en la arquitectura BPM propuesta en [4], las actividades que requieren capacidades de cómputo intensivo son distribuidas en la nube. La desventaja de la propuesta radica en que la determinación de las capacidades de cómputo se realiza de antemano, seguramente en tiempo de diseño. De esta manera, el motor de ejecución no sería capaz de adaptar la utilización de recursos en la nube durante la ejecución del proceso, por consiguiente la utilización de recursos de cómputo no sería la óptima. En la plataforma de ejecución de procesos elásticos propuesta en [19], la asignación de recursos (elasticidad) se realiza de manera reactiva, es decir que no ofrece la capacidad de predecir futuras necesidades de recursos computacionales para las instancias de los procesos, esto minimiza las ventajas de la elasticidad de la propuesta y por ende, el uso de recursos no resulta óptimo. Por su parte, en [15] mejora el desempeño de la propuesta realizada en [19], por medio de un razonador con la capacidad de predecir la futura utilización de recursos a partir del conocimiento de la ejecución del proceso, esto representa una ventaja dado que se optimiza la utilización de recursos de manera anticipada.

En el trabajo propuesto en [10] el controlador de recursos, basado en el conocimiento de los procesos, tiene la ventaja de predecir y controlar los recursos necesarios para las tareas subsiguientes de un proceso de negocio y de esta manera permite la escalabilidad en la ejecución de procesos en la nube. El meta modelo de la arquitectura propuesta en [18] plantea la ejecución de procesos elásticos considerando para la asignación de recursos el conocimiento de la ejecución del proceso de negocio, esto permite la utilización de recursos computacionales de una manera óptima.

En el modelo de procesos propuesto en [7], si bien la estimación de recursos de cómputo necesarios para la ejecución de procesos es llevada a cabo en tiempo de ejecución, dicha estimación se realiza para el proceso completo en vez de considerar la ejecución de cada tarea por separado, lo que puede suponer una estimación de menor precisión que si se realizara para cada actividad

del proceso. A diferencia de las demás propuestas, se utiliza para la estimación de recursos de cómputo, información relacionada a los volúmenes de carga de trabajo organizacional.

En la propuesta [1], la distribución de actividades según las necesidades de cómputo para su ejecución en la nube se debe hacer en tiempo de diseño, por lo tanto, no ofrece la capacidad de predecir dinámicamente la demanda de recursos. Esto representa una desventaja, debido a que las necesidades de cómputo pueden variar debido a la complejidad de los entornos de ejecución de procesos en la nube.

En la arquitectura propuesta en [16], mediante el conocimiento del estado de ejecución de los procesos y los recursos utilizados por las tareas precedentes, el BPMS en la nube planifica de manera anticipada la escalabilidad de recursos de cómputo. Esto representa una ventaja dado que la asignación de recursos se realiza durante la ejecución permitiendo una asignación óptima de recursos. La *asignación de recursos* en la nube es un tema clave para brindar a los procesos de negocio elasticidad, a la vez que permite garantizar la ejecución de procesos bajo los niveles de calidad esperada.

En resumen, existen dos estrategias generales de estimación de recursos a ser utilizados en la ejecución de procesos en la nube: estimación de recursos en tiempo de diseño y estimación de recursos en tiempo de ejecución. La primera tiene la desventaja que el motor de procesos no puede adaptarse de manera conveniente a los cambios en la utilización de recursos o bien conduce a mayores costos dado que se incrementan los tiempos ociosos de los recursos. La segunda tiene la ventaja que puede utilizar la información de los recursos que están siendo utilizados en la ejecución de los procesos y a partir de allí definir la asignación de recursos a nuevos procesos. No obstante, nuevos enfoques o propuestas serían bienvenidos para generar una distribución y asignación óptima de recursos en tiempo de ejecución basados en técnicas de inteligencia artificial, optimización y razonamiento basado en lógica.

