

Reduciendo la complejidad gráfica de indicadores de procesos de negocio usando abstracción^{*}

Bedilia Estrada-Torres, Adela del-Río-Ortega, Manuel Resinas,
Antonio Ruiz-Cortés

Depto. de Lenguajes y Sistemas, Universidad de Sevilla. España.

Resumen La representación de indicadores de rendimiento sobre los procesos de negocio facilita la comprensión y definición en el cálculo y obtención de datos. Al incluir varios indicadores sobre un proceso puede ser necesario incorporar una gran cantidad de elementos de medición, generando un exceso de información y dificultando el análisis visual de los datos. En este artículo se presenta una ampliación de la notación gráfica *Visual PPINOT*, que permite modelar gráficamente indicadores de rendimiento sobre los procesos de negocio. A la notación se incorporan elementos de abstracción para facilitar la representación de patrones recurrentes en indicadores y para mejorar la legibilidad del diagrama del proceso. La implementación se valida utilizando el Modelo de Referencia SCOR. Se propone una clasificación de sus métricas y éstas se utilizan como referencia para estudiar las diferencias del modelado con la notación original en comparación con la notación ampliada.

1. Introducción

El modelado de los procesos de negocio que se llevan a cabo en una organización permite obtener una visión general de los flujos de trabajo y de algunos de los recursos involucrados en las actividades que los conforman. Comúnmente los procesos son expresados utilizando una notación gráfica, como por ejemplo BPMN (Business Process Model and Notation) [1] con el objetivo de facilitar la comunicación entre todas las partes interesadas [2].

Para poder realizar una evaluación y comparación cuantitativa de los procesos, se utilizan los Indicadores de Rendimiento de Procesos, *PPI* por sus siglas en inglés. Un *PPI* es una medida del rendimiento de un proceso previamente definido para la organización, que proporciona información para la toma de decisiones y para la identificación de posibles áreas de mejora [2].

Visual PPINOT [3] es una notación utilizada para representar gráficamente, de forma clara, precisa y en un único diagrama, los indicadores de rendimiento

^{*} Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Comisión Europea (FEDER), el Gobierno español en el marco CICYT proyecto TAPAS (TIN2012-32273); y proyecto THEOS (TIC-5906) and COPAS (P12-TIC-1867), financiado por la Junta de Andalucía.

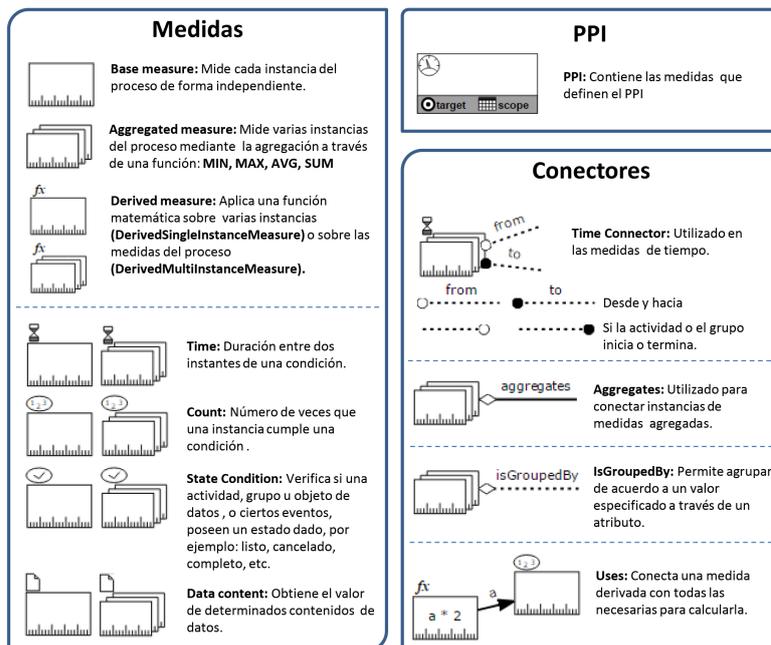


Figura 1. Notación gráfica de *Visual PPINOT* para el diseño de indicadores.

sobre un proceso de negocio, estableciendo una relación directa entre el indicador y los elementos del proceso. Esta notación, cuyos principales componentes se muestran en la figura 1, se basa en el *Metamodelo PPINOT* [4] y extiende BPMN, respetando sus reglas de diseño.

