

UNA APROXIMACIÓN A LA APLICACIÓN DE MÉTODOS MATEMÁTICOS EN EL CONTROL DE GESTIÓN POR INDICADORES¹

GUSTAVO ILLESCAS - MARÍA ISABEL SANCHEZ SEGURA² - DANIEL XODO³
Facultad de Ciencias Exactas-Grupo de Investigación en Informática de Gestión del Instituto de Investigación en Tecnología Informática Avanzada (INTIA)-Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA)-Tandil (7000), ARGENTINA
illescass@exa.unicen.edu.ar - misanche@inf.uc3m.es - dxodo@exa.unicen.edu.ar

Fecha Recepción: Diciembre 2012 - Fecha Aceptación: Marzo 2014

RESUMEN

Durante todo proceso de creación de indicadores existe la tendencia a invertir la mayor parte del tiempo en la búsqueda de: qué necesitamos medir, qué queremos medir o bien qué nos están pidiendo que midamos. Una parte de este tiempo se emplea en conocer la disponibilidad de los datos que nos llevan a construir esos indicadores y otra menor en ver la necesidad de desarrollar nuevas bases de datos sobre aquellos no disponibles.

Por muchos años se han generado innumerables casos de éxito que muestran la aplicación de metodologías para la gestión por indicadores. El esfuerzo que ha significado cumplir con esta instancia ha relegado la realización de un análisis más profundo (basados en indicadores) que ofrezca mayor información sobre lo que está ocurriendo en una organización.

En este trabajo los autores discuten sobre la necesidad de aplicar métodos matemáticos, presentan una aproximación a cuáles deberían ser dichos métodos y cómo usarlos en las distintas instancias de la definición de indicadores (formalizados como variables), de tal manera que podamos explorar hacia dónde nos lleva el hecho de que esas variables tomen un determinado valor, hacia dónde se dirigen, y hacia dónde nos dirigimos si así continúan.

PALABRAS CLAVE: Indicadores – Gestión – Tableros de Control – Cuadro de Mando Integral – Gestión del Conocimiento – Organizaciones Inteligentes.

¹ Anteproyecto de tesis doctoral (Profesor Gustavo Illescas. INTIA-UNCPBA) en Matemática Computacional e Industrial. UNCPBA.

² Profesora del *Software Engineering Lab de la Universidad Carlos III – Madrid, España*. Directora de la tesis doctoral.

³ Profesor del INTIA-UNCPBA. Tutor de la tesis doctoral.

ABSTRACT

Throughout any indicator creating process, there is a tendency to devote most time to the search of what we need to measure, what we want to measure, or else, what we are being asked to measure. Part of this time is devoted to identifying the availability of the data needed to build those indicators, and a minor part of that time in analyzing the need for developing new data bases of the unavailable data.

Countless successful cases showing the application of technologies for indicator management have been developed for many years. The focus on these efforts has pushed into the background a deeper indicator-based analysis offering more information about what is going on within an organization.

In the present work, we discuss the need for applying mathematical methods, present an approach as to which those methods should be, and how such methods should be used at the different stages of the indicator defining process (formalized as variables) in such a way that we can explore what direction would take us the fact that the variables take certain values, where the variables lead to, and where we lead to if they so continue.

KEY WORDS: Indicators – Management – Scoreboard - Balanced Scorecard - Knowledge Management – Intelligent Organizations

1. INTRODUCCIÓN

Los indicadores son descripciones compactas de observaciones, resumidas en números o palabras. Dichas observaciones pueden referirse a un tema concreto pero también pueden expresar observaciones resumidas sobre un cierto número de cuestiones similares (Olve et al. 2000).

Ellos pueden ser específicos de una operación, síntesis de un proceso o resumen de un conjunto de procesos, ya que logran crecer down y across. Ayudan en el control de Gestión, ya que su evolución permite la comparación de estados actuales con anteriores y estados actuales con pronosticados (Tripodi & Illescas, 2007).

Como ejemplo citaremos un caso de estudio referido a la determinación de la morosidad de una cartera de clientes; para abordar el caso se propuso una serie de indicadores de gestión entre los que se encuentran:

- Cantidad total de morosos: aquellos clientes que posean cuotas impagas
- Cantidad de clientes incobrables: quienes adeuden cuotas por más de una determinada cantidad de tiempo
- Porcentaje de clientes incobrables:

(Cantidad de cliente incobrables / Cantidad total de morosos)*100

Frecuentemente se utiliza la denominación de “Indicadores de gestión” como una clasificación entre tantas, referido a cuáles son los indicadores que se consideran más importantes o necesarios para la gestión de una organización. En este trabajo nos referimos al concepto de “Gestión por indicadores” que se encuentra relacionado a cómo administramos nuestra organización mediante el uso de indicadores de cualquier categoría que se trate, de manera tal que eviten caer en un modelo estático de simple observación de cómo ocurren las cosas.