3.2. Ejecución descentralizada

Los motores de ejecución de procesos de negocio son típicamente sistemas centralizados en los que se prevé de un motor de procesos para la ejecución y administración de todas las instancias de uno o más procesos de negocio [17]. Con el aumento de la escala de los sistemas, el número de variables en observación aumenta de manera exponencial. El motor de ejecución centralizado se convierte en un cuello de botella para el BPMS. Una arquitectura descentralizada permite que el motor de ejecución pueda desacoplar y distribuir funciones entre

un número de nodos (motores de ejecución) en el sistema [18]. En la arquitectura BPM propuesta en [4], se ofrece soporte para la ejecución descentralizada de procesos mediante un motor de ejecución del lado del cliente y otro motor de ejecución en la nube. La ventaja de la propuesta radica en que mediante la ejecución descentralizada, se aprovechan las capacidades de cómputo de la nube para la ejecución de actividades que requieren capacidades intensivas de cómputo liberando el motor de ejecución del lado del cliente.

En el motor de ejecución distribuido propuesto en [17], la ventaja se observa en que pueden existir más de dos motores de ejecución y cada motor cuenta con un componente que permite descubrir otros motores de ejecución candidatos en el sistema, y por medio de una función de costo para cada actividad, determina si existe una colocación más óptima de la actividad entre los motores de ejecución candidatos.

En la arquitectura propuesta en [18], se ofrece soporte para la ejecución descentralizada de procesos, donde cada motor de ejecución funciona en una máquina virtual, pudiendo existir en el sistema tantas máquinas virtuales como se requieran en base a las necesidades de carga de trabajo. Si bien no se brindan demasiados detalles, se propone la coordinación descentralizada en la ejecución de procesos para favorecer la elasticidad. El trabajo presentado en [1], mejora la propuesta en [4], mediante un entorno de trabajo (framework) de transformación que permite descomponer de forma automática un proceso de negocio en procesos de negocio colaborativos para su distribución ya sea del lado del cliente o en la nube.

En resumen, se puede identificar que en las propuestas de descentralización de procesos en la nube, los nodos del sistema distribuido pueden ser: el cliente y la nube, los recursos de cómputo físicos donde se alojan los componentes del BPMS, o los recursos lógicos como máquinas virtuales.

3.3. Colaboración entre procesos

En los escenarios de negocios de hoy en día, cada vez más organizaciones unen fuerzas para combinar productos y servicios para poder ofrecer al mercado productos de valor agregado. Estos productos son normalmente realizados por los procesos de negocio, que en muchos casos aprovechan de la infraestructura de software existente de las organizaciones [3]. Existen iniciativas en la industria que permiten establecer coreografías en ciertos dominios de una manera estandarizada, definiendo reglas para la colaboración que las organizaciones deben cumplir con el fin de colaborar entre sí [3]. La colaboración permite reducir costos a las organizaciones, debido a que el comportamiento de la

integración no necesita ser acordado por todos los participantes. Por lo tanto, las normas de toda la industria sirven como referencia para la colaboración deseada. De esta manera, las nuevas organizaciones pueden unirse más fácilmente al mercado, ya que conocen las reglas de ese dominio [3]. Estas reglas de colaboración son especificadas por coreografías de procesos. Si bien las normas de procesos de la coreografía del dominio específico son importantes en sus respectivas especialidades, carecen de la flexibilidad necesaria para definir nuevos tipos de colaboraciones negocio a negocio que son importantes para apoyar la cooperación entre las organizaciones en entornos dinámicos del mercado de hoy en día. Por lo tanto, se necesitan nuevos enfoques para la definición y puesta en práctica de coreografías de procesos [3] para que las organizaciones que requieren cooperar entre sí lo hagan en una plataforma BPM descentralizada. BPM en la nube constituye el entorno ideal para ofrecer a las organizaciones soporte para la integración de procesos colaborativos.

De los trabajos analizados, la arquitectura BPM propuesta en [4] ofrece soporte para la colaboración entre procesos de una única organización. La desventaja de la propuesta radica en que no ofrece soporte para la colaboración de procesos inter-organizacionales o en entornos B2B en la nube. En ese mismo sentido, la propuesta en [1], que se basan en la propuesta anterior no agregan ninguna ventaja respecto de esta característica. Por su parte, la propuesta en [17] ofrece soporte para la colaboración de procesos mediante un motor de ejecución de procesos distribuido. Si bien no se brindan detalles de la posibilidad de una colaboración B2B, al considerar la existencia de varios motores de ejecución se podría favorecer la participación de más de una organización en la colaboración. En la arquitectura propuesta en [18], al igual que la propuesta anterior no brinda detalles respecto del soporte dado a la colaboración de procesos de negocio, al considerar la existencia de varios motores de ejecución se podría favorecer la colaboración en entornos B2B.

