DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO Y LOGÍSTICA

CASO INTEGRADOR MAESTRO: MÓDULO V

Sincronización S&OP / MPS, Explosión MRP I, Mapeo VSM, Teoría de Restricciones y Six Sigma en "NutriAndina S.A.C."

Centro de Especializaciones NOEDER
Docente: Mg. Ing. Jonatan Livia Ayala
Florida Global University (FGU)

PARTE 1

DOSSIER INFORMATIVO: CONTEXTO, PARÁMETROS OPERATIVOS Y DESAFÍO INDUSTRIAL

Material de trabajo para el alumno. Contiene los datos de demanda, ingeniería, planta y la crisis de suministro de la empresa.

1.1 CONTEXTO CORPORATIVO Y DIAGNÓSTICO DE LA CRISIS OPERATIVA

"Industrias Alimentarias NutriAndina S.A.C." es una destacada corporación agroindustrial ubicada en Lima que fabrica y distribuye barras nutritivas de quinua, kiwicha y cacao a cadenas de supermercados, tiendas de conveniencia y programas institucionales de alimentación.

En el último semestre, la compañía experimentó un incremento del 30% en pedidos gracias a una campaña comercial agresiva. No obstante, la Gerencia General ha convocado a un comité de crisis debido a una profunda **desincronización entre Ventas y Planta**, caracterizada por tres síntomas críticos:

1. "NERVIOSISMO" Y FALSAS PROMESAS

El área Comercial modifica el programa de producción semanal en cualquier momento para atender pedidos urgentes. Esto provoca que Planta cambie moldes y formatos a medio tiraje, destruyendo la secuencia productiva y generando **quiebres de stock en 4 de cada 10 órdenes confirmadas**.

Impacto: Clientes B2B multan a la empresa con notas de débito y el OTIF cayó al **78.5%**.

2. PASILLOS INUNDADOS DE WIP Y DESABASTO

El almacén y los pasillos de producción están saturados con $3,480$ cajas **de producto en proceso (WIP)** esperando ser empacadas. Sin embargo, la línea se detiene constantemente porque **falta la bobina de foil de aluminio metalizado** importada de Chile.

Impacto: Lead Time de entrega de 12 días, cuando el tiempo de trabajo transformador real es de apenas unas horas.

3. CUELLO DE BOTELLA Y MERMAS POR DESVÍO

La estación de envasado Flowpack y sellado térmico no da abasto, trabajando con horas extras nocturnas. Además, las quejas por **barras con sobrepeso o sellado defectuoso** han aumentado a una tasa de defectos de $18,500$ DPMO (nivel 3.6 Sigma).

Desafío: Se exige alinear el S&OP con el MPS/MRP, balancear la línea con TOC y blindar la calidad con Six Sigma.

1.2 PARÁMETROS TÉCNICOS DE PLANIFICACIÓN (MPS, ATP Y ESTRUCTURA BOM)

A. PARÁMETROS DEL PLAN MAESTRO (SKU-BAR100: BARRA QUINUA-CACAO 50G)

B. ESTRUCTURA DE MATERIALES (BOM) DEL PRODUCTO PADRE

- **Presentación:** Caja Display máster por 24 unidades individuales.
- **Inventario Inicial Físico (I_0):** 400 cajas.
- **Stock de Seguridad (SS):** 150 cajas (colchón mínimo de servicio).
- **Tamaño de Lote Fijo (Q_{MPS}):** $1,000$ cajas por corrida estándar de horno.
- **Tiempo de Fabricación/Ensamble (L_{planta}):** 1 semana.

Datos Comerciales / Semana	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
Pronóstico Comercial	800	700	900	600
Pedidos Reales con O/C	950	600	400	100

Para fabricar **1 Caja Display (Nivel 0)**, la receta técnica aprobada por Calidad e Ingeniería requiere:

- **SUB-MEZ200 (Nivel 1):** Mezcla horneada extrusionada $\rightarrow$ Coeficiente = 1.0 lote; Lead Time = 1 sem.
- **INS-FOIL300 (Nivel 1 - Insumo Crítico):** Bobina de Foil Metalizado Barrera $\rightarrow$ Coeficiente = $\mathbf{2.0\ rollos/caja}$; Lead Time = $\mathbf{2}$ **semanas** (importado de Chile).
- **INS-CAJ400 (Nivel 1):** Caja corrugada display troquelada $\rightarrow$ Coeficiente = 1.0 unidad; Lead Time = 1 sem.

