

PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN CON PERSONAL EN SITUACIÓN DE DISCAPACIDAD

✉ WENDY OTAYA BETANCOURT¹

JUAN CARLOS OSORIO GÓMEZ²

JUAN PABLO OREJUELA CABRERA³

RESUMEN

En este documento se propone desarrollar un plan agregado de producción de una compañía, incluyendo personal en condiciones de discapacidad, los cuales presentan diferentes tiempos para las ejecuciones de las tareas e incluso son incompatibles con algunas actividades. El modelo de programación lineal entera mixta busca maximizar tanto la productividad como el flujo de caja respectivo. Se considera para el modelo los beneficios tributarios del gobierno Colombiano asociados a la inclusión del personal en condición de discapacidad. El modelo es validado con un caso estudio.

PALABRAS CLAVE: planeación de la producción; investigación de operaciones y ética; discapacidad; programación lineal.

ADDED PRODUCTION PLAN WITH PERSONNEL IN HANDICAP CONDITION

ABSTRACT

This paper propose an additional plan of production in a Company, including employees in a handicap condition, which will count with different times to execute the different tasks and sometimes incompatible in specific activities. The Model of mixed integer linear programming seeks to maximize production as well as the respective cash flow. The tributary benefits of the Colombian government associated to the inclusion of handicap condition personnel, are considered for the model. The Model is validated with a case study.

KEYWORDS: Production Planning; Operations Research and Ethics; Disability, Linear Programming.

ADICIONADO PLANO DE PRODUÇÃO PESSOAL COM DEFICIÊNCIA

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um plano agregado de produção de uma empresa, incluindo pessoal em condições incapacitantes, que têm tempos de execução diferentes para tarefas e até mesmo incompatível com algu-

¹ Ingeniera industrial Universidad del Valle.

² Ingeniero industrial Universidad del Valle. Especialista en Logística Universidad del Valle. MSc. Ingeniero Industrial Universidad del Valle. Profesor titular Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle.

³ Ingeniero industrial Universidad del Valle. MSc. en Ingeniería Industrial Universidad del Valle. Profesor Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle.

✉ *Autor de correspondencia: Otaya-Betancourt, W. (Wendy).*
Universidad del Valle: Calle 13#100-00, Cali, Valle.
Fax: (572) 339 84 62. Teléfono: (572) 441 03 71
Correo electrónico: wendyotaya@gmail.com

Historia del artículo:

Artículo recibido: 02-IV-2014 / Aprobado: 01-VI-2015

Disponible online: 30 de junio de 2015

Discusión abierta hasta junio de 2016

mas actividades. A programação linear inteira mista procura maximizar a produtividade eo respectivo fluxo de caixa. É considerado o modelo para os benefícios fiscais do governo colombiano associados com a inclusão de funcionários em estado de invalidez. O modelo é validado com um estudo de caso.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento de Produção, Pesquisa Operacional e de Ética, deficiência, Programação Linear.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Encuesta Mundial de Salud, cerca de 785 millones de personas (15,6 %) de 15 años y más viven con una discapacidad. (OMS, 2011).

La discapacidad afecta de manera desproporcionada a las poblaciones vulnerables. Los resultados de la Encuesta Mundial de Salud indican que la prevalencia de la discapacidad es mayor en los países de ingresos bajos que en los países de ingresos más elevados (OMS, 2011).

Las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) a 2012 indican que del total de las personas con discapacidad en el país (2 943 971), el 52,3 % está en edad productiva, pero solo el 15,5 % de ellas se encuentra realizando algún tipo de trabajo. De igual manera, la entidad señala que solo el 2,5 % de este grupo de la población obtiene remuneración de un salario mínimo legal vigente. (Pandi, 2013).

Considerando además, que los beneficios de contratar personas con discapacidad en Colombia son la deducción de la renta del 200 % del valor de salario y prestaciones, disminución del 50 % en la cuota de aprendices que está obligado a contratar, exclusión del pago sobre los aportes al Régimen del Subsidio Familiar, ICBF Y SENA, preferencia en licitaciones, adjudicación y celebración de contratos públicos y privados, prelación para recibir créditos o subvenciones del Estado.

Es entonces importante para las organizaciones plantearse la posibilidad de contratar personal en condición de discapacidad de manera que se beneficie tanto la empresa por las condiciones mencionadas anteriormente, y se contribuya con el mejoramiento de la calidad de vida de las familias asociadas a estas personas.