1.1 Metodologías utilizadas en la gestión por indicadores

Durante todo proceso de creación de indicadores existe la tendencia a invertir la mayor parte del tiempo en la búsqueda de: qué necesitamos medir, qué queremos medir o bien qué nos están pidiendo que midamos. Una parte de este tiempo se emplea en conocer la disponibilidad de los datos que nos llevan a construir esos indicadores y otra menor en ver la necesidad de desarrollar nuevas bases de datos (BD) sobre aquellos no disponibles.

En medio de este proceso son utilizadas las metodologías de análisis, de clasificación de la información y, en general, muchas de las enmarcadas en la denominada “gestión del conocimiento”, empleadas para ordenar el proyecto en curso, y también para dar a conocer los resultados obtenidos. Dentro de las más difundidas están el Tablero de Control (TC) y fundamentalmente el Cuadro de Mando Integral (CMI o BSC por sus siglas en inglés, *Balanced Scorecard Collaborative*) que se han transformado en herramientas informáticas de uso frecuente a partir de un mayor acceso a las nuevas tecnologías.

En la FIGURA 1 podemos observar las cuatro perspectivas propuestas por Kaplan y Norton (1996) para el desarrollo del CMI. Si bien éstas se han estado utilizando por más de dos décadas en el ámbito empresarial, durante estos últimos años han tomado un nuevo auge a partir del uso por parte de las entidades gubernamentales y en distintas actividades exitosas.

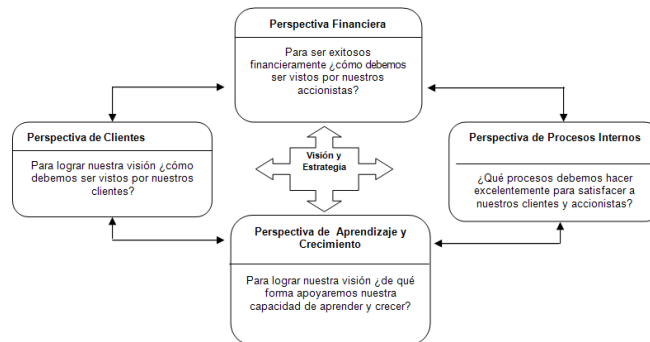


FIGURA 1. Las cuatro perspectivas de Kaplan y Norton.
 Fuente: Kaplan y Norton, 1996. *The balanced scorecard: translating strategy into action.*

La experiencia obtenida por las grandes corporaciones, con debidas muestras de éxito, han motivado a funcionarios gubernamentales a incorporar su práctica, como así también al uso de las tecnologías de la información y comunicaciones (TICs) para sustentar sus afirmaciones, conclusiones y otros elementos de análisis.

A pesar del esfuerzo que se realiza para llegar a este punto, hay que señalar que, si bien resulta una escalada importante (salir de los supuestos para llegar a la instancia de administrar o gobernar con conocimiento basado en los datos) la realidad nos demuestra que aún estamos a mitad del camino en la gestión por indicadores.

1.2 Objetivos

El estudio que nos proponemos realizar es más ambicioso que la forma en que se trabaja actualmente considerando que la mayor preocupación radica en definir y actualizar indicadores; lo que pretendemos abordar en este trabajo es dar un paso adelante en la mejora del proceso de definición y actualización de indicadores. Esta mejora consistirá en el análisis y selección predictivo de indicadores a través del uso de métodos de simulación que nos muestren a priori, hacia dónde nos lleva el hecho de que un indicador determinado tome un valor concreto, hacia dónde se dirige, y hacia dónde nos dirigimos si así continúa.

Nuestro interés está centrado en señalar y profundizar aspectos de las metodologías mencionadas que consideramos transcendentales para avanzar en la correcta aplicación de las mismas. Desde nuestro ámbito de investigación y profesional nos concierne abarcar soluciones que propongan la aplicación de métodos matemáticos en aquellas cuestiones que, por el desarrollo mismo de estas herramientas, se han visto relegadas o desatendidas.

1.3 Plan a desarrollar

Primeramente será necesario definir una BD abstracta capaz de almacenar definiciones de indicadores independientemente del contexto a tratar tales que, una vez desarrollado el experimento, éste pueda ser repetido en un escenario diferente. En la Sección 2 se amplía sobre esta propuesta.

A partir de allí se deberán seleccionar entonces una serie de casos a probar, evaluando la conveniencia de aplicar uno o más métodos según la disponibilidad de datos históricos, que permitan llegar a conclusiones apropiadas.

De la experiencia obtenida hasta el momento, se puede concluir que también será necesario establecer un mecanismo para determinar una primera aproximación de la definición de los estados en que se encontraba un indicador en distintos momentos, comúnmente denominados registros de históricos en la

BD. Esta aproximación permitirá aplicar herramientas sobre los estados como poder determinar la probabilidad de un indicador de mejorar su estado en el futuro.

Por último se procederá a proponer la aplicación de métodos matemáticos para ver su adaptación a la problemática planteada.