En resumen, se puede identificar la carencia de propuestas concretas basadas en computación en la nube para dar soporte a la ejecución y evaluación de procesos inter-organizacionales o en entornos B2B.

3.4. Privacidad de la información

La preocupación sobre la privacidad y el control sobre sus datos es un obstáculo en el camino hacia la computación en la nube para muchas organizaciones [20]. Al ubicar los datos en la nube, las organizaciones pierden el control directo; su mal uso puede tener un impacto significativo en la privacidad, seguridad y

propiedad intelectual. Otro elemento a considerar es la pérdida de la gobernabilidad, esto sucede cuando un proveedor de servicio en la nube se encuentra en un país diferente al país en que el usuario hace uso de los servicios. Los datos que son propiedad del usuario no se encuentran bajo el control del país proveedor de la nube. En cuanto al cumplimiento de normativa asociada a los datos, el país donde se alojan los datos puede requerir el cumplimiento de cierta normativa que recae sobre la organización que posee los datos. Finalmente, la falta de transparencia es un tema a considerar, debido a que los proveedores de servicios en la nube no siempre revelan los detalles de cómo funcionan sus servicios, por ejemplo, como puede ser la utilización de servicios de terceros, la ubicación geográfica de los datos, la información sobre los datos de los usuarios, las medidas de seguridad, todas estas cuestiones generalmente son desconocidas por el usuario.

En el trabajo propuesto en [21] se trata de determinar cuál es el modelo de servicio en la nube más conveniente para la implementación en función de la privacidad de la información. Para el modelo PaaS, se aborda la privacidad de la información asociada a la representación de modelos de procesos en BPEL y de la información asociada a la ejecución de procesos que el motor de ejecución BPEL almacena en un DBMS. Se propone cifrado y firma de los archivos BPEL y de la información almacenada en el DBMS. El principal inconveniente de la propuesta de cifrado de información en el DBMS es la limitación en la ejecución de consultas, debido a que el motor de base de datos no es capaz de descifrar la información, generando además un impacto en la performance. Para la implementación del motor de ejecución BPEL en el modelo SaaS, se discuten posibles estrategias de distribución y aislamiento de la información en base de datos para una arquitectura multi-usuario. Un enfoque es la separación lógica de los datos, que son almacenados en una única base de datos para todos los usuarios. Otro enfoque es la utilización de bases de datos separadas para cada usuario, esta última opción permite un mayor nivel de aislamiento de la información ya que se realiza a nivel físico. En la propuesta se concluye que el modelo IaaS es el más conveniente para garantizar privacidad de la información debido a que se tiene un control total y no intervienen terceros en la gestión de la infraestructura.

En la propuesta en [4] se presenta una estrategia para distribuir la información involucrada en la ejecución de procesos de negocio según la sensibilidad, permitiendo mantener del lado del usuario la información que requiere privacidad y la información no sensible en la nube. El intercambio de información entre el motor de ejecución del cliente y el motor de ejecución en la nube se realiza a

través de un túnel encriptado por lo que se ofrece confianza en la transmisión de información.

En resumen, pocos trabajos abordan este tema importante que se convierte en un obstáculo para que las organizaciones se muevan a entornos de BPM basado en la nube. De los trabajos observados, se puede destacar que un modelo de servicio IaaS posibilita ofrecer mayores capacidades en cuanto a privacidad. Otro modelo conservador de privacidad observado es el de almacenar datos sensibles en las aplicaciones clientes y datos no sensibles en la nube. El inconveniente de este modelo es que no siempre es aplicable separar entre datos sensibles y no sensibles, dado que todos pueden ser importantes de preservar resguardo en una organización.

3.5. Optimización de costos

La optimización de costos es un factor a considerar en la implementación de BPM en la nube. Como ya se dijo, una de las características de la computación en la nube es la elasticidad rápida [11], que consiste en la posibilidad de proveer y liberar recursos computacionales de manera flexible. Los costos representan un factor importante para las organizaciones en cuanto a la adopción de la computación en la nube, en relación a costos de migración y costo de pago-por-uso de la infraestructura [22].

