

## Simulador Dinámico de Procesos

Guillermo Vega<sup>1</sup>; Emanuel O. Mansilla<sup>1</sup>; Facundo O. Martinez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Co – Founder Dynamis Simulation, Miembro del GIMSE UTN-FRC, Córdoba, Argentina  
{guillermo.vega, emanuel.mansilla}@dynamis.pro

<sup>2</sup>Director del GIMSE UTN-FRC, Córdoba, Argentina  
omartinez@sistemas.frc.utn.edu.ar

**Resumen.** Mostramos el funcionamiento del “Simulador Dinámico de Procesos” (SDP) que permite a las empresas simular su producción, conocer las posibles fechas de entregas, estimar los recursos necesarios, la *performance* de sus procesos y prever las secuencias de eventos que se sucederán, con el objetivo de optimizar sus decisiones hoy. El SDP es capaz de ser usado en la planificación y programación de sistemas de producción de manera ágil; su principal ventaja radica en la posibilidad de observar la evolución dinámica de las operaciones, resultante de la interacción entre subprocesos, variables del sistema, restricciones y el cambio de prioridades de fabricación gracias al uso de tecnología de simulación por eventos discretos. Es de gran valor el empleo de una herramienta virtual, libre de riesgo, simple, económica, adaptable y que abarque la multiplicidad de variables y restricciones que existen en las industrias.

**Palabras Claves:** Simulación de procesos • planificación de producción • programación de producción • previsión de actividades.

### 1 Introducción.

La simulación es, por definición, el proceso de diseñar un modelo de un sistema real o proyectado y realizar experimentos en él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias (dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos) para el funcionamiento del mismo [1].

En la actualidad, los desafíos que enfrentan las organizaciones para mantener su rentabilidad y competitividad, demandan que sus procesos sean analizados, mejorados u optimizados permanentemente. La multiplicidad de variables que afectan los procesos y la velocidad de los cambios generan que las técnicas tradicionales no puedan brindar soluciones adecuadas con rapidéz.

La previsualización en un ambiente virtual, lograda por medio de la simulación de eventos discretos, es una técnica que nos permitirá alcanzar las exigencias mencionadas anteriormente.

En los países desarrollados se utiliza la simulación computacional como herramienta de apoyo para la toma de decisiones de forma más frecuente. Lamentablemente, en nuestro país, el uso cotidiano de éstas herramientas se ve restringido por el desconocimiento y la falta de oferta económicamente accesible para las pequeñas y medianas empresas.

Para atender esta necesidad, hemos desarrollado una herramienta que permita la programación y planificación adecuada de materia prima, capacidad de producción, actividades y RRHH, para la producción de bienes.

Con el uso de la simulación las organizaciones lograrán una mejor toma de decisión, mediante la comparación de alternativas, en lo referente a:

- Productividad, por una mejor asignación de actividades y sincronización de recursos.
- Saturación de recursos.
- Obtención de un estándar de fabricación objetivo.
- Aumento de la satisfacción y confianza del cliente por una mejor previsión del tiempo de entrega.
- Mejora continua de los criterios de planificación.
- Reducción de tiempo y esfuerzo para la planificación y/o programación.

Luego de un proceso de investigación y de haber realizado algunas aplicaciones pilotos, nos encontramos en condiciones de acercar el SDP a las organizaciones para la provisión de una herramienta accesible, adaptable a distintos tipos de industrias o sistemas de producción con precisión y calidad.

En el presente trabajo se describe la funcionalidad y estructura de la herramienta desarrollada y se explica su utilidad mediante un caso real de implementación.

## 2 Descripción del Simulador Dinámico de Procesos (SDP).

El SDP permite configurar secuencias de producción, simular el flujo de productos, estimar la *performance* de los procesos, prever la fecha y hora de inicio y fin de orden de producción. Es una herramienta complementaria a los software de gestión, ya que éstos carecen del potencial de simular el proceso de producción con su aleatoriedad innata y estimar con precisión sus resultados.

El usuario del SDP es, generalmente, el responsable de la planificación y programación de la producción. Dicho usuario es quien lleva a cabo la parametrización, su continua actualización y, la confección de los distintos escenarios de análisis que desee realizar de manera que cuente con la información necesaria para la correcta toma de decisiones. Para esta función, se ayuda de los 3 módulos principales del SDP:

- Módulo I: parametrización o configuración.
- Módulo II: procesamiento o corrida de simulación.
- Módulo III: reportes.

La metodología de uso es simple. En primera instancia, el usuario carga los parámetros necesarios en tablas predeterminadas en Excel en el módulo de parametrización o configuración. El término “parámetros” hace referencia, por ejemplo, a la cantidad de productos que se quieren fabricar en un período de tiempo determinado, máquinas o equipos necesarios, personal asignado, turnos de trabajo, horas extras, materiales, traslados, demoras con proveedores, disponibilidad de equipos, entre otros.

En segunda instancia, y desde el módulo de procesamiento, importamos las tablas de parametrización al simulador con un solo clic. En el módulo de procesamiento se encuentra el modelo de simulación que representa el sistema de producción de la empresa; allí se realiza la corrida de simulación donde se procesa e integra la información previamente cargada en el proceso de importación. Una vez finalizada la corrida de simulación, exportamos los resultados al módulo de reportes con un clic.

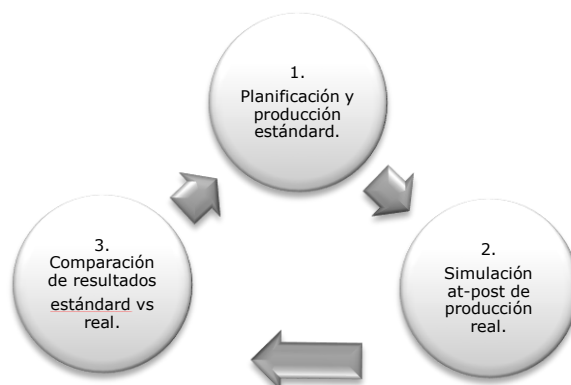
En el módulo de reportes se integran los resultados obtenidos de la simulación en diversos gráficos y tableros de indicadores diseñados a la necesidad de la empresa. Cabe destacar que los resultados de la simulación provienen de múltiples simulaciones (llamado *trial*) y, por lo tanto, pueden expresarse en valor mínimo, promedio y máximo.