1.4 Descripción del material a investigar

El material a investigar está relacionado tanto con los métodos seleccionados en la propuesta (ver Sección 2.3) como así también con las herramientas de *software* elegidas para su aplicación. Por otra parte se analizarán resultados obtenidos por otros investigadores en publicaciones recientes como se podrá observar en las referencias bibliográficas.

Para abordar el análisis e implementación de las metodologías de CMI y TC con los métodos mencionados, trabajaremos con herramientas disponibles en versiones libres como por ejemplo el *software* matemático Scilab y el *software* estadístico InfoStat que proveen funcionalidades específicas, las cuales serán aplicadas sobre los indicadores elegidos.

InfoStat es un software para análisis estadístico de aplicación general. Cubre tanto las necesidades elementales para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado (Sitio web Infostat, 2013). Posee una versión estudiantil libre.

Por su parte, Scilab (Sitio web Scilab, 2013) es un *software* libre y *open source* para computación numérica que provee un poderoso ambiente que incluye cientos de funciones matemáticas para operaciones y análisis de datos, optimizaciones, estadística, modelación y simulación.

1.5 Forma de analizar los resultados

La información suministrada tanto por el valor del indicador como por el resto de las propiedades no es suficiente como para establecer una apropiada toma de decisiones. Su definición primaria y estática es sólo el punto de partida del trabajo con indicadores.

Métodos como los pronósticos ayudan a anticiparnos a los posibles desvíos y podrían prever resultados no deseados sobre el valor de un indicador y también sobre los estados posibles.

La definición dinámica de los rangos de criticidad de un indicador (o parámetros de referencia) es un aporte fundamental para la toma de decisiones en entornos cambiantes y competitivos.

En la actualidad la práctica nos muestra que estos rangos una vez definidos, no son actualizados periódicamente ni se someten a evaluaciones más allá de la experiencia del decisor, dándole un carácter estático y subjetivo.

En el momento de la definición de un indicador (período de análisis, rangos de criticidad, forma de comparación gráfica) no se conocen sus estados anteriores. Los métodos que propondremos aplicar nos permitirán sugerir esto como una primera propuesta de generación de resultados sin conocimiento previo.

2. DESARROLLO

El conocimiento a obtener de las organizaciones está basado en primer lugar en indicadores, que pueden visualizarse en forma individual o agrupada en TC y CMI.

Estos *indicadores pueden ser datos, índices, coeficientes o cuantificaciones de una realidad cualitativa* (Ballvé, 2000).

La FIGURA 2 muestra una vista parcial de una posible implementación de una BD abstracta que nos brinde un primer escenario para comenzar la investigación.

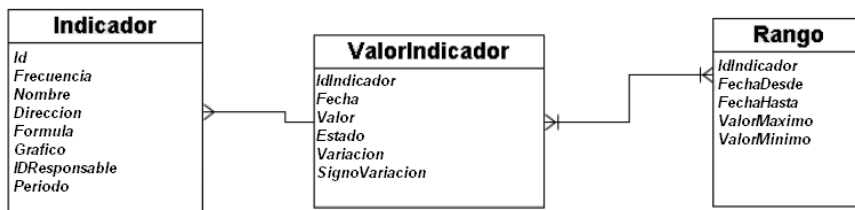


FIGURA 2. BD abstracta de indicadores. Fuente: Elaboración propia.

Las siguientes tablas de datos contienen la aplicación del caso de estudio citado anteriormente, donde se ha ejemplificado cómo esta BD abstracta permitirá alojar los indicadores propuestos. El ejemplo se ha acotado a mostrar resultados para el indicador “Porcentaje Incobrables sobre Morosos” (IdIndicador = 8).

Id	Frec.	Nombre	Dir.	Fórmula	Gráfico	IdResp.	Período
4	Mensual	Total Morosos (nro)	-1		Barra	123	Mensual
5	Mensual	Total Incobrables (nro)	-1		Barra	123	Mensual
...
8	Mensual	Porcentaje Incobrables sobre Morosos	-1		Circular	123	Mensual

TABLA 1. Instanciación de la entidad “Indicador”. Fuente: Elaboración propia.

IdIndicador	Fecha	Valor	Estado	Variación	SignoVariacion
8	01-may-08	180	ACEPTABLE	-8	1
8	01-jun-08	210	CRITICO	30	-1
8	01-jul-08	215	CRITICO	5	1
8	01-ago-08	232	CRITICO	17	-1
8	01-sep-08	197	ACEPTABLE	-35	1
...
8	01-ago-10	195	OPTIMO	9	-1
8	01-sep-10	213	ACEPTABLE	18	-1
8	01-oct-10	261	ACEPTABLE	48	-1

TABLA 2. Instanciación de la entidad “ValorIndicador” para el indicador 8 en diferentes periodos de evaluación (mensual). Fuente: Elaboración propia.

IdIndicador	FechaDesde	FechaHasta	ValorMaximo	ValorMinimo
8	01- sep-07	01-dic-07	210	150
8	01-sep-08	01-dic-08	230	170
8	01-sep-09	01-dic-09	270	210
8	01-sep-10	01-dic-10	250	190
8	01-sep-11	01-dic-11	240	180

TABLA 3. Instanciación de la entidad “Rango” para el indicador 8 en diferentes periodos de definición de rangos (anual). Fuente: elaboración propia.