En la arquitectura propuesta en [8] y la propuesta en [5], la reducción de costos se aborda desde un punto de vista de oportunidad de inversión, donde se considera la decisión de las organizaciones de implementar BPM en la nube comparado con una implementación en una infraestructura propia. Bajo esta óptica, se consideran los costos de la inversión necesaria en hardware, licencias de un BMPS, recursos humanos especializados y mantenimiento de la infraestructura para una implementación propia. No se considera, en ambos casos, la variabilidad de costos por utilización de servicios en la nube relacionado a las cargas de trabajo de los procesos de negocio.

En la propuesta en [23], la reducción de costos se aborda desde un punto de vista de la reutilización de proceso, permitiendo a las organizaciones adquirir modelos de procesos de negocio existentes de manera que el conocimiento de los procesos de negocio que no son clave en la organización (procesos de apoyo) se puedan incorporar fácilmente, incorporando así buenas prácticas.

Los trabajos en [4], [17] y [1], la optimización de costos se plantea en base a la distribución de actividades de procesos de un motor de ejecución a otro motor de ejecución, por medio de la optimización de funciones de costos ligadas al costo de la distribución, al costo del

tiempo de ejecución y costo del servicio. En el trabajo presentado en [19] la optimización de costos se plantea por medio de la asignación de recursos (elasticidad), la cual se realiza de manera reactiva a las necesidades de cómputo requeridas durante la ejecución de un proceso. En las propuestas en [15], [10], [18] y [16], para la optimización de costos en la nube se basan en el conocimiento de los procesos, tanto del estado de ejecución de la actividad actual como de las precedentes y las futuras, tienen la capacidad de predecir y controlar los recursos necesarios para las tareas subsiguientes de un proceso de negocio. Estas propuestas presentan la ventaja de prever la utilización de recursos de cómputo en la nube de y por consiguiente permite optimizar los costos relacionados a la modalidad pago-por-uso. Por su parte, en [7] se plantea la reducción de costos mediante la predicción de futuras tendencias en el consumo de los servicios ofrecidos y los recursos necesarios relacionados a los volúmenes de carga de trabajo organizacional.

En resumen, en los trabajos analizados, la optimización de costos se presenta de tres maneras: relacionada a la oportunidad de inversión, relacionada a la reutilización de procesos de negocio y finalmente relacionada a la utilización de recursos en la nube. Las dos primeras formas de optimización de costos no se relacionan exclusivamente al uso de los recursos en la nube. La optimización de costos relacionada a la utilización de recursos en la nube está muy ligada a la asignación de recursos, por lo que los nuevos enfoques o propuestas que mejoren la asignación de recursos generarán beneficios en términos de costos para las organizaciones.

4. Análisis de trabajos de BPM en la nube

Los trabajos analizados se corresponden con las fases de ejecución y evaluación del ciclo de vida de BPM. Es decir, estos trabajos proponen herramientas y sistemas para ejecutar y/o evaluar procesos de negocio, las cuales se ejecutan siguiendo algún modelo de servicio basado en la Nube. Como resultado del análisis, se propone primero clasificarlos según el ciclo de vida de BPM, luego según el modelo de servicio en la nube en la que actúan. Posteriormente, se discuten características esperadas de BPM en la nube y se analiza de qué manera estas características están soportadas por los trabajos analizados. Finalmente, se discute la relación entre las características esperadas de BPM en la nube y los modelos de servicio en la nube.

En la Tabla 1 se observa que de los trabajos analizados, el 50% interviene en la fase de ejecución del ciclo de vida de BPM, mientras que el 50% restante lo hace en la fase de evaluación. Cabe destacar que el 38%

de los trabajos analizados actúan tanto en la fase de ejecución como en la fase de evaluación del ciclo de vida BPM.

Tabla 1. Trabajos analizados según el ciclo de vida BPM.