Parámetros para el MRP del Insumo Crítico (INS-FOIL300):

- Stock Inicial Disponible: 300 rollos | Stock de Seguridad (SS): 100 rollos.
- Recepciones Programadas en Tránsito (SR): 0 rollos.
- Costo de Emisión de Orden (S): $\$80$ USD | Costo Mantener (H): $\$0.80$ USD/rollo/semana.

1.3 PARÁMETROS DE PLANTA, FLUJO VSM Y TOLERANCIAS DE CALIDAD SIX SIGMA

A. TIEMPOS DE CICLO Y JORNADA OPERATIVA

- **Jornada Laboral:** 1 turno diario de 8 horas ($28,800$ segundos).
- **Descansos y Mantenimiento:** 45 minutos ($2,700$ segundos) $\implies$ **Tiempo Neto Disponible =** $26,100$ s/día.
- **Demanda Promedio Requerida por Cliente:** 580 cajas/día.
- **Tiempos de Ciclo (C/T) medidos por estación:**
  - 1. Dosificación y Mezclado: $C/T = 30$ seg/caja (870 cajas/día).
  - 2. Horneado y Extrusión: $C/T = 40$ seg/caja (652 cajas/día).
  - 3. Enfriado y Corte Longitudinal: $C/T = 35$ seg/caja (745 cajas/día).
  - **4. Envasado Flowpack y Sellado Térmico: $C/T = 75$ seg/caja (348 cajas/día).**
  - 5. Encartonado y Paletizado Final: $C/T = 38$ seg/caja (686 cajas/día).
- **Inventario en Proceso Actual (WIP retenido en piso):** $3,480$ cajas.

B. CONTROL DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES DE CLIENTE

- **Variable Crítica de Calidad (CTQ):** Peso neto por barra individual en gramaje.
- **Límites Contractuales de Especificación:**
  - Límite Superior de Especificación (USL): 52.0 gramos.
  - Valor Nominal Meta (Target): 50.0 gramos.
  - Límite Inferior de Especificación (LSL): 48.0 gramos.
- **Auditoría Estadística del Proceso Actual (Muestra $n = 500$):**
  - Media Real del Proceso (μ): $\mathbf{50.8}$ **gramos** (sobrepeso sistemático).
  - Desviación Estándar Real (σ): $\mathbf{0.45}$ **gramos**.

El Problema del Sobrepeso: Regalar 0.8 g por barra en una producción de 2 millones de unidades al año equivale a regalar 1.6 toneladas **de quinua y cacao fino**, además de atascar las mordazas de sellado del flowpack.

RETOS PLANTEADOS AL EQUIPO DE ESPECIALISTAS:

Con base en los datos anteriores, el equipo de operaciones y planificación debe resolver y sustentar:

1. **Gobernanza MPS & ATP:** Elaborar la tabla semanal del MPS calculando el PAB, las activaciones de lote y determinar el ATP exacto para que Ventas sepa qué prometer. Definir la regla de *Time Fences* para blindar la planta.
2. **Explosión MRP I y Loteo:** Calcular la necesidad neta del insumo crítico (Bobina Foil INS-FOIL300), su semana exacta de liberación por *Offsetting* y comparar el costo entre pedir Lote a Lote ($L4L$) frente a Periodo Fijo (POQ).

3. **Diagnóstico VSM y Restricciones TOC:** Calcular el Takt Time, el tiempo de Lead Time de planta según la Ley de Little ($I = R \times T$) y la Eficiencia del Ciclo (PCE). Identificar la estación restrictiva (cuello de botella) y formular el plan DBR (*Drum-Buffer-Rope*).

4. **Capacidad Six Sigma y Causa Raíz:** Calcular los índices de capacidad C_p y C_{pk} del gramaje de barra, interpretar el desvío y estructurar el análisis de causa raíz mediante los 5 Porqués para estabilizar la línea.

PARTE 2

DESARROLLO, RESOLUCIÓN TÉCNICA Y DICTAMEN GERENCIAL

Resolución paso a paso de las 4 fases de planificación integrada, Lean VSM, TOC y Six Sigma DMAIC.