Entre ellos los reportes más importantes, podemos mencionar el de fechas de entrega de producción, estado de los procesos, variabilidad de tasas de producción, colas de espera, saturación de máquinas, porcentaje de desperdicios, dedicación prevista para las diferentes tareas a lo largo de un tiempo determinado, entre otros.

Puede ser que al usuario no le satisfaga los resultados del escenario simulado o quiera comparar otras alternativas posibles de planificación o programación de producción. En éstos casos, el usuario puede variar los valores de los parámetros que crea conveniente y recrear nuevos escenarios hasta elegir uno definitivo. El usuario realiza, en promedio, tres o cuatro escenarios posibles según nuestras experiencias de implementación. Además, el usuario elige el escenario definitivo que cumpla mejor con los objetivos definidos y utiliza los reportes para comunicar las acciones que se deban tomar en las distintas áreas involucradas.

A la herramienta SDP la podemos considerar como una herramienta de mejora continua. Esto se debe a que permite comparar los resultados obtenidos en la realidad con los simulados, y podemos ajustar los parámetros de los procesos con mayor precisión, mejorando así la calidad de planificación, impactando en el cumplimiento de las entregas, lo que será ampliamente valorado por los clientes.

De este modo, el SDP cumple la función de crear un ciclo virtuoso de mejora continua de la calidad de los parámetros de planificación y sus correspondientes estimaciones requeridas por la organización. Este proceso se ilustra en la Figura 1.



**Fig. 1.** Ciclo de mejora continua.

A continuación se describe el detalle de los módulos de la herramienta SDP, y su validación, mediante un ejemplo real de implementación en la programación de producción de una línea de fabricación de muelles helicoidales para suspensión (resortes), de una empresa autopartista de la ciudad de Córdoba. Para introducir, y dar cierto marco de contexto, mencionamos que:

- Trabajan a tres turnos de lunes a sábado.
- La línea procesa alrededor de 20 a 30 modelos distintos de resortes por semana.
- Por cada cambio de modelo corresponde un tiempo de puesta a punto distinto.
- La frecuencia de programación de la producción es semanal.

### 2.1 Módulo I: Parametrización o Configuración.

El módulo cumple la función de adaptar los parámetros e información actualizada de la empresa al simulador. Este proceso se podría realizar mediante una interface o con reportes estándar del sistema Enterprise Resources Planing (ERP) que esté utilizando la organización.

Para las primeras implementaciones, hemos llevado a cabo la adaptación de la información de la empresa en planillas de cálculo. Hay varias razones importantes para utilizar Excel como plataforma de parametrización o configuración:

- *Familiaridad de la herramienta:* Es de uso común en gran parte de las empresas de Argentina. Con un proceso de parametrización en Excel, los usuarios emplean menos tiempo en averiguar cómo utilizar la herramienta.
- *Flexibilidad integrada:* Ocurre con frecuencia que los formatos que arrojan los sistemas estándar no son los que se necesita. Observamos que los usuarios exportan datos del sistema en planillas de hojas de cálculo, que luego procesan según sus criterios.
- *Rápido desarrollo:* Tomamos como referencia las planillas que ya utiliza la empresa y las adaptamos al simulador con pequeñas modificaciones; con ello, aceleramos el proceso de desarrollo e implementación y, además, es flexible para adaptarse más rápidamente a las necesidades cambiantes.
- *Gran alcance de conectividad y capacidad de automatización:* Excel puede utilizarse para automatizar los procesos e incluso conectar varias fuentes de datos.
- *Por su costo:* Para gran parte de las empresas, el aprovechamiento de Microsoft Office es francamente la forma más rentable de ofrecer herramientas clave de informes de negocios, sin comprometer demasiado su utilidad y funcionalidad [2].

Por todo lo dicho, la parametrización o configuración de los datos de producción se llevó a cabo en planillas de cálculo Excel. Este módulo se elabora a la medida del cliente y se adapta a un formato de ingreso de datos estandarizado en el SDP.

En general, los parámetros e información a configurar son, por ejemplo, los tipos y cantidad de piezas a producir, operaciones que se deben realizar, tiempos de procesos, reglas de restricciones, estructura de producto, cantidad máquinas, tabla de vinculación de operaciones y rutas, entre otros.

Ilustraremos estos casos con el ejemplo de la empresa autopartista.

En la Figura 2 se muestra una hoja de cálculo donde el usuario ingresa los diferentes modelos de piezas y la cantidad objetivo a producir.

El orden de los productos, sobre el margen izquierdo de la Figura 2, indica la secuencia de ingreso en el sistema de producción. Además se especifica la fecha de inicio de la producción que se desea programar.

	Producto	Cantidad Planificada	Módulos a ingresar	Fecha de ingreso
1	pt02000245	2000	5	13/04/2014 00:00
2	PT02000356	2408	11	13/04/2014 00:00
3	pt02000407	3854	14	13/04/2014 00:00
4	pt02000398	1000	5	13/04/2014 00:00
5	PT02000355	413	2	13/04/2014 00:00

Fig. 2. Ingreso de tipo, cantidad de piezas a producir y fecha de ingreso.

En la Figura 3 se ilustra la configuración de procesos de fabricación. Para cada proceso se especifica distintos parámetros como, % de disponibilidad, Media de Tiempo Técnico de Reparación (MTTR), Media de Tiempo de Buen Funcionamiento (MTBF), cola de espera entre procesos, % de scrap o piezas rechazadas, turno de trabajo en que el proceso está disponible para su uso, entre otros.