En la figura 2 se representa un proceso de negocio y dos indicadores definidos con *Visual PPINOT*, necesitando 8 elementos de medida para ambos. Considerando que lo habitual es que para un proceso se definan entre 3 y 6 indicadores, como sucede en [2], la cantidad de elementos en el diagrama puede incrementarse mucho dependiendo de la complejidad del modelo representado, dificultando la comprensión del diagrama y distrayendo de elementos y puntos importantes para un análisis de datos posterior.

Este problema puede abordarse de dos formas: La primera, separando por un lado el diagrama del proceso y por otro las medidas necesarias para su cálculo, incluyendo en éste último únicamente los elementos del proceso necesarios para definir la métrica, en lugar de incluir el proceso completo. El inconveniente es que con esta propuesta se pierde visualmente la relación entre las métricas y el proceso. La segunda forma, por la que se ha optado, consiste en emplear técnicas como la modularización y las jerarquías, que sugieren utilizar la menor cantidad de elementos sin alterar el sentido del diagrama. En [5] esto se define como el principio de *Gestión de la Complejidad*.

En este artículo se propone gestionar la complejidad en el modelado de indicadores a través de la abstracción y demostrar que es posible hacerlo utilizando *Visual PPINOT*. Para ello es necesario incorporar elementos de diseño que permitan una clara representación de los patrones recurrentes identificados en un

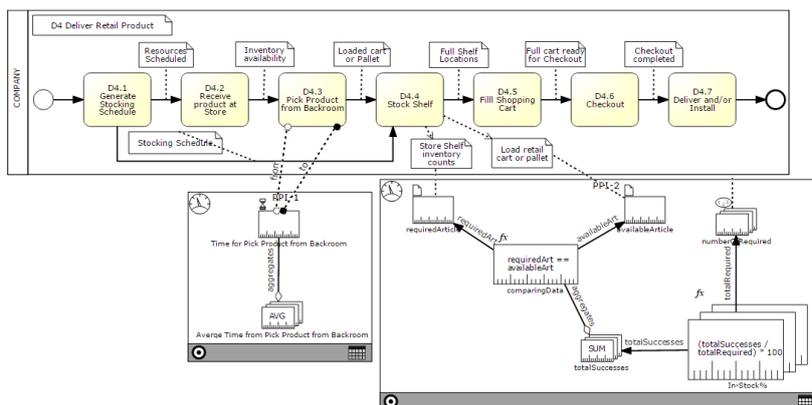


Figura 2. Ejemplo de definición de indicadores utilizando la notación *Visual PPINOT*.

diagrama de proceso. Para evaluar la notación y las modificaciones propuestas se ha utilizado el *Modelo SCOR* (Supply Chain Operation References).

Las siguientes secciones de este artículo se organizan de la siguiente forma. La sección 2 presenta el modelo SCOR, sus componentes y la clasificación de sus métricas. En la sección 3 se introduce la ampliación de la notación para incorporar las medidas compuestas. En la sección 4 se comentan los resultados obtenidos. En la sección 5 se hace referencia a algunos trabajos relacionados con la definición de indicadores y el modelo SCOR, y por último, en la sección 6 se listan las conclusiones obtenidas de este estudio.

2. Modelo SCOR - Supply Chain Operation Reference

El modelo SCOR (Supply Chain Operation Reference) [2] fue desarrollado con el objetivo de describir las actividades de negocio asociadas a todas las fases necesarias para satisfacer la demanda de los clientes. Los componentes involucrados en la definición del modelo son:

- **Procesos:** Permiten identificar un conjunto de actividades únicas dentro de la cadena de suministro. SCOR posee tres niveles de procesos: Los niveles 1 y 2 estandarizan la descripción de la cadena de suministro, mientras que los de nivel 3 representan la implementación de la arquitectura y describen los pasos para ejecutar los procesos del nivel 2. El nivel 4, o *nivel de implementación*, no se define en SCOR porque depende de las tareas propias de cada organización y que son necesarias para llevar a cabo el proceso de nivel 3. Se identifican 5 procesos de nivel 1 (*Plan, Source, Make, Deliver y Return*), 26 procesos de nivel 2, y 185 procesos de nivel 3. La figura 2 muestra el proceso de nivel 2 *D4-Deliver Retail Product*, que forma parte del proceso *Deliver* de nivel 1. Cada tarea incluida en el diagrama representa un proceso de nivel 3 (*Generate Stocking and Schedule, Receive product at store, etc.*)
- **Rendimiento:** Componente formado por dos elementos:
 - Los *atributos de rendimiento* son un conjunto de métricas utilizadas para expresar la dirección estratégica de una empresa: *Confiabilidad, Responsabilidad, Agilidad, Costos y Bienes*.