El valor del indicador se obtiene evaluando la fórmula en la BD del sistema transaccional y se registra según se muestra en la TABLA 2. Luego, a partir de la comparación entre dicho valor y los rangos establecidos, (ValorMaximo y ValorMinimo, como en la TABLA 3) se calcula el estado, generalmente representado cromáticamente (FIGURA 3), y se procede a completarlo como se resalta en la TABLA 2, en la columna “Estado”.

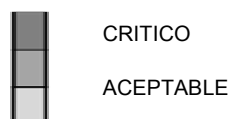


FIGURA 3. Cromatismo usado para representar el estado del indicador.

El indicador transforma variables cualitativas en cuantitativas permitiendo un seguimiento periódico del concepto que éste representa. La comparación de los resultados obtenidos a través de los valores que tomen estos indicadores con los previstos constituye el motor de arranque de las acciones de mejora o de corrección a emprender (Illescas et al. 2007).

El hecho de que los indicadores evolucionen en el tiempo está relacionado tanto con causas endógenas como así también con causas exógenas, es decir los rangos críticos, aceptables y óptimos para los resultados de los indicadores, varían según decisiones subjetivas y objetivas.

Como ejemplos de causas exógenas podemos mencionar mayor competencia, nuevos productos y servicios que el mercado ofrece, aumento del precio de insumos por escasez, todas ellas provenientes desde fuera de la organización, al contrario de las endógenas que son propias de la misma.

Un aspecto relegado por los analistas está referido a los rangos de criticidad; éstos nos permiten obtener lo que denominamos los estados de salud de un indicador y por ende de la organización al menos respecto de este indicador. Dentro de los posibles estados de salud identificamos a los *semiotics* como aquellos indicadores (por ejemplo porcentaje de incobrables sobre morosos) cuyos valores deberían ir decreciendo en el tiempo (FIGURA 4), y los indicadores *health* (o saludables) que por el contrario deberían crecer asemejando un estado de salud más apropiado (FIGURA 5).

En este sentido observamos que el error más grave es “congelar” estos valores una vez definidos, como si la realidad se comportara como algo constante, siendo que “*la única constante es el cambio*” (concepto atribuido a Heráclito). Por ello la importancia de la definición dinámica de los rangos, lo que implica que se revise y actualice para evaluar correctamente el estado del indicador en el período en cuestión.

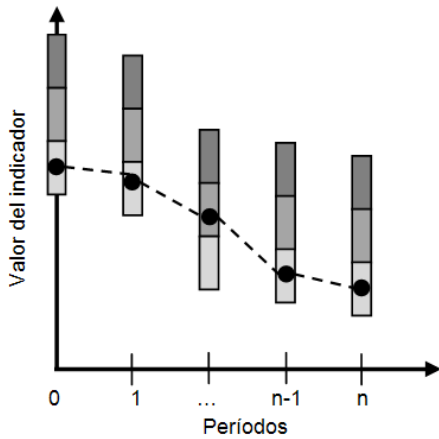


FIGURA 4. Indicadores *semióticos*

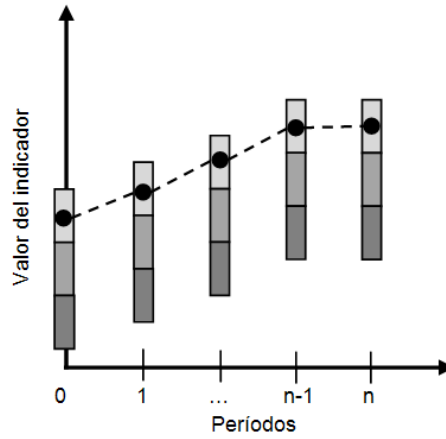


FIGURA 5. Indicadores *health*

Fuente: *Intelligent Organizations - Knowledge Computing Management*. Tripodi & Illescas, 2007.

2.1 Los indicadores y su contexto organizacional

Los sistemas de indicadores son utilizados por las organizaciones inteligentes como poderosas herramientas del Control de Gestión.

En este campo, el control tradicional está basado en los resultados financieros y no en las múltiples circunstancias operativas, de gestión y estratégicas que los producen; en cambio, los sistemas tipo CMI que establecen las relaciones causales y los correspondientes indicadores que las reflejan, permiten actuar ante las desviaciones sin esperar el final del ejercicio o del período de análisis, incorporando las perspectivas y vínculos requeridos de fácil interpretación.

El seguimiento y evaluación de estos indicadores permite anticipar situaciones no deseadas y actuar para evitarlas. Dado que estos indicadores reflejan circunstancias y decisiones operativas, no es de utilidad su análisis mediante las técnicas de pronóstico habituales (por ejemplo Series Temporales). Las relaciones causa-efecto que muestra un CMI implican la existencia de múltiples factores que no pueden ser reflejados en el modelo por las limitaciones para su rápida interpretación pero que inciden en la estrategia que el CMI plantea.