Ref.	Fase del ciclo de vida BPM	
	Ejecución	Evaluación
Anstett y otros, (2009)	x	
Han y otros, (2010)	x	
Fang y otros, (2010)	x	x
Muthusamy y Jacobsen, (2010)	x	x
Jiang y otros, (2011)	x	x
Schulte y otros, (2013)	x	x
Hoensch y otros, (2013)		x
Euting y otros, (2014)		x
Schulte y otros, (2014)	x	x
Ciofica y otros, (2014)		x
Duipmans y otros, (2014)	x	
Janiesch y otros, (2014)		x
Sprovieri y Vogler, (2015)	x	

Teniendo en cuenta el modelo de servicio en la nube en el que proponen soluciones y según se observa en la Tabla 2, de los trabajos analizados que aportan a BPM en la nube hay una mayor adopción del modelo de servicio IaaS, lo cual representa un 44%. En segundo lugar se observa un 31% de los trabajos que adoptan el modelo de servicio PaaS. Finalmente, en menor medida, se observa que el 25% de los trabajos adoptan el modelo de servicio SaaS.

Se infiere que la elección de IaaS por encima de los demás modelos de servicio se debe a que, al ser la capa de menor nivel de abstracción, permite un mayor control de los recursos en la nube. Cabe destacar también que existen dos propuestas que se ofrecen en más de un modelo de servicio, una de ellas actúa en todos los modelos de servicio de la nube.

La Tabla 3 resume el nivel de soporte dado por cada trabajo analizado a las características deseables de BPM en la nube, a continuación se detalla cada referencia: [+]: significa que el trabajo ofrece soporte a la característica; [+/-]: ofrece soporte parcial a la característica; [-]: no

ofrece soporte a la característica; [N/D]: información no disponible.

Tabla 2. Trabajos analizados según el modelo de servicio en la nube.

Ref.	Modelo de servicio		
	IaaS	PaaS	SaaS
Anstett y otros, (2009)	x		
Han y otros, (2010)		x	
Fang y otros, (2010)	x	x	x
Muthusamy y Jacobsen, (2010)			x
Jiang y otros, (2011)		x	x
Schulte y otros, (2013)	x		
Hoensch y otros, (2013)		x	
Euting y otros, (2014)	x		
Schulte y otros, (2014)	x		
Ciofica y otros, (2014)	x		
Duipmans y otros, (2014)		x	
Janiesch y otros, (2014)	x		
Sprovieri y Vogler, (2015)			x

Las características esperadas de BPM en la nube tienen diferentes grados de adopción por las propuestas analizadas. En primer lugar, la optimización de costos es la que mayor adopción tiene, un 85% de los trabajos analizados trata la optimización de costos. En segundo lugar la asignación de recursos en la nube es tratada en el 62% de las propuestas. Tanto la ejecución descentralizada como la colaboración entre procesos son abordadas por aproximadamente un 31% de los trabajos. Finalmente, en menor medida, solo el 8% trata la privacidad de la información en la nube.

A continuación se realiza un análisis tendiente a determinar si existe una relación entre las características deseables de una implementación BPM en un entorno de computación en la nube y los modelos de servicios que ofrece la computación en la nube. La Tabla 4 muestra, de cada trabajo analizado, cuál característica deseable de BPM en la nube soporta y en qué modelo de servicio es soportado. Finalmente, en la Tabla 5 se muestra un resumen que indica en qué modelo de servicio se pueden presentar las características mencionadas.

Del total de los trabajos analizados que ofrecen soporte para la asignación de recursos en la nube, según se muestra en la Tabla 4, el 75% lo hace sobre el modelo

de servicio IaaS y el 25% restante sobre el modelo PaaS, estos valores se observan en la Figura 3. La adopción en gran medida del modelo IaaS se debe a que es la capa de abstracción de nivel más bajo en la infraestructura en la nube, lo que permite administrar en forma dinámica la asignación de recursos, pudiendo por ejemplo, iniciar o detener una máquina virtual en función de las necesidades de recursos.

Tabla 3. Análisis de las características esperadas de BPM en la nube.

Ref.	Asignación de recursos en la nube	Ejecución descentralizada	Colaboración entre procesos	Privacidad de la información	Optimización de costos
Anstett y otros, (2009)	N/D	N/D	N/D	+	N/D
Han y otros, (2010)	+/-	+	+/-	+	+/-
Fang y otros, (2010)	N/D	-	-	N/D	+/-
Muthusam y Jacobsen, (2010)	N/D	+	+/-	N/D	+/-
Jiang y otros, (2011)	N/D	-	-	N/D	+/-
Schulte y otros, (2013)	+/-	-	-	N/D	+/-
Hoenisch y otros, (2013)	+	-	-	N/D	+
Euting y otros, (2014)	+	-	-	N/D	+
Schulte y otros, (2014)	+	+	+/-	N/D	+
Ciovia y otros, (2014)	+/-	N/D	N/D	N/D	+/-
Duipmans y otros, (2014)	+/-	+	+/-	+	N/D
Janiesch y otros, (2014)	+/-	-	-	N/D	+/-
Sprovieri y Vogler, (2015)	N/D	-	-	N/D	+/-