– Una *métrica* es un estándar para la medición del rendimiento de un proceso. Las de nivel 1 son los indicadores estratégicos, las de nivel 2 son un diagnóstico para las de nivel 1 y permiten identificar las causas de una diferencia de rendimiento entre ellas; y las de nivel 3 son un diagnóstico de las de nivel 2.

Por ejemplo, *Perfect Order Fulfillment* es una métrica de nivel 1 que calcula el porcentaje de pedidos enviados de forma completa y correcta. *Documentation Accuracy* es una métrica de nivel 2 que determina el porcentaje de pedidos que son enviados con la correcta y completa documentación. Es necesario conocer el valor de esta métrica para poder calcular la de nivel 1 mencionada anteriormente. Por otro lado, *Shipping Documentation Accuracy* y *Payment Documentation Accuracy* son métricas de nivel 3 que, entre otras, son necesarias para determinar el valor de la métrica de nivel 2.

- **Buenas prácticas:** Son una forma de configurar o definir un proceso o un conjunto de procesos dentro de la cadena de suministro. Por ejemplo, SCOR define la buena práctica *Optimización de empaque* que consiste en no desperdiciar ningún tipo de material utilizado en el empaquetado de mercancías. Las buenas prácticas, aunque no se representan en el modelo del proceso de negocio, son de gran importancia para las actividades de la organización.

Se ha seleccionado el modelo SCOR porque (i) es ampliamente utilizado en empresas y organizaciones de diferentes sectores como marco de referencia para la definición de sus procesos de negocio [6–8], (ii) sus procesos pueden ser utilizados en empresas de diferentes tamaños, y (iii) porque sus métricas pueden ser definidas con varios niveles jerárquicos, lo que facilita la representación del concepto de abstracción.

SCOR propone un total de 357 métricas de diferentes niveles. Al estudiar la definición y el funcionamiento de cada una, se identificó que algunas de ellas tienen comportamientos similares, tanto por el valor devuelto como resultado de su evaluación, como por los procedimientos necesarios para calcularlas. Por ello, con el objetivo de facilitar su modelado, se analizaron las métricas proporcionadas por SCOR para hacer una clasificación de acuerdo al tipo de dato calculado y a la función que representa. El resultado fue un total de 25 tipos de un total de 357 métricas de todos los niveles. Estos son mostrados en la Tabla 1. Cada *tipo de medida* representa un conjunto de medidas requeridas para definir una métrica en uno o varios procesos. Las medidas *PPINOT* requeridas para definir métricas de un mismo tipo realizan los mismos cálculos, por lo que no es necesario modelarlas todas para conocer su comportamiento, sino que basta con tomar una muestra de cada tipo para saber si es posible modelarla.

3. Notación gráfica de las medidas compuestas

En secciones anteriores se mencionó que es necesario ampliar la notación de *Visual PPINOT* para permitir abstraer elementos del diagrama, volviéndolo sucinto y facilitando la comprensión de un proceso de negocio y sus PPIs.

Tabla 1. Clasificación de métricas SCOR

| No. | Tipo | Descripción genérica | Total |
|-----------------------------------|----------------|---|------------|
| 1 | %(Succ) | Porcentaje de éxito de una acción | 5 |
| 2 | %(Fulf) | Porcentaje de cumplimiento de una acción | 14 |
| 3 | %(Error) | Porcentaje de error | 1 |
| 4 | %(Perf) | Porcentaje de rendimiento alcanzado | 6 |
| 5 | %(Time) | Porcentaje de tiempo | 1 |
| 6 | AVG(Time) | Promedio de tiempo | 123 |
| 7 | AVG(Time-Days) | Promedio de tiempo expresado en días | 3 |
| 8 | Bool | Valor booleano | 10 |
| 9 | Cost | Costo de realizar un proceso o de generar datos | 5 |
| 10 | Fx(Money) | Función aplicada expresada en dinero | 1 |
| 11 | Fx(Ret) | Función para calcular un valor de retorno | 2 |
| 12 | Fx(Time-Days) | Función para calcular tiempo, expresado en días | 7 |
| 13 | Money | Cantidad de dinero | 2 |
| 14 | NUM(Days) | Número de días requeridos para completar un proceso | 6 |
| 15 | NUM(Return) | Número de items retornados por un proceso | 1 |
| 16 | QUANT | Una cantidad general | 5 |
| 17 | RATIO(Cost) | Ratio de costo | 3 |
| 18 | RATIO(incons) | Ratio de inconsistencia | 1 |
| 19 | RATIO(in/out) | Ratio de entradas y salidas | 1 |
| 20 | RATIO(Money) | Ratio de dinero | 6 |
| 21 | SUM(Cost) | Suma de costos | 139 |
| 22 | SUM(Inco) | Suma de ingresos | 1 |
| 23 | SUM(Money) | Suma de dinero | 7 |
| 24 | SUM(Time) | Suma de tiempo | 1 |
| 25 | Time | Tiempo requerido para completar un proceso | 6 |
| Total de tipos de métricas | | | 357 |