Es importante hacer una apropiada selección de los indicadores ya que éstos explican las razones del éxito o fracaso del negocio, así como el impacto de las variables analizadas sobre los resultados. Adicionalmente sirven de alarma para poner en marcha acciones correctoras inmediatas ante desviaciones inadecuadas (Illescas et al. 2006). En cualquier caso es apropiado encontrar una mínima cantidad de ellos que reflejen los aspectos más importantes (aprendizaje y crecimiento, procesos internos, finanzas y clientes) y de mayor impacto organizacional (Illescas et al., 2007).

La importancia de los indicadores radica principalmente en las siguientes características (Municipio de Pereira, 2011):

- *Monitorear y evaluar la gestión de procesos y proyectos.*
- *Identificar oportunidades de mejoramiento y de cambio.*
- *Adecuar a la realidad objetivos, metas y estrategias dados los cambios surgidos en el entorno.*
- *Dar a conocer y sensibilizar a las personas que toman decisiones y a quienes son objeto de las mismas para que se involucren y se comprometan con los planes y proyectos.*
- *Tomar medidas preventivas y/o correctivas a tiempo, “en tiempo real”.*
- *Comunicar ideas, pensamientos y valores de una manera objetiva y concreta: “medimos lo que valoramos y valoramos lo que medimos”.*

2.2 Importancia de la medición

Si bien no es necesario demostrar la utilidad de la medición, resulta importante destacar el uso de indicadores para conocer las distintas instancias dentro de los procesos en la organización, tal que podamos no solamente controlarlos sino también optimizarlos. De esa manera será posible que la medición conduzca a alcanzar los objetivos trazados.

Sin medición no podremos adelantar con rigurosidad y sistemáticamente las actividades del proceso de mejoramiento: evaluar, planificar, diseñar, prevenir, corregir y mantener, innovar, etc. Medir adecuadamente es el medio o instrumento para gerenciar sobre la base de datos, para desterrar el “yo creo”, “me parece”, “yo pienso”, dejando tales opiniones subjetivas para aquellos asuntos para los cuales no se hayan desarrollado (o puedan desarrollarse) medios cuantificables para medirlos y verificarlos a través de datos (Ojeda y Palermo, 2007).

Si nos remitimos a uno de los conceptos de Edward Deming, padre de la calidad, el conocimiento profundo de un proceso, parte de admitir y conocer su variabilidad y esto es imposible sin una medición periódica y sistemática, en donde el estudio no sea una actividad esporádica sino parte del proceso mismo (Municipio de Pereira, 2011).

Es frecuente ver en diversas organizaciones cómo se cae en el error de creer que ya se ha avanzado en la dirección mencionada, por sólo haber definido un grupo de indicadores “interesantes” y, en el mejor de los casos, dar indicios de poder mantenerlos actualizados. Quizás esto no sea tan marcado en el ámbito empresarial, dado que la competitividad, la medición constante de la rentabilidad, por mencionar algunos aspectos, nos arrastran a profundizar e ir siempre en la búsqueda de más elementos de análisis; pero aún así, hay signos evidentes de estos errores.

En las empresas se observa que se llega a un punto de inflexión en el momento de finalizar el proyecto, ya sea un TC o CMI o simplemente la definición de indicadores, y entonces se congela la historia en ese punto cuando en realidad éste es el comienzo de la travesía.

Ballvé (2000), señala que *“la capacidad no estará tanto en diseñar o implementar un Tablero sino, como toda herramienta, en usarlo adecuadamente... en este sentido será clave poner a funcionar el sistema”*. Olve et al. (2000) insisten en que el éxito de estos proyectos reside en la factibilidad de implementarlos y en el acompañamiento durante su implementación.

Para evitar los errores mencionados vamos a profundizar en los aspectos más relevantes a tener en cuenta.

En principio se debería insistir en conocer y controlar el ciclo de vida de un indicador que, entre otros, se podría resumir en:

- Definir conceptualmente el indicador, incluir su ficha metodológica; qué mide y cómo lo hace.
- Especificar sus componentes, entre ellos, las variables que nos llevan a obtener su resultado.

- Evaluar la necesidad de su medición.
- Indagar sobre la disponibilidad de BD que permitan obtenerlo.
- Conocer la frecuencia posible de su actualización y su automatización.
- Establecer la parametrización de sus alarmas por medio de expertos.
- Precisar quiénes serán los usuarios de este indicador, incluso el responsable de su monitoreo. Más tarde verificar los accesos que se realizan (cuánto se utiliza) para, eventualmente, descartarlo.
- Decidir ante quiénes va a estar visible (público en general o restringido, por ejemplo, a la alta gerencia).

Esta lista de actividades incluye la identificación de algunas de las propiedades mencionadas por Ballvé (2000) en su libro Tablero de Control, en el que señala como relevantes: el período del indicador, la apertura, la frecuencia de actualización, la referencia, los parámetros de alarma, el gráfico más significativo y el responsable del monitoreo. Consideramos muy útil incluir todas las propiedades completando con ellas la lista propuesta anteriormente.