Se presenta a continuación una revisión de la literatura existente sobre la vinculación de personal en condición de discapacidad en la planeación de la producción. Seguido se presenta el modelo propuesto y los análisis respectivos.

De otro lado, revisando la bibliografía sobre modelos productivos que incorporen personas en situación de discapacidad existen muy pocos, sin embargo hay

autores que tienen en cuenta variables diferenciadas de cada trabajador, como Mansoor (1968) quien propone un modelo heurístico para la modelación de la producción teniendo en cuenta la variabilidad de rendimientos de cada operador.

Bartholdi y Eisenstein (1996) explican cómo deben estar ubicados los trabajadores que operan a velocidades diferentes dentro de la configuración de una línea de producción.

Doerr, *et al.* (2000) estudian el diseño de una línea de ensamble, teniendo en cuenta las diferentes capacidades de cada uno de los trabajadores.

Gel, *et al.* (2002) revisan el caso en que algunos trabajadores tienen tiempos productivos diferentes, algunos son rápidos o lentos para cada tarea que se les asigna. Igualmente Corominas *et al.* (2003) presentan un modelo que considera la variabilidad en los tiempos de trabajo en una determinada estación de trabajo, aplicable a varias situaciones industriales encontrados en los que es necesario diferenciar tipos de trabajadores, pero sólo entre dos tipos: expertos y personas inexpertas.

Hopp, *et al.* (2004) desarrollan un caso en que hay trabajadores rápidos y lentos (independientemente de la tarea asignada), pero su solución se inicia a partir de una línea ya equilibrada y su único objetivo es rotar temporalmente a los trabajadores.

Más recientemente Miralles, *et al.* (2007) han desarrollado varios estudios sobre modelación de puestos de trabajo con personas en situación de discapacidad, dentro de sus principales estudios se encuentra una modelación para las líneas de montaje en los centros de trabajo con personas de movilidad reducida.

García, *et al.* (2007) introducen un procedimiento de Branch and Bound para resolver la asignación de trabajadores y el balanceo de una línea de ensamble en un centro de trabajo para personas con movilidad reducida. El modelo matemático tiene en cuenta los diferentes tiempos para cada tarea, dependiendo de quién ejecuta la tarea y las incompatibilidades de los

trabajadores en ciertas tareas. Esta configuración ayuda al crecimiento de los centros de trabajo teniendo en cuenta las limitaciones específicas de cada trabajador.

En el año 2009 Costa y Miralles publicaron un artículo que consideraba la rotación de los trabajadores en la programación de las líneas de montaje, teniendo en cuenta los tiempos de las personas con discapacidad (los cuales son diferentes para la ejecución de las tareas). A su vez, proponen un modelo lineal entero mixto y un método heurístico para resolver ese tipo de programación de la producción.

Este artículo propone una propuesta metodológica de plan agregado de producción que involucre el personal de discapacidad en cada uno de los centros de trabajo de una empresa productiva, teniendo como objetivo maximizar el flujo de caja en un horizonte de tiempo definido.

2. PROPUESTA METODOLÓGICA

El modelo propuesto incluye variables y restricciones asociadas al flujo de caja, definido como el saldo de las entradas y salidas de dinero. El objetivo es maximizar el flujo de caja.

Existe una sola familia de productos que es fabricada a partir de varios centros de trabajo. El modelo busca asignar trabajadores con y sin situación de discapacidad a cada uno de estos centros.

La discapacidad es medida en tiempos de operación, donde el tiempo de proceso de cada tarea puede ser diferente dependiendo de cuál de los trabajadores ejecuta la tarea (ya que los trabajadores tienen diferentes habilidades y capacidades).

No hay trabajadores lentos o rápidos. Los trabajadores en situación de discapacidad pueden ser muy lentos o incluso incapaces de ejecutar ciertas tareas pero muy eficientes cuando ejecutan otras.

Cada trabajador es asignado a un centro de trabajo y varios trabajadores pueden estar asignados a un solo centro de trabajo.

Supuestos:

Para el desarrollo del modelo se tienen en cuenta los siguientes supuestos:

- Se maneja el mismo precio para los productos.