Como se indica en [5] el ser humano tiene límites cognitivos relacionados con la cantidad de elementos que pueden ser comprendidos al ser plasmados en un diagrama, sobre todo para aquellos usuarios no relacionados directamente con el tema tratado.

Para disminuir la complejidad en el diagrama se han incorporado medidas compuestas que permiten aplicar la abstracción en la definición de los indicadores. Es decir, el indicador mantiene el sentido y relación con los elementos del proceso, tal como se hacía utilizando la notación original, pero en este caso no es necesario presentar todos los elementos de cálculo en el diagrama principal.

Al utilizar la notación ampliada de *Visual PPINOT* se permite implementar niveles jerárquicos de representación para mantener el sentido en la definición de la métrica. El primer nivel es un módulo definido con la *Medida compuesta colapsada*, el segundo es la representación explícita de las medidas necesarias para el cálculo de la métrica a través de la *Medida compuesta expandida*.

En la figura 3 se muestran gráficamente las medidas compuestas y los conectores añadidos a la notación. En las siguientes subsecciones se describen brevemente las características de cada uno.

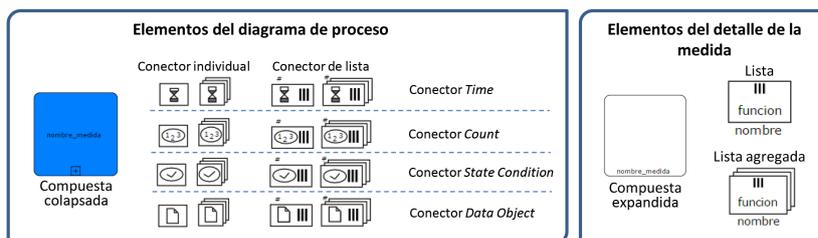


Figura 3. Descripción de medidas compuestas

3.1. Elementos del diagrama del proceso

- **Medida compuesta colapsada:** Representa una abstracción de un conjunto de medidas que no son explícitamente incorporadas en el diagrama. Se relaciona con otras medidas a través del *Conector individual* y el *Conector de lista*. La propiedad *Nombre* permite identificar de forma única al indicador definido.
- **Conector individual:** Es utilizado para enlazar una *Medida compuesta colapsada* con una medida, proceso, objeto de datos o tarea requerida para calcularla. Existen cuatro tipos de conectores: *Conector Time*, *Count*, *State Condition* y *Data Object*, uno para cada tipo de elemento o medida utilizado. Para identificarlo se utiliza la propiedad *Nombre*. Es posible enlazar tanto medidas de *baseMeasure* como *aggregatedMeasure*.
- **Conector de lista:** Utilizado para enlazar una *Medida compuesta colapsada* con un conjunto de medidas *baseMeasure* o *aggregateMeasure* que conforman una lista. Para algunos indicadores no es posible saber por anticipado cuántas medidas de un tipo son necesarias para definirlo, ya que esta definición puede ser reutilizada por varios procesos y cada uno puede requerir una cantidad de medidas diferente. Por ejemplo, el indicador *Suma de tiempo promedio de las tareas de un proceso* puede calcularse con los tiempos de 2, 3 o más tareas, dependiendo del proceso sobre el que se defina. En el diagrama principal se debe colocar un *Conector de lista* enlazado a tantas medidas como sean necesarias. Esto permite definir el indicador una sola vez para todos los procesos que lo requieran.