La ejecución descentralizada, como se muestra en la Tabla 5, no es una característica propia de alguno de los modelos de servicio en la nube. De los trabajos analizados que ofrecen soporte para la ejecución descentralizada de procesos, según se deduce de la Tabla 4, el 50% lo hace en el modelo PaaS, el 25% en IaaS y el 25% restante en SaaS. Esta característica puede ser implementada en cualquiera de los modelos de servicio ya que es una capacidad que ofrecen los motores de ejecución.

En cuanto a la colaboración entre procesos, de los trabajos analizados, el 50% lo hace en el modelo PaaS, el 25% en IaaS y el 25% restante en SaaS, según se observa en la Figura 3. La colaboración entre procesos puede ser implementada en cualquiera de los modelos de servicio en la nube. Existe una relación entre la ejecución

descentralizada y la colaboración entre procesos, ya que la primera característica propicia la segunda.

Table 4. Modelo de servicio en el que se ofrece soporte en cada trabajo a características deseables de BPM en la nube.

Ref.	Características deseables de BPM en la nube				
	Asignación de recursos	Ejecución descentralizada	Colaboración entre Procesos	Privacidad de la información	Optimización de costos
Anstett y otros, (2009)				IaaS	
Han y otros, (2010)	PaaS	PaaS	PaaS		PaaS
Fang y otros, (2010)					IaaS, PaaS, SaaS
Muthusam y Jacobsen, (2010)		SaaS	SaaS		SaaS
Jiang y otros, (2011)					PaaS, SaaS
Schulte y otros, (2013)	IaaS				IaaS
Hoenisch y otros, (2013)	PaaS				PaaS
Euting y otros, (2014)	IaaS				IaaS
Schulte y otros, (2014)	IaaS	IaaS	IaaS		IaaS
Ciovia y otros, (2014)	IaaS				IaaS
Duipmans y otros, (2014)	PaaS	PaaS	PaaS		
Janiesch y otros, (2014)	IaaS				IaaS
Sprovieri y Vogler, (2015)					SaaS

De los trabajos analizados que se muestra en la Tabla 4, existen dos propuestas [4] [1] que dan soporte a la privacidad de la información, pero no emplean ningún modelo de servicio en la nube para tal efecto. Solo uno de ellos [21] aborda la privacidad de la información ligada al uso de alguno de los modelos de servicio en la nube, resultando el modelo IaaS el más conveniente debido al control total que se obtiene sobre los recursos en la nube.

Tabla 5. Relación entre características deseables de BPM en la nube y los modelos de servicio.

Característica de BPM en la nube	IaaS	PaaS	SaaS
Asignación de recursos en la nube	x	x	
Ejecución descentralizada	x	x	x
Colaboración entre procesos	x	x	x
Privacidad de la información	x		
Optimización de costos	x	x	x

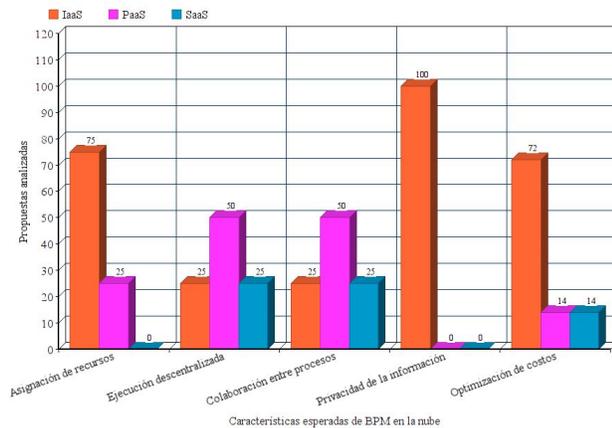


Fig. 3 Relación entre características esperadas de BPM en la nube y los modelos de servicio en la nube.