Por otra parte la utilización de las TICs, las herramientas informáticas de última generación, las metodologías más modernas de análisis, no nos garantizan en nada el éxito de nuestro proyecto. Deben estar acompañadas por procesos bien definidos, procedimientos adecuados y controlados, con un seguimiento que permita corregir a tiempo los posibles desvíos de los objetivos planificados, por ejemplo con técnicas como el “Modelo de madurez de capacidad del *software*” bien conocido como CMMI por sus siglas en inglés (*Capability Maturity Model Integration*) (Ahern *et al.*, 2004).

A menudo este tipo de actividades tienen como efecto colateral el nacimiento de proyectos que bien pueden resultar paralelos o secuenciales al original. Por lo general se trata de sistemas de información que permitan obtener datos que antes no eran registrados o cuyo registro era rudimentario incluso inconsistente. Como ejemplos frecuentes de esta situación, encontramos planillas de cálculo y BD generadas por usuarios avanzados.

Dentro de las etapas de construcción de un CMI, diseñadas por sus autores, Kaplan y Norton (1996), nos encontramos con la elaboración del grafo causa-efecto que vincula todos los objetivos o metas definidas previamente. *Los pilares en los que se apoya son las metas estratégicas de la organización, con lo que el CMI no solo pretende reflejarla sino también mostrar cómo estamos posicionados en todo momento respecto de estas definiciones* (Olve *et al.*, 2000). Si bien este “mapa” de la organización se realiza siguiendo la lógica común de vinculación entre objetivos, prevaleciendo factores como la experiencia y la intuición, generalmente no se somete a evaluaciones matemáticas.

2.3 Pre-selección de métodos matemáticos

Luego de crear el marco apropiado para la utilización de indicadores (seleccionarlos, acotar su período de análisis, observar su distribución), se procederá a la aplicación de métodos matemáticos para ver su adaptación a la problemática planteada; entre ellas: métodos de pronósticos para verificar el comportamiento de los indicadores (Bayes, mínimos cuadrados), análisis de correlación para verificar la posible influencia entre ellos, indicadores estadísticos para validar los datos disponibles y cadenas de Markov para comprobar el comportamiento del estado de los mismos. Se analizará también la posibilidad de implementar algoritmos que automaticen la parametrización de las alarmas.

Las redes bayesianas pueden representar una configuración estática de las variables involucradas en el sistema, pero también pueden simular procesos dinámicos (Redes Bayesianas Dinámicas) que representan simultáneamente los estados del proceso (red estática) y la vinculación temporal (redes de transición). Estas redes suponen procesos markovianos ocultos sujetos, por su complejidad, a alternativas de simulación estocástica como el método de Montecarlo. La propiedad markoviana brinda estabilidad al sistema que representa la estrategia organizacional en un CMI, y la estructura de transición posibilita el aprendizaje paramétrico en función de una red bayesiana. Muchas de las situaciones sobre las cuales se deben tomar decisiones no poseen siempre una secuencia que anticipe su comportamiento, y solo son condicionadas por la situación inmediatamente anterior. Los modelos de Markov son una buena forma de determinación de los valores esperables de estas variables, sobre los cuales definir las decisiones apropiadas a partir de esos indicadores.

Al respecto existen experiencias sobre casos puntuales como en la utilización de CMI y Markov para la toma de decisiones sobre nuevos productos (Chan & Ip, 2010); la simulación de indicadores de CMI soportados por cadenas de Markov Montecarlo (Köppen *et al.*, 2007); la validación de las relaciones causa-efecto a través de redes de Bayes (Blumenberg *et al.*, 2006). A pesar de los aportes que estos trabajos realizan, no concluyen sobre las dificultades que encierran en sí misma la gestión por indicadores.

2.4 Toma de decisiones según patrones de comportamiento

Para tomar las decisiones apropiadas y conducir a las variables a los valores deseados, es necesario conocer en profundidad los factores intervinientes. Dada la imposibilidad de representar la totalidad de las variables de una estrategia en un CMI, las explícitamente incluidas serán necesariamente afectadas por otras ocultas, cuyo valor solo podrá ser detectado a través de los efectos sobre las variables explicitadas.

La conjunción de CMI en cascada con modelos ocultos de Markov (*Hidden Markov Models*, HMM) puede brindar la posibilidad de detectar patrones de comportamiento del sistema no establecidos en primera aproximación.

Así por ejemplo, en la perspectiva “Procesos Internos” de un CMI podemos encontrar una secuencia de relaciones causa-efecto tal como la que muestra la FIGURA 6.

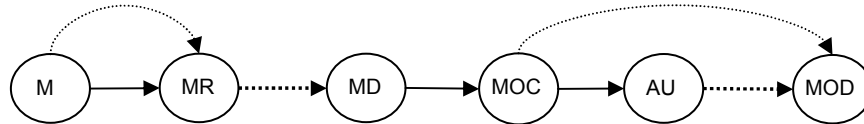


FIGURA 6. Relaciones causa-efecto en una Cadena de Markov. Fuente: Elaboración propia.