Nº	Proceso	(valor)	(Hrs)	(Hrs)	(si/no)	(valor)	(Unid/Lm/Kg/Etc.)	(valor)	(hr/min/seg)	(valor)	DE LUNES A VIERNES		
		% Disp.	MTTR	MTBF	Cola de	Capacidad en espera	Unidad de capacidad	Tiempo min en	Unidad de	% a scrap	T. Mañan	T. Tarde	T. Noche
1	Aplastado	95.00%	0.75	14	si	100000	Unid	0.0	Seg	0.1%	si	si	no
2	Inicio producción	100.00%	0.00	1000000	si	100000	Unid	0.0	Seg	0.0%	si	si	si
3	Ingreso austenizado	100.00%	0.00	1000000	si	100000	Unid	0.0	Seg	1.0%	si	si	si
4	Horno austenizado	98.00%	0.17	8	si	1	Unid	0.0	Seg	0.0%	si	si	si
5	Enrollado	99.00%	0.12	1.1	si	1	Unid	1.0	Seg	0.0%	si	si	si
6	Cuba de aceite	99.00%	0.17	17	si	1	Unid	0.0	Seg	0.0%	si	si	si
7	Traslado a revenido	100.00%	0.00	1000000	si	100000	Unid	0.0	Seg	0.0%	si	si	si
8	Ingreso revenido	100.00%	0.00	1000000	si	100000	Unid	0.0	Seg	0.0%	si	si	si
9	Horno revenido	100.00%	0.00	1000000	si	1	Unid	0.0	Seg	0.0%	si	si	si
10	Traslado a homogenizado	100.00%	0.00	1000000	si	100000	Unid	0.0	Seg	0.0%	si	si	si
11	Ingreso homogenizado	97.00%	0.25	8	si	2	Unid	0.0	Seg	0.0%	si	si	si
12	Horno homogenizado	100.00%	0.00	1000000	si	1	Unid	0.0	Seg	0.0%	si	si	si

Fig. 3. Configuración de procesos.

Se observa la hoja de cálculo de configuración de productos en la Figura 4. Para este caso, se dividió la configuración de productos en dos partes. Por un lado se encuentra los datos técnicos de los productos como ser dimensiones, temperaturas para tratamiento térmico, dispositivos asociados, entre otros. Ésta información es importante porque cuando se modifica el valor de alguna variable, varía el tiempo de fabricación asociado a dicha variable. Por otro lado, se especifica la secuencia de operaciones que realiza cada pieza (ruta de proceso) y los tiempos de fabricación.

Datos técnicos de los productos																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
PT SIGUIENTE	DIAM SUP	PIG TAIL	Tº DE REVENIDO	Tº ASEANTADO	ENROLLADOR	Tº AUTENIZADO	CASSETTE	APLASTADO	GRANALLADO	COLOCACION DE VANNA	MODULO DE VARILLAS (Medida)	DES/NO STD DE MODULO	TIEMPO EN AUTENIZADO (MIN)	PIZAS EN H. REVENIDO	TIEMPO EN REVENIDO (MIN)	TIEMPO EN HOMOGENIZADO (MIN)	CADENCIA (P/HH)	
PT02000239	12.58	S	400	170	625	920	2		1		468	62	10.06	5	56	20	560	
PT02000245	12.73	S	425	90	625	920	2		1		476	41	10.18	5	56	20	550	
PT02000246	11.73	S	430	350	600	920	2		1		547	42	9.38	5	56	20	560	

Secuencia de operaciones y tiempos																		
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
OP 1	Seg	OP 2	Seg	OP 3	Seg	OP 4	Min	OP 5	Seg	OP 6	Seg	OP 7	Seg	OP 8	Seg	OP 9	Seg	OP 10
Aplastado	0.1	Inicio producción	0.1	Ingreso austenizado	6.4	Horno austenizado	20.1	Enrollado	6.4	Pig tail	6.4	Cuba de aceite	205.7	Traslado a revenido	30.0	Ingreso revenido	32.1	Horno revenido
Aplastado	0.1	Inicio producción	0.1	Ingreso austenizado	6.5	Horno austenizado	20.4	Enrollado	6.5	Pig tail	6.5	Cuba de aceite	209.5	Traslado a revenido	30.0	Ingreso revenido	32.2	Horno revenido
Aplastado	0.1	Inicio producción	0.1	Ingreso austenizado	6.4	Horno austenizado	18.8	Enrollado	6.4	Pig tail	6.4	Cuba de aceite	205.7	Traslado a revenido	30.0	Ingreso revenido	32.1	Horno revenido
Aplastado	0.1	Inicio producción	0.1	Ingreso austenizado	6.4	Horno austenizado	18.8	Enrollado	6.4	Pig tail	6.4	Cuba de aceite	205.7	Traslado a revenido	30.0	Ingreso revenido	32.1	Horno revenido

Fig. 4. Configuración de productos. Dividido en dos grandes partes: datos técnicos de los productos (arriba) y secuencia de operaciones y tiempos (abajo).

2.1.1 Optimización de Secuencia de Producción.

En el caso de ejemplo de la empresa autopartista, el usuario se encontraba con el problema de secuenciamiento de los distintos lotes de fabricación que minimicen el tiempo de puesta a punto por cambios de modelo. El proceso de cálculo que utilizaba la empresa no garantizaba un buen resultado y, además, llevaba mucho tiempo. Para ello, utilizamos como complemento al módulo I del SDP el software winQSB V1.0 desarrollado por Yih-Long Chang del Instituto de Tecnología de Georgia [3].

Para resolver el problema utilizamos el módulo Network Modeling y lo planteamos bajo el problema del agente viajero. El objetivo es encontrar la forma de realizar una gira completa que conecte todos los nodos visitando sólo una vez cada nodo y minimizar la distancia de la gira total (en nuestro caso se trata de tiempos de puesta a punto) [4].

La metodología de uso es simple. En el margen izquierdo de una hoja de cálculo de Excel se colocan los distintos modelos de piezas que se desean programar. Podemos extraer los tiempos de setup asociado entre los productos por medio de una tabla dinámica que se alimenta de una base de datos en Excel previamente cargado. Este proceso se ilustra en la Figura 5 matriz de tiempos de puesta a punto o setups.

	PT02000239	PT02000329	PT02000355	PT02000356	PT02000357	PT02000363	PT02000369	PT02000392	PT02000398	P1
Resumen de tabla dinámica	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
1 PT02000239	1000	25	25	75	25	25	75	25	25	25
2 PT02000329	25	1000	25	75	25	25	75	25	25	25
3 PT02000355	45	45	1000	75	25	45	75	45	25	25
4 PT02000356	45	45	25	1000	25	45	115	45	25	25
5 PT02000357	45	45	25	75	1000	45	75	36	25	25
6 PT02000363	25	25	25	75	25	1000	75	25	25	25
7 PT02000369	25	25	25	115	25	25	1000	25	25	25
8 PT02000392	25	45	25	75	25	25	75	1000	25	25
9 PT02000398	45	45	25	75	25	45	75	25	1000	25
10 PT02000400	45	45	25	75	10	45	75	25	25	25
11 PT02000406	45	45	25	75	25	45	75	45	25	25
12 PT02000407	45	45	25	75	25	45	75	45	25	25
13 PT02000419	25	25	25	115	25	25	115	25	25	25
14 PT02000420	25	25	25	115	25	25	115	25	25	25
15 PT02000429	45	45	10	115	25	45	115	45	25	25
16 PT02000433	45	45	25	75	25	45	75	45	25	25

Fig. 5. Matriz de tiempos de puesta a punto o setups.