FASE 1 RESOLUCIÓN FASE 1: PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (MPS), CÁLCULO DE ATP Y TIME FENCES

TABLA SEMANAL INTEGRADA DE MPS Y COMPROMISO COMERCIAL ATP (SKU-BAR100)

Lote Q = 1,000 un | SS = 150 un | Inv. Inicial = 400 un

Aplicando la ecuación $PAB_t = PAB_{t-1} + MPS_t - \max(\text{Pronóstico}_t, \text{Pedidos}_t)$:

Concepto / Periodo Semanal	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
1. Pronóstico Comercial	800	700	900	600
2. Pedidos Confirmados (O/C en mano)	**950**	600	400	100
3. Demanda Efectiva [max(1, 2)]	**950**	**700**	**900**	**600**
4. PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN (MPS)	1,000	1,000	1,000	0 (Cubre stock)
5. Inventario Proyectado Disponible (PAB)	450	750	850	250 (≥ SS)
6. Disponible para Comprometer (ATP)	450	400	500 (Sem 3+4)	-

DEDUCCIÓN DEL ATP SEMANAL:

- **Sem 1:** $ATP_1 = (I_0 + MPS_1) - \text{Pedidos}_1 = (400 + 1,000) - 950 = \mathbf{450\ cajas}$.
- **Sem 2:** $ATP_2 = MPS_2 - \text{Pedidos}_2 = 1,000 - 600 = \mathbf{400\ cajas}$.
- **Sem 3:** Como en Sem 4 no se produce ($MPS_4 = 0$), el lote de Sem 3 cubre pedidos de semanas 3 y 4: $ATP_3 = 1,000 - (400 + 100) = \mathbf{500\ cajas}$.

REGLAS DE GOBERNANZA (TIME FENCES):

- **Barrera Congelada (Semanas 1 y 2):** Cambios terminantemente prohibidos. El lote de 1,000 cajas de la semana 1 y 2 está en línea. Solo Gerencia General puede intervenir por fuerza mayor.
- **Barrera Negociable (Semanas 3 y 4):** Comercial puede solicitar ajustes en la mezcla siempre que respete el total de corridas de 1,000 cajas.

FASE 2 RESOLUCIÓN FASE 2: EXPLOSIÓN DE MATERIALES MRP I, OFFSETTING Y DIMENSIONAMIENTO DE LOTE

REGISTRO ESCALONADO MRP: INSUMO INS-FOIL300 (BOBINA FOIL DE ALUMINIO)

Factor BOM = 2 rollos/caja | Lead Time L = 2 semanas | SS = 100 rollos

Como el ensamble de las barras terminadas tarda $L_{\text{planta}} = 1\ \text{semana}$, las órdenes del MPS de Semana 2 $(1,000)$ y Semana 3 $(1,000)$ deben tener sus componentes listos en la **Semana 1** y **Semana 2** respectivamente:

Concepto MRP / Periodo Semanal	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
1. Requerimiento Bruto (GR = PORel_Padre × 2)	2,000	2,000	0	0
2. Recepciones Programadas (SR)	0	0	0	0
3. Inventario Proyectado Disponible (PAB, I0 = 300)	100 (SS)	100 (SS)	100	100
4. Requerimientos Netos (NR)	1,800	2,000	**0**	**0**
5. Recepción de Órdenes Planificadas (PORceipt)	1,800	2,000	**0**	**0**
6. LIBERACIÓN DE ÓRDENES (PORELEASE, L = 2 SEM)	*Emitida sem -1*	*Emitida sem 0*	**0**	**0**

- **Deducción en Sem 1:** $NR_1 = GR_1(2,000) - I_0(300) + SS(100) = \mathbf{1,800\ rollos}$. Al aprovechar los 300 rollos iniciales, solo compramos 1,800.

COMPARATIVA ECONÓMICA DE LOTEO: LOTE A LOTE ($L4L$) VS. PERIODO FIJO (POQ)

Parámetros: Costo de emisión $S = \$80\ \text{USD/pedido}$ | Costo mantener $H = \$0.80\ \text{USD/rollo/semana}$. Requerimientos: Sem 1 = $1,800$ rollos, Sem 2 = $2,000$ rollos (Total = $3,800$ rollos).