- Solo se manejan ventas de contado.
- Las órdenes pendientes de un período son cubiertas en el siguiente período.
- Existe una sola familia de productos.
- El salario mensual incluye las prestaciones sociales.
- En el último período del horizonte de planeación no pueden haber órdenes pendientes ni requerimiento de préstamo de dinero.
- No hay inversión, ni financiación a largo plazo.
- No se consideran los gastos administrativos ni el pago de impuestos.

2.1. Modelo propuesto

Conjuntos

H es el conjunto de tipo de personal (indexado por h), K el conjunto de los centros de trabajo (indexado por k), T es el conjunto de períodos de tiempo en el horizonte de personal t períodos de tiempo

Parámetros generales

n : Número de períodos.

d_t : Pronóstico de demanda en el período t

a_k : Tiempo requerido por unidad de familia en el centro de trabajo k

mr_{hkt} : Capacidad de tiempo regular de un empleado tipo h en el centro de trabajo k en el período t

mo_{hkt} : Capacidad de tiempo extra de un empleado tipo h en el centro de trabajo k en el período t

p : Precio de venta

k : Tasa de Costo de capital

m : Un número muy grande

hf : Horizonte de planeación

bi : Unidades de órdenes pendientes iniciales

ii : Unidades de inventario iniciales

w_{hk} : Nivel de empleados iniciales del tipo h en el centro de trabajo k

lt : Lead time

pre : Tasa de impuesto por renta

Parámetros restrictivos

mw_h : Máxima cantidad de empleados h
 me : Máxima cantidad de empleados totales
 ss : Inventario de seguridad
 mi : Máximo Inventario
 mb : Máximo de órdenes pendientes
 my : Máximo a subcontratar
 mz : Máximo de ventas perdidas

Parámetros costos

cx_i : Costo por unidad de familia de materia prima
 ci : Costo por unidad de familia de inventario
 cb : Costo por unidad de familia de órdenes pendientes
 cy : Costo por unidad de familia de subcontratación de unidades
 cz : Costo por unidad de familia de ventas perdidas
 ch : Costo de contratación de mano de obra
 cf : Costo de despido de mano de obra
 co : Costo de hora extra
 cw : Costo por empleado
 ca : Costo de capacitación y adecuación al contratar un empleado con discapacidad del tipo h

Variables de decisión

X_t : Unidades a producir en el período t
 I_t : Unidades de Inventario en el período t
 B_t : Unidades de órdenes pendientes en el período t
 Y_t : Unidades a sub-contratar en el período t
 Z_t : Unidades de ventas perdidas en el período t
 H_{thk} : Cantidad de empleados a contratar en el período t de tipo h en el centro de trabajo k
 F_{thk} : Cantidad de empleados a despedir en el período t de tipo h en el centro de trabajo k
 R_{tk} : Tiempo regular usado en el período t en el centro de trabajo k
 U_{tk} : Tiempo ocioso en el período t en el centro

de trabajo k

O_{tk} : Tiempo extra requerido en el período t en el centro de trabajo k
 W_{thk} : Nivel de empleados en el período t de tipo h en el centro de trabajo k
 IE_t : Ingresos totales en el período t
 CP_t : Cuentas por pagar en el período t
 S_t : Ventas en el período t
 Q_t : Nivel de producción en el período t
 CD_t : Costos directos por unidad de familia en el período t
 FC_t : Flujo de caja en el período t
 ID_t : Incentivo de discapacidad en el período t
 REN_t : Renta generada por impuestos en el período t
 $DREN_t$: Descuento sobre la renta en el período t, debido a la contratación de personas con discapacidad.

2.2. Explicación del modelo

El modelo se presenta a continuación. La función objetivo busca maximizar el valor presente de los flujos de caja en un horizonte de tiempo h_f . Este flujo de caja (restricción 1) es la diferencia entre las entradas y salidas de dinero. La restricción (2) hace referencia a los ingresos durante el período t. La restricción (3) define el valor de los costos directos de producción. La restricción (4) define el impuesto de renta. El descuento de renta está representado en la restricción (5). Las cuentas por pagar a los proveedores de materia prima se evidencian en la restricción (6). La restricción (7) asegura que la demanda sea cubierta con las ventas, el balance de las órdenes pendientes y las ventas perdidas. La restricción (8) define el valor de las ventas que son cubiertas por las unidades producidas, unidades a subcontratar y el balance de inventario. El balance de tiempo de producción se ve reflejado en la restricción (9) que permite que el total de tiempo utilizado en producción en cada período no supere el tiempo disponible. La restricción (10) permite el balance de mano de obra por contratación y despido. La restricción (11) es el balance de tiempo extra. La restricción (12) funciona como un balance de capacidad. Los incentivos por personal en discapacidad se ven reflejados en la restricción (13). Desde la restricción 12 hasta la 18 se aseguran que no se excedan los límites de

inventarios, órdenes pendientes, unidades a subcontratar, nivel de fuerza laboral y el límite de ventas pérdidas, respectivamente. Finalmente la restricción (19) asegura la no negatividad de las variables.