Donde

- M: Máquinas existentes
- MR: Máquinas rotas
- MD: Máquinas disponibles
- MOC: Mano de obra contratada
- AU: Ausentismo
- MOD: Mano de obra disponible

Todos los vínculos mostrados serán reflejados por indicadores y sus relaciones (el total de máquinas, el total de máquinas rotas, la relación entre ambas, la mano de obra contratada, el ausentismo, la mano de obra disponible, la relación entre mano de obra disponible y contratada); pero tanto la maquinaria disponible como la mano de obra disponible serán efecto de diferentes combinaciones de estados de las máquinas rotas (en el primer día de rotura, en el segundo, etc.) y del ausentismo (en el primer día de enfermedad, el segundo, etc.).

Por lo cual, los indicadores serán afectados por los estados de una cadena oculta, por un lado de las máquinas rotas y los estados que pueden transitar en el caso de las máquinas disponibles, y por otro el día de ausencia por enfermedad en el caso de la mano de obra disponible. En ambos casos (rotura de máquina y ausencia por enfermedad) puede ser expresada por una matriz de transición de estados detectables a partir de la observación del comportamiento en sucesivos días (FIGURA 7).

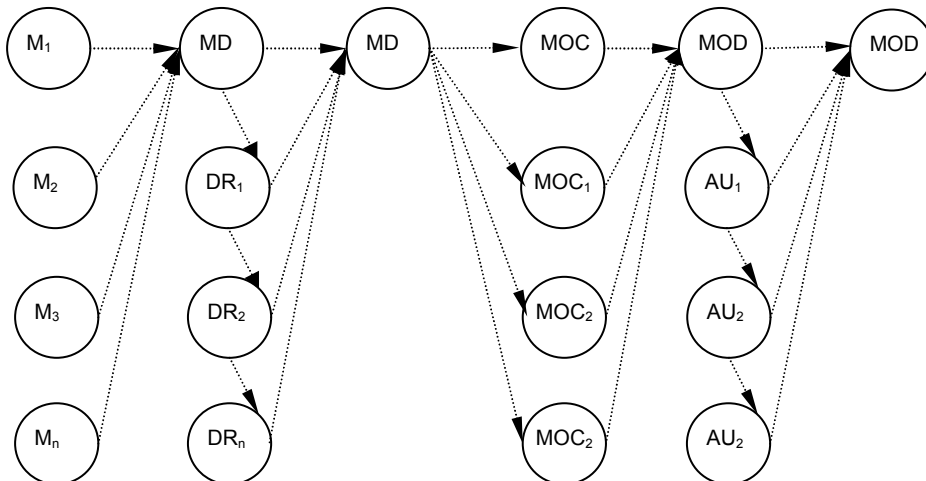


FIGURA 7. Secuencia de relaciones causa-efecto con modelos ocultos. Fuente: Elaboración propia.

donde DR se refiere a los días que una máquina lleva en reparación, AU es ausencia por enfermedad en el primer, segundo, tercer día etc.

La probabilidad de estado de las máquinas (disponibles o en fase de reparación) y la mano de obra (disponible o cursando licencia por enfermedad en primer, segundo, tercer día, etc.) podría ser estudiada a partir de las secuencias observadas.

Así por ejemplo, las aplicaciones de HMM permiten inferir la posibilidad de detectar causas no observables directamente para los estados de las variables incorporadas al sistema, incorporando previamente filtros bayesianos sobre las transiciones estocásticas.

En los casos mencionados, los cambios de estado de los componentes son parcialmente observables al incorporarse máquinas disponibles o al disminuir las mismas, de igual modo para la disponibilidad de la mano de obra, pero las transiciones entre los estados intermedios no sería conocida sino como probabilidad de las combinaciones de estado posibles.

Podría ser seleccionada la sucesión de estados más probable pero la más adecuada sería la secuencia óptima que contemple todos los estados posibles de los elementos del sistema (máquinas o personal).

La Programación Dinámica, mediante el algoritmo de Viterbi puede contribuir a la solución del problema; por ejemplo, nos permitiría estudiar las probabilidades de transición entre distintas fases del proceso de rotura-reparación-disponibilidad o bien presencia-etapas de enfermedad-disponibilidad.

El algoritmo de entrenamiento de Baum - Welch (Russell y Norvig, 2004) también pueden ser de gran utilidad en esta búsqueda; sería una alternativa para analizar los parámetros esperables de disponibilidad de equipos y mano de obra en circunstancias de afecciones estacionales, por ejemplo estados gripales.

La siguiente fase de investigación nos llevará a generalizar la aplicación de estos algoritmos para poder abordar casos que presenten este patrón de comportamiento.