Se procede luego con la apertura del módulo “network modeling” del software winQSB V1.0, seleccionando el problema “traveling salesman problem” donde la cantidad de nodos corresponde a la cantidad de productos distintos a secuenciar. En la Figura 6 se observa el módulo “network modeling” donde se realizó la carga de tiempos de puesta a puntos conseguido con el proceso descrito en el párrafo anterior.

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9	Node10	Node11	Node12	Node13	Node14	Node15
Node1	1000	25	25	75	25	25	75	25	25	25	25	25	75	75	75
Node2	25	1000	25	75	25	25	75	25	25	25	25	25	75	75	75
Node3	45	45	1000	75	25	45	75	45	25	25	25	25	115	115	115
Node4	45	45	25	1000	25	45	115	45	25	25	25	25	115	115	115
Node5	45	45	25	75	1000	45	75	36	25	24	25	25	75	75	75
Node6	25	25	25	75	25	1000	75	25	25	25	25	25	75	75	75
Node7	25	25	25	115	25	25	1000	25	25	25	25	25	115	115	115
Node8	25	45	25	75	25	25	75	1000	25	25	25	25	75	75	75
Node9	45	45	25	75	25	45	75	25	1000	25	25	25	75	75	75
Node10	45	45	25	75	10	45	75	25	25	1000	25	25	75	75	75
Node11	45	45	25	75	25	45	75	45	25	25	1000	10	75	75	75
Node12	45	45	25	75	25	45	75	45	25	25	10	1000	75	75	75
Node13	25	25	25	115	25	25	115	25	25	25	25	25	1000	90	115
Node14	25	25	25	115	25	25	115	25	25	25	25	25	90	1000	115
Node15	45	45	10	115	25	45	115	45	25	25	25	25	115	115	1000
Node16	45	45	25	75	25	45	75	45	25	25	25	25	75	75	75
Node17	25	25	25	115	25	25	115	25	25	25	25	25	115	115	115
Node18	25	45	25	75	25	25	75	45	25	25	25	25	75	75	75
Node19	25	25	25	75	25	25	75	25	25	25	25	25	75	75	75
Node20	25	25	25	75	25	25	75	25	25	25	25	25	75	75	75
Node21	25	25	25	75	25	25	75	25	25	25	25	25	75	75	75

Fig. 6. Módulo “network modeling” con ejemplo de carga de tiempos de puesta a punto o setups.

Procedemos luego en resolver el problema en el software winQSB V1.0 donde se detalla una tabla con el resultado encontrado. Cada nodo se asocia a un modelo de producto y obtenemos de esta forma una secuencia optimizada de ingresos de productos al sistema de fabricación con el criterio de minimizar los tiempos de setup entre modelos. Esto se ilustra en la Figura 7 secuencia óptima de nodos. El resultado encontrado sirve como input del módulo I del SDP en la hoja de cálculo que se ilustra en la Figura 2.

01-29-2014	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node2	25	12	Node9	Node13	75
2	Node2	Node10	25	13	Node13	Node8	25
3	Node10	Node5	10	14	Node8	Node14	75
4	Node5	Node3	25	15	Node14	Node19	25
5	Node3	Node15	50	16	Node19	Node20	10
6	Node15	Node12	25	17	Node20	Node17	75
7	Node12	Node11	10	18	Node17	Node21	25
8	Node11	Node4	75	19	Node21	Node18	25
9	Node4	Node16	25	20	Node18	Node6	25
10	Node16	Node7	75	21	Node6	Node1	25
11	Node7	Node9	25				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	755
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Fig. 7. Secuencia optima de nodos.

## 2.2 Módulo II: Procesamiento o Corrida de Simulación.

Para el éxito del módulo II, de procesamiento o corrida de simulación, es importante realizar un modelo de simulación representativo y funcional. Para ello se debe definir claramente los objetivos que debe alcanzar el sistema de producción bajo la responsabilidad de quien toma la decisión. La definición de dichos objetivos ayuda a la gerencia a tomar decisiones específicas en el proceso que aporten directamente al resultado global del mismo. En general, el usuario debe tomar una posición sobre si su gestión se desarrolla en el mundo de los costos o en el mundo del throughput. Dependiendo del paradigma, la estrategia de modelización, reglas de programación y algoritmos que se aplican varían. Las reglas globales se utilizan para garantizar que los objetivos generales de la planta se cumplen y que la producción está sincronizada a lo largo de toda la instalación. Normas locales se aplican a satisfacer la programación y limitaciones operativas dentro de un área específica de la planta. Esto podría incluir restricciones de procesamiento por lotes, detalles de requisitos de puesta a punto, así como los recursos necesarios para los diferentes productos por ejemplo.

Los principios básicos de la teoría de las restricciones (TOC – Theory of Constraints) son elementos de apoyo que contribuyen a mejorar el raciocinio gerencial en el manejo de procesos e interacciones entre recursos, actividades y personas y sirven de base para definir la estrategia del modelo de simulación.

Es muy valioso identificar, además, aquellos impedimentos (restricciones) que inciden sobre la consecución del resultado que el sistema empresa pretende alcanzar.

Después de identificada la restricción con nuestro modelo es recomendable aplicar el proceso de mejoramiento continuo propuesto por la TOC y que sostiene como base conceptual el uso de esta herramienta [5].

Se utilizó el software de simulación de eventos discretos SIMUL8 2013 Professional como plataforma de desarrollo del modelo de simulación. Una importante ventaja es que, a partir de la licencia profesional de Simul8, es posible proveer a las empresas de una licencia gratuita de visualización (SIMUL8 viewer) y el modelo en formato Viewer (.VS8).