Como se dijo anteriormente, la optimización de costos no está ligada exclusivamente al uso de los modelos de servicios en la nube. Según se deduce de la Tabla 4, de los trabajos que soportan la optimización de costos ligada a la utilización de recursos en la nube, el 72% lo hace en IaaS, el 14% en PaaS y el 14% restante en SaaS, estos valores se resumen en la Figura 3. Se observa claramente una mayor adopción en el modelo IaaS, además, es necesario mencionar que en dicho modelo se obtienen los mayores aportes en este sentido. Cabe destacar que existe una relación directa entre las características asignación de recursos en la nube y la optimización de costos, si la asignación de recursos en la nube es óptima, los costos por el uso de recursos también lo serán.

5. Conclusiones

Con la finalidad de determinar el estado actual de conocimiento de BPM en la nube, en el presente trabajo se han analizado investigaciones recientes que tratan aspectos tecnológicos que actualmente se plantean como desafíos. En la revisión bibliográfica se han contemplado investigaciones que aportan a BPM en la nube y que se ubican dentro de las fases de ejecución y evaluación del ciclo de vida de BPM. Esta decisión se debe a que en estas dos fases se presentan los desafíos tecnológicos que mayor impacto tienen en el éxito de BPM en la nube.

En los últimos años han habido avances importantes en investigaciones que aportan a BPM en la nube, sin embargo los trabajos analizados demuestran que todavía deben seguir evolucionando para que BPM en la nube sea ampliamente adoptado por las organizaciones. Temas como la asignación de recursos en la nube, ejecución descentralizada, colaboración entre procesos, privacidad de la información y optimización de costos son algunos

de los desafíos que requieren mayores esfuerzos de investigación.

La asignación de recursos en la nube es un tema clave para brindar a los procesos de negocio agilidad, eficiencia, a la vez que permite garantizar la calidad del servicio. La asignación oportuna de recursos permite a las organizaciones aprovechar los recursos de cómputo de la nube necesarios en el momento requerido de un modo pago-por-uso, permitiendo minimizar los costos. Si bien algunas investigaciones enfocadas en este tema han permitido optimizar la ejecución de instancias de procesos, los requerimientos de cómputo de los procesos pueden cambiar dinámicamente en un entorno de ejecución en la nube. Es necesario conducir futuros esfuerzos para incorporar capacidades de aprendizaje, como agentes inteligentes para la ejecución y monitoreo de procesos elásticos.

Por otra parte, los escenarios de colaboración a los que las organizaciones actualmente se enfrentan son cada vez más frecuentes y generan procesos de negocio de diferentes organizaciones, que requieren cooperar entre sí en una plataforma BPM descentralizada. La nube es el entorno ideal para la ejecución descentralizada de procesos de negocio. No obstante, no se ha encontrado trabajos que aborden conjuntamente colaboración y descentralización, por lo que se requieren investigaciones que propicien la integración de procesos colaborativos en una arquitectura BPM descentralizada.

La preocupación sobre la privacidad de la información es un obstáculo en el camino hacia la computación en la nube para muchas organizaciones, la pérdida de control y de gobernabilidad de la información y la falta de transparencia de los proveedores de servicios en la nube acerca del funcionamiento interno de los servicios son algunos de los aspectos ligados a la privacidad de la información. De los trabajos analizados pocos abordan este tema importante. Es necesario encarar esfuerzos para obtener soluciones que brinden confianza a los problemas ligados a la privacidad de la información.

La optimización de costos es un tema que las organizaciones consideran permanentemente. BPM en la nube ofrece en este sentido oportunidades de mejora. En los trabajos analizados esta característica se presenta de tres maneras, por un lado relacionada a la oportunidad de inversión, relacionada a la reutilización de procesos de negocio y finalmente relacionada a la utilización de recursos de computación en la nube. Para las dos primeras alternativas, la optimización de costos no está ligada exclusivamente al uso de los modelos de servicios en la nube, sin embargo la optimización de costos ligada a la reutilización de procesos es un tema que requiere de mayor esfuerzo debido a los beneficios que puede aportar en las organizaciones, por medio de agentes inteligentes

y el uso de repositorios de procesos. Finalmente la optimización de costos ligada a la utilización de recursos, está fuertemente relacionada a la asignación de recursos en la nube, por lo que los aportes generados en la asignación de recursos producirán también beneficios en los costos.