Al igual que para el *Conector individual*, existen cuatro tipos de conectores de lista, uno para cada tipo de medida permitida. Gráficamente se diferencia del *Conector individual* en que junto al tipo de medida se encuentran tres barras verticales que representan el componente lista. Para cada conector es posible especificar dos propiedades: el *Nombre*, que corresponde al nombre que identificará la lista; y la *Cantidad de elementos* que la conforman (Este valor es opcional, ya que en caso de no especificarse se entenderá que la lista no tiene límite de elementos).

3.2. Elementos del detalle de una medida compuesta

- **Medida compuesta expandida:** Es utilizada para representar de forma explícita todas las medidas y conectores necesarios para definir un indicador, y que se representan en el diagrama del proceso a través de una *Medida*

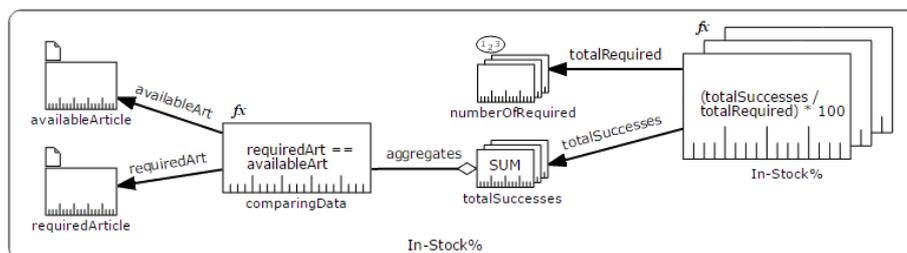


Figura 4. Definición del indicador $\%In\text{-}Stock$ en una *Medida compuesta expandida*

compuesta colapsada. Se modela de forma independiente al diagrama principal del proceso, permitiendo reutilizar el detalle del indicador, ya que en ocasiones los indicadores se definen de forma similar pero son utilizados por procesos diferentes. La propiedad *Nombre* especifica el indicador que se define. Los elementos utilizados dentro de una *Medida compuesta expandida* no pueden ser conectados con elementos que se utilicen fuera de ella. Por cada *Conector individual* utilizado en la medida colapsada, deberá añadirse dentro de la medida expandida una medida del mismo tipo que el del conector utilizado, y por cada *Conector de lista* se añade una medida *Lista*. En la figura 4 se define un indicador utilizando la *Medida compuesta colapsada*.

- Lista:** Utilizada para aplicar una función matemática a un conjunto de medidas del mismo tipo. Solamente debe ser utilizada dentro de una *Medida compuesta expandida* en la definición de un indicador. Cuenta con dos propiedades: el *Nombre* asignado a la lista y la *Función* aplicada a todas las medidas que conforman la lista. Una *Lista* permite definir el indicador una sola vez, independientemente del proceso que la utilice y de la cantidad de medidas que la conformen. Si la lista representa un conjunto de medidas *baseMeasure* se utiliza una medida *Lista*, si representa un conjunto de medidas *aggregatedMeasure* se debe utilizar la medida *Lista agregada*.

4. Evaluación

El objetivo buscado es demostrar que es posible modelar procesos y métricas de SCOR utilizando *Visual PPINOT*, manteniendo la limpieza en la presentación del modelo y disminuyendo la cantidad de elementos en el diagrama. Con la clasificación de métricas presentada en la tabla 1 se modelaron métricas de cada uno de los tipos, primero utilizando la notación original, y luego modelando las mismas métricas con la notación ampliada de *Visual PPINOT*. El proceso consiste en (i) seleccionar las métricas a modelar, (ii) modelar los procesos y las métricas seleccionadas utilizando la versión de *Visual PPINOT* publicada en [3], (iii) modelar los mismos procesos y métricas haciendo uso de las nuevas medidas incorporadas a la notación, y (iv) concluir si el nuevo modelado es sucinto al eliminar los elementos superfluos del diagrama principal y que a pesar de eso es capaz de mantener el significado del indicador.