En la Figura 8 vemos un ejemplo de visualización de la pantalla de este módulo. Como se observa, el módulo de procesamiento o corrida de simulación del SDP está dividido en dos grandes partes. Sobre la izquierda se encuentra el panel de control donde es posible realizar configuraciones específicas del modelo de simulación, corridas trials e importación/exportación de datos. Sobre la derecha se observa una grilla de procesos o actividades de producción considerados en el modelo de simulación.

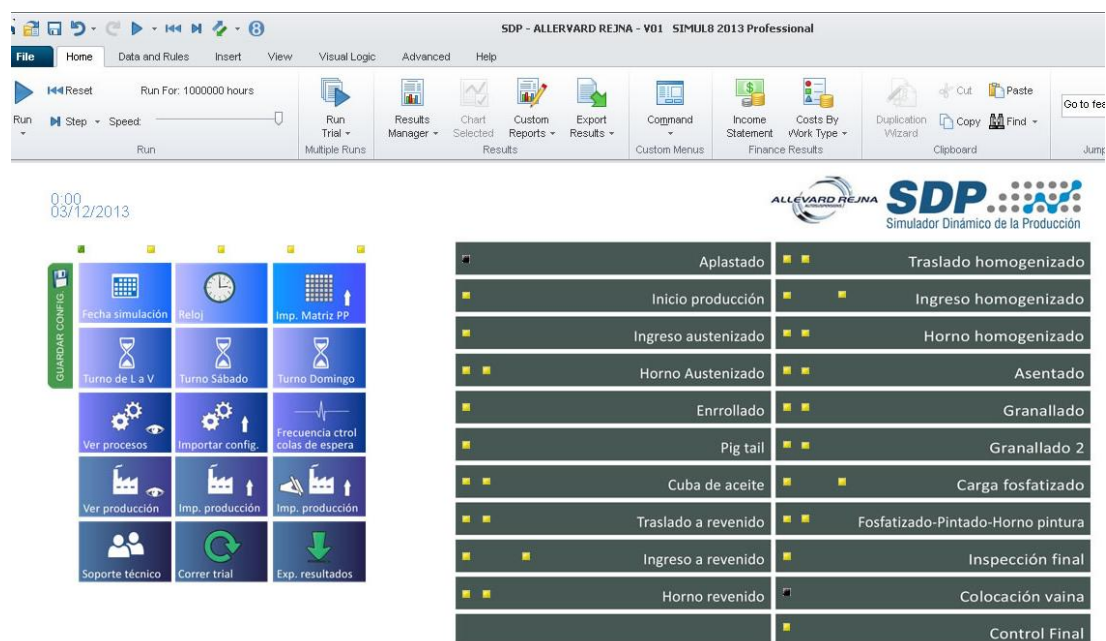


Fig. 8. Ejemplo de visualización del módulo II.

Internamente, el modelo de simulación del SDP es accionado por un número de tablas de conocimiento; éstas definen las operaciones y los requisitos para el sistema, que toma en cuenta variables globales y también específicas (en relación a operaciones individuales y/o departamentos que están siendo programados). En la tabla 1 se describen la función de cada comando del panel de control.

Tabla 1. Descripción de comandos del panel de control.

Comando:	Descripción:
Fecha Simulación	Aquí se indica la fecha de inicio de la simulación. Es la fecha de referencia que toma el simulador al iniciar una corrida.
Reloj	Hora de inicio indica la hora de inicio del día. En “Duración del día laboral” se configura las horas totales de un día laboral. Días por semanas se configura la cantidad de días totales en donde es posible trabajar.
Imp. Matriz PP	Este comando importa los datos de parametrización del módulo I correspondiente a los tiempos de setup entre modelos de piezas.
Importar Config.	Este comando importa los datos del módulo I, respecto a la configuración de los procesos de producción.
Frecuencia ctrl colas de espera	Aquí configuramos la frecuencia en que el simulador controla las colas de espera y registra los resultados. Estos datos alimentan los reportes de evolución procesos. La unidad es en horas.
Turno de L a V. Turno Sábado. Turno Domingo.	Los comandos que poseen gráfico “reloj de arena” nos indica configuración de turnos de trabajo. En este caso, el SDP contempla 3 configuraciones independientes de turno laborales: Turno de Lunes a Viernes, Turno Sábado y Turno Domingo. En los cuadros de diálogos se habilitan o no los turnos con un “si” o un “no” y los horarios de inicio y fin. Se predeterminaron 3 tipos de turno: mañana, tarde y noche. Para los tres casos la configuración es similar.
Ver procesos	Este abre una tabla interna donde es posible verificar que se han importado los datos del módulo I correctamente.
Imp. Producción	Este comando importa los datos de parametrización del módulo I, respecto al plan o programa de producción sometido a la optimización de secuenciamiento.
Imp producción manual	Este comando importa los datos de parametrización del módulo I, respecto al plan o programa de producción definido por el programador.
Ver producción	Este comando permite visualizar los parámetros importados desde el módulo I.

Exp resultados	Exporta los resultados al módulo III “Reporte Simulador SDP” Es necesario que dicho archivo esté abierto al exportar los resultados de la simulación.
Correr trials	Aquí indicamos la cantidad de veces que queremos correr la misma simulación para obtener distintos resultados de distintos escenarios que genera aleatoriamente el SDP y luego determina los resultados finales. Con esto nos aproximamos a la vida real ya que sometemos al sistema a valores aleatorios. Es posible entonces calcular los límites inferiores y superiores dentro de los que podremos encontrar los resultados. Idealmente recomendamos realizar un trial de un mínimo de 30 corridas para que la distribución de los resultados se asemeje a una distribución normal. Con el SDP podemos hacer como mínimo trial de 4 corridas, en cuyo caso los resultados se expresan en relación a la distribución T de Student y no a la distribución Normal.
Guardar config.	Todo cambio realizado en el panel de control queda guardado al accionar el comando de “guardar config.”

---

[6,7]

En el caso que necesitemos ensayar el efecto de una política o escenario en forma rápida podemos ejecutar una sola corrida apretando el botón “Run”. Si ajustamos el marcador de velocidad en un valor menor al 100% y pulsamos el botón Run podemos ver como circulan las piezas en el sistema. Si ajustamos la barra de velocidad al 100% se elimina la animación dando lugar a una mayor velocidad de procesamiento. Este proceso se ilustra en la Figura 9.