3. CONCLUSIONES Y TRABAJOS EN CURSO

Una vez establecidos los procedimientos mencionados anteriormente para conformar una BD de indicadores, y luego de aplicar los métodos en función a la forma propuesta para analizar los resultados, se procederá a verificar:

- Si el método, en su marco teórico, responde positivamente al análisis provisto sobre los indicadores independientemente del contexto.
- Si es necesario agregar datos del contexto para poder avanzar sobre las primeras conclusiones.
- Si deberían probarse más casos que los disponibles para concluir apropiadamente.
- Si la aplicación del método sobre el o los indicadores produce conocimiento que agrega valor a la gestión o al proceso de toma de decisiones.

El trabajo aquí presentado brinda las bases para poder a continuación comprobar empíricamente el efecto de aplicar los métodos seleccionados en casos concretos en el control de gestión por indicadores. A tal efecto, en el marco de este trabajo de investigación, se está avanzando en la concreción de al menos tres tesis de grado en la carrera de ingeniería de sistemas; una de ellas referida a HMM, otra que consta de la construcción de un prototipo de CMI/TC dinámicos y una tercera sobre *framework* genérico de funcionalidades para la aplicación de métodos matemáticos sobre indicadores.

4. REFERENCIAS

- AHERN, D.; CLOUSE, A.; TURNER, R. (2004): "CMMI DISTILLED: A PRACTICAL INTRODUCTION TO INTEGRATED PROCESS IMPROVEMENT". Pearson Education Inc.
- BALLVÉ, A. (2000): "TABLERO DE CONTROL". Ed. Macchi. Buenos Aires.

- BLUMENBERG, S.; HINZ, D.; GOETHE, J. (2006): "ENHANCING THE PROGNOSTIC POWER OF IT BALANCED SCORECARDS WITH BAYESIAN BELIEF NETWORKS". University, Frankfurt, Germany. Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences. 0-7695-2507-5/06 (c) 2006 IEEE.
- CHAN, S.; IP, W. (2010): "A SCORECARD-MARKOV MODEL FOR NEW PRODUCT SCREENING DECISIONS". Department of Industrial and Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University. Industrial Management & Data Systems Vol. 110 No. 7, pp. 971-992. (c) Emerald Group Publishing Limited.
- ILLESCAS, G.; TRIPODI, G.; BARATÇABAL, L.; LASTIRI, R. (2006): "ORGANIZACIONES INTELIGENTES - HERRAMIENTAS DINÁMICAS DE GESTIÓN". VIII WICC (Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación). Universidad Nacional de Morón, Argentina.
- ILLESCAS, G.; TRIPODI, G.; BARATÇABAL, L.; LASTIRI, R. (2007): "ORGANIZACIONES INTELIGENTES - INDICADORES DINÁMICOS". XVIII EPIO (Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa). Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.
- KAPLAN, R.; NORTON, D. (1996): "THE BALANCED SCORECARD: TRANSLATING STRATEGY INTO ACTION". Harvard Business Review.
- KÖPPEN, V.; ALLGEIER, M.; LENZ, H. (2007): "BALANCED SCORECARD SIMULATOR — A TOOL FOR STOCHASTIC BUSINESS FIGURES". Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization. Advances in Data Analysis, Part VI, Pages 457-464.
- MUNICIPIO DE PEREIRA (2011): "PROPUESTA DE TABLERO DE MANDO PARA EL MONITOREO DE LA EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA DE PROSPECTIVA PEREIRA 2032". Universidad externado de Colombia, Facultad de Administración de Empresas, Dirección de Desarrollo Gerencial. Bogotá, D.C. Disponible en:
<http://portal.pereira.gov.co:7778/PUBLICADOR/PROSPECTIVA/ESCENARIOS.pdf>
- OJEDA, M.; PALERMO, M. (2007): "NORMAS GENERALES PARA EL SISTEMA DE INFORMACION MEDIANTE INDICADORES SOBRE: COMPETITIVIDAD, PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD EN SALUD". Trabajo final integrador, Diplomatura en auditoria médica. Instituto Universitario Isalud, Buenos Aires, Argentina. Disponible en:
http://auditoriamedica.files.wordpress.com/2009/01/normas_generales.pdf

- OLVE, N.; ROY, J.; WETTER, M. (2000): "IMPLANTANDO Y GESTIONANDO EL CUADRO DE MANDO INTEGRAL". Ed. Gestión 2000. Barcelona.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. (2004): "INTELIGENCIA ARTIFICIAL. UN ENFOQUE MODERNO". Pearson Educación 2da Edición. Madrid.
- TRIPODI, G.; ILLESCAS, G. (2007): INTELLIGENT ORGANIZATIONS: KNOWLEDGE COMPUTING MANAGEMENT. Chapter XII, pages 244-262. Book: Adaptive Technologies and Business Integration: Social, Managerial and Organizational Dimensions, ed. Maria Manuela Cruz-Cunha, Bruno Conceicao Cortes and Goran D. Putnik. IDEA Group Inc.
- Sitio Web InfoStat (2013): <http://www.infostat.com.ar>
- Sitio Web Scilab (2013): <http://www.scilab.org>