6. Referencias

[1] Duipmans EF, Pires LF, Da Silva Santos LO. A Transformation-Based Approach to Business Process Management in the Cloud. *Journal of Grid Computing*. 2014; 12(2): 191-219.

[2] Dumas M, La Rosa M, Mendling J, Reijers HA. *Fundamentals of Business Process Management*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer. 2013.

[3] Weske M. *Business Process Management. Concepts, Languages, Architectures*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer. 2007.

[4] Han Y, Sun J, Wang G, Li H. A Cloud-Based BPM Architecture with User-End Distribution of Non-Compute-Intensive Activities and Sensitive Data. *Journal Of Computer Science And Technology*. 2010; 25(6): 1157–1167.

[5] Jiang J, Le J, Wang Y, Sun J, He F. The BPM Architecture Based on Cloud Computing. *KAM Fourth International Symposium*. 2011; pp. 196-198.

[6] Camarinha-Matos L, Afsarmanesh H, Oliveira AI, Ferrada F. Cloud-Based Collaborative Business Services Provision. *Enterprise Information Systems* Springer. 2014; vol. 190: pp. 366-384.

[7] Ciovetica L, Cristescu MP, Fratila LA. Cloud Based Business Processes Orchestration. *21st International Economic Conference*. 2014; pp. 592-596.

[8] Fang Z, Yin C. BPM Architecture Design Based on Cloud Computing. *KAM Fourth International Symposium, IEEE*. 2010; pp. 196-198.

[9] Gupta P, Seetharamana A, Raj JR. The usage and adoption of cloud computing by small and medium businesses. *International Journal of Information Management, Elsevier Ltd*. 2013; 33(5), pp. 861-874.

[10] Euting S, Janiesch C, Fischer R, Tai S, Weber I. Scalable Business Process Execution in the Cloud. *Cloud Engineering (IC2E), IEEE*. 2014; pp. 175-184.

[11] Mell P, Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing. 2011. Available from: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>.

[12] (Pallis, 2010) Pallis G. Cloud Computing: The New Frontier of Internet Computing. *IEEE Internet Computing*. 2010; 14 (5), pp. 70–73.

[13] Dillon T, Wu C, Chang E. Cloud Computing: Issues and Challenges, 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. 2010; pp. 27 – 33.

[14] Vouk M. Cloud Computing – Issues, Research and Implementations, *Information Technology Interfaces, ITI 30th International Conference on*. 2008; pp. 31 – 40.

[15] Hoenisch P, Schulte S, Dusdart S, Venugopal S. Self-Adaptive Resource Allocation for Elastic Process Execution, *IEEE Sixth International CLOUD*. 2013; pp. 220–227.

[16] Janiesch C, Weber I, Kuhlenkamp J, Menzel M. Optimizing the Performance of Automated Business Processes Executed on Virtualized Infrastructure. *47th Hawaii International Conference on System Sciences*. 2014; pp. 3818–3826.

[17] Muthusamy V, Jacobsen H. *BPM in Cloud Architectures: Business Process Management with SLAs and Events*. Springer. Berlin Heidelberg. 2010; pp. 5-10.

[18] Schulte S, Janiesch C, Venugopal S, Weber I, Hoenisch P. Elastic Business Process Management: State of the art and open challenges for BPM in the cloud. *Elsevier*. 2014; pp. 36–50.

[19] Schulte S, Hoenisch P, Venugopal S, Dusdart S. Introducing the Vienna Platform for Elastic Processes. *PAASC 2012 at 10th ICSOC*. Springer. 2013; pp. 179–190.

[20] Shaikh R, Sasikumar M. Security Issues in Cloud Computing: A survey. *International Journal of Computer Applications*. 2012; 44(19).

[21] (Anstett y otros, 2009) Anstett T, Leymann F, Mietzner R, Strauch S. Towards BPEL in the Cloud: Exploiting Different Delivery Models for the Execution of Business Processes. *Congress on Services IEEE*. 2009; pp. 670-677.

[22] Hosseini A, Sommerville I., Sriram I. Research Challenges for Enterprise Cloud Computing. 1st ACM Symposium on Cloud Computing, SOCC. 2010.

[23] Sprovieri D, Vogler S. Combining Business Processes and Cloud Services: A Marketplace for Processlets. Springer International Publishing. 2015; pp. 247-259.