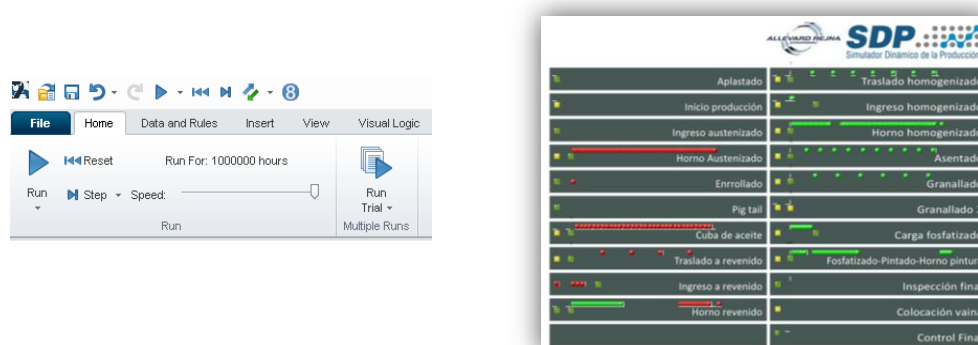


Fig. 9. Control de velocidad y visualización dinámica.

### 2.3 Módulo III: Reportes.

La clave de este módulo es la de trabajar y seleccionar con el usuario los KPIs necesarios.

KPIs representan un conjunto de medidas que se centran en los aspectos de desempeño más críticos de la producción de los cuales depende el éxito actual y futuro de la misma.

A modo de referencia podemos mencionar algunas características de los KPI:

- Medidas no financieras (que no se expresa en moneda como pesos, dólares, euros, etc)
- Medido con frecuencia (por ejemplo, todos los días)
- Comprensión de la medida y la necesidad de acciones preventivas/correctivas por todo el personal
- Identificar la responsabilidad de la persona o equipo
- Impacto significativo (por ejemplo, afecta a la mayor parte del núcleo crítico de factores de éxito)
- Impacto positivo (por ejemplo, afecta a todas las demás medidas de desempeño de una manera positiva) [8]

Ilustraremos algunos de los KPIs utilizados en el módulo III del SDP tomando como referencia el caso de implementación de la empresa autopartista.

En la Figura 10 se observa el reporte de nivel de cumplimiento de entregas planificadas de productos/pedidos. La columna “Cant. Finalizada” nos muestra la cantidad de piezas terminadas en la operación “inspección final”.



Se detalla la media, con sus límites inferior y superior de las corridas realizadas como también, las fechas y horas de ingreso y egreso de cada lote de producción y la cadencia en la operación de enrollado, identificado como el cuello de botella de la línea de producción.

REPORTE PROGRAMA DE PRODUCCIÓN															
Nº	Secuencia Prod. Óptima	Cant. Plan	Cant. Finalizada			Cadencia Enrollado			Unid/Hrs	Hs Ingreso			Hs Egreso		
			L. Inf	M	L. Sup	L. Inf	M	L. Sup		L. Inf	M	L. Sup	L. Inf	M	L. Sup
1	PT02000239	1128	806	X 903	1000	219	232	245	02/12/13 08:40	02/12/13 06:45	02/12/13 08:50	02/12/13 14:09	02/12/13 14:32	02/12/13 14:55	
2	PT02000329	831	799	✓ 924	1048	315	329	341	02/12/13 10:57	02/12/13 11:13	02/12/13 11:30	02/12/13 16:56	02/12/13 17:32	02/12/13 18:07	
3	PT02000400	3029	2378	X 2485	2591	345	362	379	02/12/13 14:04	02/12/13 14:39	02/12/13 15:14	03/12/13 00:43	03/12/13 01:35	03/12/13 02:26	
4	PT02000357	623	514	X 579	644	345	348	361	02/12/13 21:24	02/12/13 21:58	02/12/13 22:33	03/12/13 02:49	03/12/13 03:32	03/12/13 04:15	
5	PT02000355	623	426	X 492	557	326	324	323	02/12/13 23:29	03/12/13 00:12	03/12/13 00:56	03/12/13 04:34	03/12/13 05:33	03/12/13 06:31	
6	PT02000429	3004	2209	X 2440	2670	263	289	316	03/12/13 01:41	03/12/13 02:44	03/12/13 03:46	03/12/13 13:57	03/12/13 15:04	03/12/13 16:11	
7	PT02000407	1293	1075	X 1132	1188	356	375	395	03/12/13 10:53	03/12/13 11:59	03/12/13 13:04	03/12/13 17:31	03/12/13 18:38	03/12/13 19:45	
8	PT02000406	2676	2033	X 2225	2417	381	400	417	03/12/13 14:13	03/12/13 15:20	03/12/13 16:26	03/12/13 23:32	04/12/13 00:45	04/12/13 01:58	
9	PT02000356	1283	1001	X 1075	1149	350	379	408	03/12/13 21:05	03/12/13 22:22	03/12/13 23:40	04/12/13 03:47	04/12/13 05:05	04/12/13 06:23	
10	PT02000433	1406	1050	X 1096	1142	228	219	211	04/12/13 00:32	04/12/13 01:51	04/12/13 03:10	04/12/13 09:04	04/12/13 10:42	04/12/13 12:19	
11	PT02000389	1544	1343	X 1421	1498	273	284	294	04/12/13 06:41	04/12/13 08:22	04/12/13 10:03	04/12/13 15:26	04/12/13 17:20	04/12/13 19:14	
12	PT02000398	881	495	X 627	759	224	240	252	04/12/13 12:34	04/12/13 14:15	04/12/13 15:55	04/12/13 18:21	04/12/13 20:26	04/12/13 22:32	
13	PT02000419	692	649	✓ 734	819	323	374	428	04/12/13 18:09	04/12/13 18:12	04/12/13 20:16	04/12/13 22:15	05/12/13 00:16	05/12/13 02:18	
14	PT02000392	1063	767	X 908	1049	177	206	233	04/12/13 18:46	04/12/13 20:49	04/12/13 22:51	05/12/13 03:08	05/12/13 05:03	05/12/13 06:59	
15	PT02000420	1758	1697	X 1656	1715	268	277	287	05/12/13 00:33	05/12/13 02:40	05/12/13 04:47	05/12/13 10:12	05/12/13 12:24	05/12/13 14:36	
16	PT02000446	896	1033	✓ 1140	1247	424	472	521	05/12/13 07:24	05/12/13 09:31	05/12/13 11:39	05/12/13 13:56	05/12/13 15:54	05/12/13 17:50	
17	PT02000447	974	978	✓ 1006	1013	1196	1296	1394	05/12/13 10:08	05/12/13 12:17	05/12/13 14:26	05/12/13 16:35	05/12/13 18:08	05/12/13 20:24	

Fig. 10. Reporte nivel de cumplimiento de entregas planificadas de productos/pedidos.