Estrategia de Loteo	Plan de Pedidos	Costo Emitir (S)	Costo Mantener (H)	Costo Total	Dictamen de Suministro
Lote a Lote (L4L)	2 pedidos (1,800 y 2,000)	$2 \times \$80 = \$160$	0 rollos $= \$0$	**$160 USD**	Cero stock sobrante, pero paga 2 fletes de importación.
Periodo Fijo (POQ = 2 sem)	**1 solo pedido agrupado de 3,800**	$1 \times \$80 = \mathbf{\$80}$	$2,000 \times \$0.80 = \mathbf{\$1,600}$	**$1,680 USD**	**Inmoviliza capital excesivo. Se aprueba L4L.**

Conclusión de Compras: *Al ser un insumo de alto volumen ($3,800$ rollos), el costo de almacenar $2,000$ rollos anticipados ($\$1,600$) supera ampliamente el flete de emisión ($\$80$). La política óptima es **L4L** con entregas semanales programadas.*

FASE 3 RESOLUCIÓN FASE 3: DIAGNÓSTICO VSM, LEY DE LITTLE Y BALANCEO DE CUELLOS DE BOTELLA (TOC)

1. TAKT TIME Y DIAGNÓSTICO CON LEY DE LITTLE

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo Neto Disponible}}{\text{Demanda Diaria}} = \frac{26,100 \text{ s}}{580 \text{ cajas}} = \mathbf{45.0 \text{ seg/caja}}$$

• **Ritmo Requerido:** Para abastecer a los clientes sin retrasos, la planta debe liberar **1 caja terminada cada 45 segundos**.

$$T_{\text{flujo}} = \frac{\text{Inventario WIP}}{\text{Ritmo Real } (R)} = \frac{3,480 \text{ cajas}}{348 \text{ cajas/día}} = \mathbf{10.0 \text{ días de Lead Time}}$$

• **El Estrangulamiento:** Como la estación restrictiva solo produce 348 cajas/día, el producto pasa **10 días calendario atascado en el piso** antes de llegar al almacén.

2. EFICIENCIA DEL FLUJO DE VALOR (PCE)

Suma de tiempos de valor agregado: $VA = 30 + 40 + 35 + 75 + 38 = \mathbf{218 \text{ segundos}}$ (3.63 minutos).

Lead Time Total (PLT): 10 días $\times 26,100$ s $= \mathbf{261,000 \text{ segundos}}$.

$$\text{PCE } (\%) = \left(\frac{VA}{PLT}\right) \times 100 = \left(\frac{218 \text{ s}}{261,000 \text{ s}}\right) \times 100 = \mathbf{0.08\%}$$

¡Diagnóstico Brutal: El 99.92% del tiempo que la barra pasa en la fábrica es puro desperdicio (NVA) de colas, esperas e inventario retenido!

3. GESTIÓN DE LA RESTRICCIÓN CON LOS 5 PASOS DE GOLDRATT Y DBR

TOC / DBR

Paso 1: Identificar la Restricción

La estación de **Envasado Flowpack y Sellado** tiene $C/T = 75 \text{ s} > 45 \text{ s}$ (TT). Su capacidad máxima es de solo 348 cajas/día. Limita la salida de toda la fábrica.

Paso 2 y 3: Explotar y Subordinar

Cero paradas en flowpack durante almuerzos (relevos programados). **Subordinación:** Mezclado y Horneado bajan su ritmo a 348 cajas para no inundar pasillos con WIP.

Paso 4: Elevar la Restricción

Se instala una **segunda envasadora flowpack en paralelo** (inversión de bajo costo). El C/T combinado cae de 75 s a 37.5 s (Capacidad $= 696 \text{ cajas/día} > 580$).

Mecanismo DBR Implementado: El *Tambor (Drum)* es la envasadora flowpack marcando el paso; el *Buffer* es un colchón de 2 horas de barras cortadas antes de envasado; y la *Cuerda (Rope)* es la tarjeta Kanban que autoriza a Mezclado a liberar granos solo cuando flowpack termina un lote.