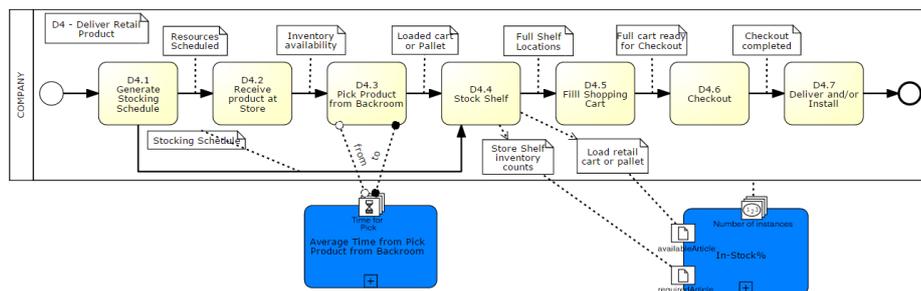


Figura 5. Proceso *D4-Deliver Retail Product* del modelo SCOR y 2 de sus métricas definidas con notación ampliada de *Visual PPINOT*.

Se tomó como herramienta de referencia el editor gráfico de *PPINOT Tool Suite (Visual PPINOT Editor)* [9]. Éste permite modelar los procesos de negocio con notación BPMN y los indicadores con *Visual PPINOT*.

Para todas las métricas modeladas con la notación original fue posible generar el modelado alternativo. Usando la notación ampliada se disminuye la saturación visual en el modelo, la cantidad de elementos en el diagrama y se mantiene el significado en la definición de los indicadores.

En la figura 2 se muestra el proceso SCOR *D4-Deliver Retail Product* y dos métricas de nivel 3: *In-Stock%* y *Average Time from Pick Product from Backroom*, modeladas en *Visual PPINOT*. Para definir las es necesario utilizar seis y dos medidas respectivamente. El mismo proceso se muestra en la figura 5 haciendo uso de la notación ampliada, donde solamente se requiere una medida para cada una de las métricas, con lo que se tiene mayor legibilidad en el diagrama principal. En un diagrama adicional se incluye la definición de los indicadores, como el mostrado en la figura 4.

En la mayoría de los casos donde se utilice la representación con medidas compuestas, la cantidad de medidas utilizadas en el diagrama principal se reduce a una por cada métrica o indicador, ya que todas las medidas necesarias para su cálculo pueden ser agrupadas dentro de una *Medida compuesta colapsada*. Los datos de entrada para el cálculo de esa métrica son identificados a través de los *Conectores* de medida. El uso de una lista en la definición de un indicador propicia que la cantidad de medidas sea mayor que uno para ese indicador, ya que es necesario especificar todas las medidas que conforman la lista.

5. Trabajo relacionado

Los PPIs han sido comúnmente definidos fuera del diagrama de los modelos de procesos de negocio que miden [3]. Una de las formas más utilizadas es la especificación de un listado de atributos o características descritas en lenguaje natural, ya que son fáciles de definir [10], pero pueden generar ambigüedad. Algunos autores prefieren hacer uso de la notación formal [11, 12], requiriendo mayor esfuerzo y cuidado por no ser una forma intuitiva de representación, pero es más rigurosa y evita la ambigüedad. [3], [13, 14] dirigen sus esfuerzos a la representación gráfica. En [14] se realiza un estudio empírico del software de

modelado propuesto en comparación con una definición textural. Sin embargo, ninguna de estas notaciones ofrecen mecanismos para abordar la complejidad.

Es difícil encontrar documentación que haga referencia a la definición de métricas SCOR. En [15, 16], por ejemplo, solamente se indican las métricas utilizadas y los resultados obtenidos. En [7] la definición se hace utilizando lenguaje natural con tablas y diagramas genéricos que muestran la relación de los indicadores con los procesos. En [17] los procesos y métricas son definidos con código XMI, traducidos a código BPEL e implementados con *Eclipse BPEL Visual Designer*. En ninguno de los artículos consultados se hace referencia a la abstracción en el modelado gráfico de indicadores utilizando SCOR.

6. Conclusiones

En este artículo se expone la necesidad de incorporar elementos de abstracción en la representación gráfica de PPIs y se describe la ampliación de la notación *Visual PPINOT* que satisface esa necesidad.

Con la ampliación de la notación se permite definir PPIs utilizando niveles de representación. En el primer nivel el usuario puede centrarse únicamente en el concepto del indicador definido y en los elementos necesarios para su cálculo. El segundo nivel, el detalle de las medidas utilizadas, es un diagrama independiente al diagrama del proceso. Con esto se introducen los conceptos de modularización y jerarquía sugeridos en [5] y se facilita la comprensión visual del usuario, evitando saturarlo con información que en un primer momento puede ser irrelevante. En esta versión solamente es posible modelar un único nivel jerárquico de las *Medidas compuestas colapsadas*, pero se está estudiando cómo extender la notación para poder incorporar más niveles.