El reporte de la Figura 10 podemos graficarlo por medio de un diagrama de Gantt (Figura 11).

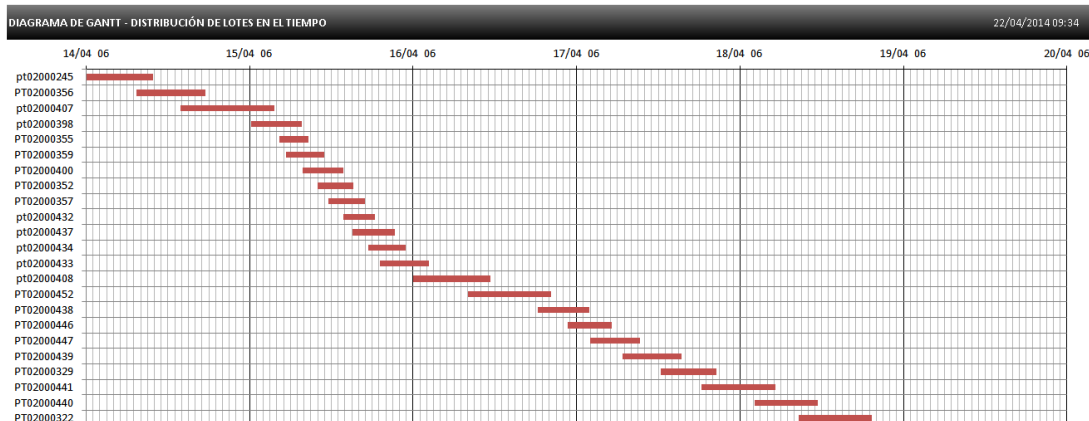


Fig. 11. Programa de producción en formato diagrama de Gantt.

Es importante mencionar que los diagramas de Gantt proporcionan la visibilidad hacia delante de todos los pedidos a medida que progresan a través de la producción, consumiendo recursos. Se pueden observar en distintos formatos tanto tabulares como gráficos. Las vistas se pueden personalizar para incluir información específica de la operación de diferentes estaciones de trabajo o equipos.

Permitirá al programador de la producción encontrar órdenes de producción a través del sistema, y responder a preguntas tales como ¿cuándo terminará esta orden?, ¿cuándo va a pasar por mi operación cuello de botella?, ¿hay algún tiempo de holgura en esta orden que se encuentra retrasada?

El informe de Gantt también se puede filtrar por equipo o sector de manera que el operador en cada puesto de trabajo cuente con información del programa definido.

Un aspecto importante es el de conocer la performance de cada máquina, proceso y recurso (%Utilización, %Espera, %Paro, %Bloqueo y %Ausencia). Para ello se ha diseñado un reporte que se ilustra en la Figura 12. También se muestran indicadores de setup y horas de rotura previstas que sirven como puntos de control.

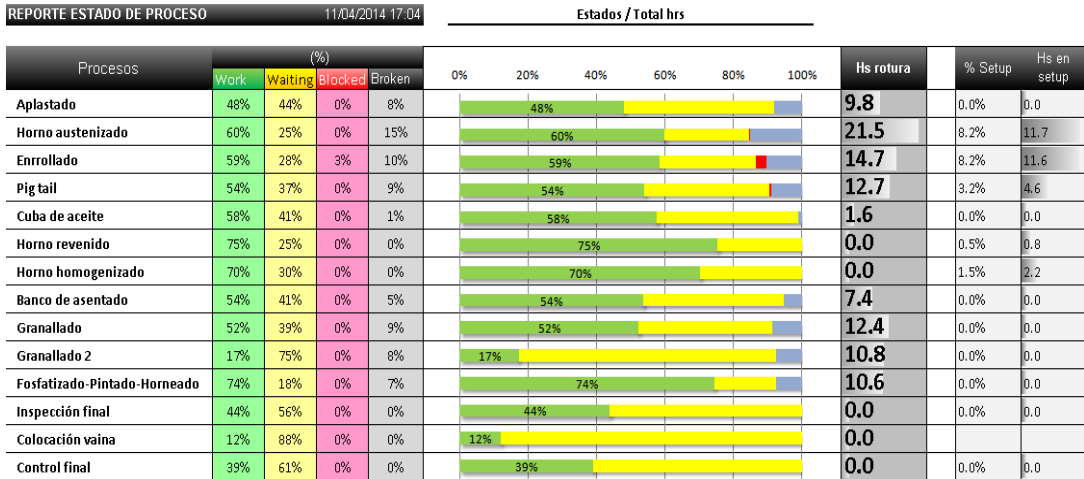


Fig. 12. Reporte de estado de procesos.

Otro reporte clave es el gráfico de la acumulación de materiales/hrs de trabajo de cada proceso (Figura 13). Se muestran la cantidad de piezas que se acumulan en cada proceso a medida que pasa el tiempo. De esta forma podemos analizar su evolución y comportamiento.

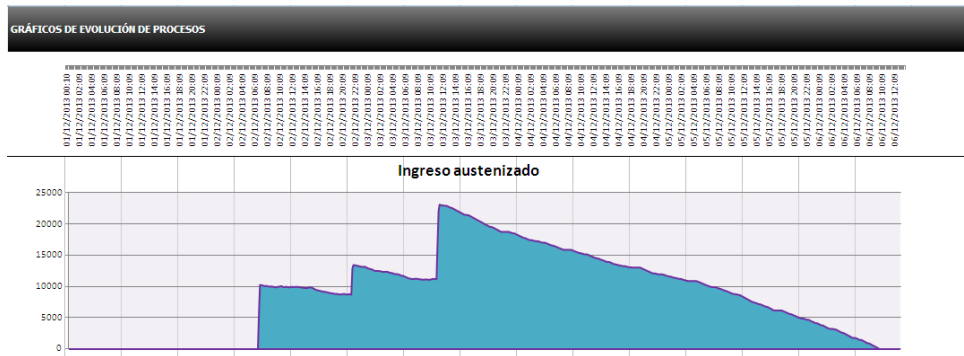


Fig. 13. Reporte de acumulación de materiales/hrs de trabajo de cada proceso.