FASE 4 RESOLUCIÓN FASE 4: CONTROL SIX SIGMA DMAIC, CAPACIDAD DE PROCESO (C_P/C_{PK}) Y CAUSA RAÍZ

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE CAPACIDAD: PESO NETO DE LA BARRA ($USL = 52.0\text{G}$; $LSL = 48.0\text{G}$)

Media μ = 50.8g | Desv. σ = 0.45g

1. CAPACIDAD POTENCIAL (C_P):

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{52.0 - 48.0}{6(0.45)} = \frac{4.0}{2.70} = \mathbf{1.48}$$

¡Potencialmente Capaz! ($C_p > 1.33$)

La dispersión natural ($6\sigma = 2.7\text{g}$) es lo bastante estrecha para caber dentro de la tolerancia de 4.0g.

2. CAPACIDAD REAL CENTRADA (C_{PK}):

$$C_{pk} = \min\left(\frac{52.0 - 50.8}{3(0.45)}, \frac{50.8 - 48.0}{3(0.45)}\right) = \min\left(\frac{1.20}{1.35}, \frac{2.80}{1.35}\right) = \mathbf{0.89}$$

¡PROCESO INCAPAZ! ($C_{pk} < 1.0$)

El proceso está severamente descentrado hacia el límite superior (50.8g), generando barras pesadas fuera de norma.

Revelación Gerencial: El equipo de corte no necesita comprar cuchillas nuevas ($C_p = 1.48$ demuestra que la máquina es precisa). El problema es simplemente un **error de calibración del cabezal de corte**. Ajustar la perilla de espesor para regresar la media a $\mu = 50.0\text{g}$ elevará automáticamente el C_{pk} a 1.48, ahorrando 1.6 toneladas de insumos al año.

DIAGNÓSTICO CAUSA RAÍZ: 5 PORQUÉS PARA DEFECTOS DE SELLADO EN FLOWPACK

1. ¿Por qué el 8% de las barras tienen rotura o fuga de aire en el sellado? *Porque las mordazas térmicas muerden la barra al cerrar.*
2. ¿Por qué muerden la barra? *Porque la barra llega con un grosor superior al canal de paso (50.8g en lugar de 50.0g).*
3. ¿Por qué llega con mayor grosor? *Porque el rodillo laminador de masa tiene holgura mecánica.*
4. ¿Por qué tiene holgura? *Porque no se calibra en el cambio de turno.*

5. Causa Raíz Institucional: Falta de un procedimiento estandarizado (SOP) con micrómetro digital antes de arrancar la línea.

Contramedida Poka-Yoke Implementada: Se instaló una **báscula dinámica con sensor de descarte automático (*Checkweigher*)** justo antes del flowpack. Toda barra que supere los 51.5g es expulsada por un soplador neumático a una bandeja de retrabajo, garantizando que el 100% de las barras que entran al flowpack tengan la dimensión perfecta.

RESULTADOS CUADRO DE MANDO INTEGRADO Y RESULTADOS CONSOLIDADOS POST-TRANSFORMACIÓN

Dimensión / Pilar	Indicador Clave (KPI)	Línea Base (Antes)	Meta Optimizada (Después)	Palanca Metodológica Aplicada
1. Planificación Integrada	Adherencia al MPS	64.2%	96.8% (+32.6%)	Time Fences (Zona congelada 2 semanas)
2. Compromiso Comercial	Cumplimiento OTIF Cliente	78.5%	98.2% (+19.7%)	Lógica ATP en el sistema ERP para Ventas
3. Suministro de Insumos	Quiebres por Insumo Crítico	8 paradas/mes	0 paradas (Cero)	Explosión MRP I con Offsetting de 2 semanas
4. Agilidad y Flujo Lean	Lead Time de Producción	10.0 días	1.5 días (-85%)	Alivio de cuello de botella TOC + DBR
5. Calidad y Eficiencia	Cpk = 0.89	18,500 DPMO	Cpk = 1.48 (< 230 DPMO)	Calibración de corte + Checkweigher Poka-Yoke

DICTAMEN FINAL PARA EL DIRECTORIO:

La transformación de **Industrias NutriAndina S.A.C.** comprueba que la productividad industrial no depende de acelerar máquinas sin control, sino de **sincronizar la información comercial con la física de la planta**: las barreras de tiempo ($Time\ Fences$) blindaron las líneas, el ATP profesionalizó la promesa a los clientes, la Teoría de Restricciones eliminó los pasillos atascados y el control Six Sigma erradicó el sobrepeso, liberando más de $\$120,000\ \text{USD}$ **en capital de trabajo** e incrementando la rentabilidad neta del negocio.