La clasificación de las métricas de SCOR y la notación ampliada de *Visual PPINOT* permiten una representación más eficiente de los patrones recurrentes identificados en la definición de indicadores. Además, al comparar los modelos de la notación original y los de la notación ampliada, queda evidenciado que con esta última es posible hacer una representación sucinta sin alterar el sentido y las condiciones del cálculo del indicador. Esta aproximación también puede utilizarse con un enfoque de definición de PPIs orientado a plantillas [3].

Con lo anterior, además de comprobar que *Visual PPINOT* es capaz de representar la información haciendo uso de la abstracción, también puede decirse que es una notación capaz de adaptarse a modelos internacionales relacionados con la definición de métricas en procesos de negocio.

Por el momento, no se considera la posibilidad traducir automáticamente los modelos existentes en *Visual PPINOT* a otros utilizando la notación ampliada, ni tampoco la detección automática de patrones recurrentes. El modelado debe partir de cero y cualquier clasificación debe hacerse de forma manual.

Como trabajo futuro se propone realizar una validación experimental que respalde la validación de factibilidad realizada, proporcionar los mecanismos concretos necesarios para la implementación por plantillas y facilitar la implementación de niveles jerárquicos aplicados a las medidas compuestas.

Referencias

1. Object Management Group, Inc.: Business Process Model and Notation - BPMN Versión 2.0. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0> (2011) Accedido el: 26-09-2014.
2. Supply Chain Council: Supply Chain Operations Reference Model SCOR - Version 8.0. Supply Chain Council, Inc. (2006)
3. del Río-Ortega, A.: On the definition and analysis of Process Performance Indicators. Phd dissertation, University of Seville (2012)
4. del Río-Ortega, A., Resinas, M., Cabanillas, C., Ruiz-Cortés, A.: On the definition and design-time analysis of process performance indicators. *Information Systems* **38**(4) (2013) 470 – 490
5. Moody, D.: The «Physics» of Notations: Toward a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering. *Software Engineering, IEEE Transactions on* **35**(6) (2009) 756–779
6. Liu, P., Huang, S., Mokasdar, A., Zhou, H., Hou, L.: The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: Supply Chain Operation Reference (SCOR) model based analysis. *Production Planning & Control* **25**(13-14) (2014) 1169–1181 WOS:000343288400009.
7. García, F., Marchetta, M., Camargo, M., Morel, L., Forradellas, R.: A framework for measuring logistics performance in the wine industry. *International Journal of Production Economics* **135**(1) (2012) 284 – 298
8. Lestari, F., Ismail, K., Abdul Hamid, A., Sutopo, W.: Designing supply chain analysis tool using SCOR model (Case study in palm oil refinery). In: 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). (2013) 919–923
9. ISA Group: PPINOT-Process Performance Indicators Notation and Tools. <http://www.isa.us.es/ppinot/> (2015)
10. Popova, V., Sharpanskykh, A.: Modeling organizational performance indicators. *Information Systems* **35**(4) (2010) 505 – 527
11. Popova, V., Sharpanskykh, A.: Formal modelling of organisational goals based on performance indicators. *Data and Knowledge Engineering* **70**(4) (2011) 335 – 364
12. Popova, V., Treur, J.: A specification language for organisational performance indicators. *Applied Intelligence* **27**(3) (2007) 291–301
13. Strecker, S., Frank, U., Heise, D., Kattenstroth, H.: MetricM: A modeling method in support of the reflective design and use of performance measurement systems. *Information Systems and e-Business Management* **10**(2) (2012) 241–276
14. Mora, B., García, F., Ruiz, F., Piattini, M.: Graphical versus textual software measurement modelling: an empirical study. *Software Quality Journal* **19**(1) (2010) 201–233
15. Xia, L.: Supply Chain Modelling and Improvement in Telecom Industry: A Case Study. In: 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics. (2006) 1159–1164
16. Seifbarghy, M., Akbari, M., Sajadieh, M.: Analyzing the supply chain using SCOR model in a steel producing company. In: 2010 40th International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE). (2010) 1–6
17. Cheng, J., Law, K., Bjornsson, H., Jones, A., Sriram, R.: Modeling and monitoring of construction supply chains. *Advanced Engineering Informatics* **24**(4) (2010) 435 – 455