Por último, se muestra el reporte de productos obsoletos o scrap en la Figura 14. En la mencionada figura visualizamos dos cuadros de indicadores. El primero nos muestra la cantidad de piezas ingresadas al sistema de producción, la cantidad finalizada y el scrap generado en todo el sistema indicando, además, su proporción con el total de piezas ingresadas. En el segundo cuadro podemos ver en cuales procesos se originó el scrap y su proporción con respecto del total.

REPORTE SCRAP		20/03/2014 13:43		
Valor	Ingresos	Finalizadas	Scrap total	%
<b>PROMEDIO</b>	33163	25933	7230	22%
Límite Inferior	33123	25505	6765	20%
Límite Superior	33202	26361	7694	23%

Proceso	Incidencia PRO	Scrap PRO	Scrap LI	Scrap LS
<b>Aplastado</b>	<b>0.6%</b>	<b>38</b>	35	41
<b>Horno austenizado x falla</b>	<b>4.9%</b>	<b>327</b>	303	350
<b>Horno austenizado x bloqueo</b>	<b>86.7%</b>	<b>5799</b>	5347	6251
<b>Banco de asentado</b>	<b>7.9%</b>	<b>528</b>	516	540
<b>Inspección final</b>	<b>8.0%</b>	<b>538</b>	525	550

Fig. 14. Reporte de scrap.

### 3 Pruebas de Validación

Se han llevado a cabo las pruebas alfa durante el desarrollo de la herramienta SDP para el caso ejemplo de implementación en empresa autopartista. El objetivo principal de las pruebas alfa es conocer si el modelo de simulación representa al sistema de producción real en su lógica de funcionamiento. Para ello se organizó una serie de entrevistas con los usuarios de la herramienta y personal de producción y mantenimiento para la revisión del modelo.

Las pruebas beta se llevaron a cabo durante dos meses y sirvió para solucionar principalmente una serie de problemas de compatibilidad entre Microsoft Excel y Simul8 Professional. Podemos nombrar por ejemplo:

- *Error de lenguaje:* depende de la convención de lenguaje que utilice Excel para que el simulador lea correctamente las tablas. Básicamente se especifica si es en inglés (row and colum) o en español (fila o columna).
- *Error de fechas y números:* el simulador y Excel pueden trabajar en convenciones distintas de “punto y coma” provocando que los datos importados o exportados se lean incorrectamente. Para resolver esto se debe ir a la configuración de Excel y asegurarse de usar el punto para la separación de decimales y la coma para separación de miles.
- *Error de detención durante un trial:* se ha observado que mientras se realiza la corrida de un trial es recomendable no utilizar la computadora. En el caso de tener que realizarlo tratar de no utilizar la combinación de teclas “CTRL+ALT”, o directamente la tecla “ALT Gr” (por lo general utilizada para escribir la “@”), ya que este es un comando que detiene la simulación y muestra que comando de programación se está ejecutando en ese instante en el módulo II (Figura 15). Si sucede este error se elige la opción “Ignore”.

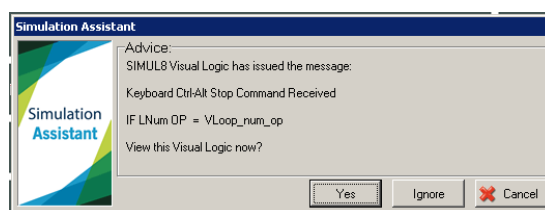


Fig. 15. Error de detención durante un trial

Las pruebas realizadas fueron soportadas por una notebook con procesador Intel Core 2 Duo, 2GB de memoria Ramm y sistema operativo Windows 7 32 bits, por lo cual podemos expresar a los mismos como requerimientos de sistema.

### 4 Conclusiones

Al ser una herramienta precisa, ágil y simple de usar hemos observado notables beneficios en las primeras implementaciones. Permite a los responsables y programadores de la producción contar con un sistema de apoyo a la toma de decisión. De esta forma, es posible detectar los desvíos en forma preventiva comparando entre los resultados simulados y los reales en cuanto a fechas de entregas, uso de materiales, capacidad de equipos de producción, cuellos de botellas, stocks, horas de personal, etc.

Coopera en la integración de visiones y criterios de las distintas áreas de la empresa en un modelo consensuado, que mejora continuamente con la experiencia de su uso.

Reduce considerablemente el tiempo y esfuerzo en la planificación y/o programación de la producción.

Presenta un costo competitivo frente a otras soluciones y ayuda a establecer el estándar de fabricación objetivo.

En las pruebas en líneas de producción, utilizando el winQSB V1.0 - network modeling, obtuvimos disminuciones de tiempo de puesta a puesto por mejora de secuenciamento hasta el 27%.

## 5 Referencias

1. Shannon, Robert.E. Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación. México : Trillas. (1988).
2. Alexander, Michael. Excel 2007. Dashboards y Reports for dummies. Indianapolis, Indiana : Wiley Publishing, Inc. (2008).
3. Chang, Y. L., & Desai, K. WinQSB. s.l. : John Wiley & Sons, Inc. (2003).
4. Quesada Ibargüen, V. M. y Vergara Schmalbach, J. C. Análisis Cuantitativo con WINQSB. s.l. : Juan Martinez Coll (2006).
5. C., Carlos Iván Aguilera. Un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones. Colombia : Universidad ICESI, octubre - diciembre. ISSN (Versión impresa): 0123-5923. (2000)
6. Concannon, Kieran, y otros. Simulation Modeling with SIMUL8. Canadá : Visual Thinking International. ISBN 0-9734285-0-3. (2007)
7. Chung, Christopher A. Simulation Modeling Handbook. A practical approach. EEUU : INDUSTRIAL AND MANUFACTURING ENGINEERING SERIES. Hamid R. Parsaei. ISBN 0-8493-1241-8 (alk. paper). (2004)
8. Parmenter, David. Key Performance Indicators. Developing, implementing and using winning KPIs. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc. (2007).