2.3. Planeación de los escenarios

Se proponen los siguientes escenarios con el fin de validar el modelo y evaluar su comportamiento ante variaciones de los principales parámetros.

Escenario 1

Este escenario analizará el comportamiento en las contrataciones y niveles de producciones, cuando el nivel de producción varíe en un rango del 0 al 12 % sobre el valor original (1224 unidades/período), este aumento corresponde a la variación creciente de la demanda entre un período y el período anterior a él.

Escenario 2

En este escenario, se analizó el efecto de un aumento del valor a pagar en impuestos de renta, a través de la variación de la tasa de renta en un rango del 0 al 50 %. Para este escenario se plantearon dos casos: en el primero se mantienen las condiciones iniciales de empleados originales y en el segundo caso, no se cuentan con empleados iniciales.

Función objetivo

$$Max VP = \sum_t \frac{FC_t}{(1+k)^t}$$

Restricciones

1. $FC_t = (IE_t + DREN_t) - (CD_t + REN_t) \quad \forall t$
2. $IE_t = S_t * p \quad \forall t$
3. $CD_t = (CP_t + cy * Y_t) + (cz * Z_t + ci * I_t + cb * B_t) + (ch * \sum_h \sum_k H_{thk} + cf * \sum_h \sum_k F_{thk}) + (cw * \sum_h \sum_k W_{thk} + co * \sum_k O_{tk}) + (\sum_{h>1} \sum_k ca_t * H_{thk}) \quad \forall t$
4. $REN_t = (IE_t - CD_t) * pren \quad \forall t$
5. $DREN_t \leq ID_t \quad \forall t$
 $DREN_t \leq REN_t \quad \forall t$
6. $CP_t = cx_1 * X_{t+1} \quad \forall t \leq hf - 1$

7. $S_t + Z_t + B_t = d_t + b_i \quad \forall t = 1$
 $S_t + Z_t + B_t = d_t + B_{t-1} \quad \forall t > 1$
8. $S_t = X_t + Y_t + ii - I_t \quad \forall t = 1$
 $S_t = X_t + Y_t + I_{t-1} - I_t \quad \forall t > 1$
9. $R_{tk} + U_{tk} = \sum_{h \in H} mr_{hkt} * W_{thk} \quad \forall t, k$
10. $wi_{hk} + H_{thk} - F_{thk} = W_{thk} \quad \forall t = 1, h$
 $W_{(t-1)hk} + H_{thk} - F_{thk} = W_{thk} \quad \forall t, h, k$
11. $O_{tk} \leq \sum_{h \in H} mo_{thk} * W_{thk} \quad \forall t, h, k$
12. $a_k * X_t = R_{tk} + O_{tk} \quad \forall t, k$
13. $ID_t = \sum_{h>1} \sum_k W_{thk} * (cw * 200\%) \quad \forall t$
14. $ss \leq I_t \leq mi \quad \forall t$
15. $B_t \leq mb \quad \forall t$
16. $Y_t \leq my \quad \forall t$
17. $\sum_k W_{thk} \leq mw_h \quad \forall t, h$
 $\sum_h \sum_k W_{thk} \leq me_t \quad \forall t$
18. $Z_t \leq mz \quad \forall t$
19. $X_t, I_t, B_t, Y_t, Z_t, H_{thk}, F_{thk}, R_{tk}, U_{tk}, O_{tk}, W_{thk}, IE_t, CP_t, S_t, Q_t, CD_t, FC_t, ID_t, REN_t, DREN_t \geq 0 \quad \forall t$

Escenario 3

En este escenario se estudiaría el efecto de variar la productividad brindada por los empleados en condición de discapacidad, haciendo variar su capacidad aportada en horas estándar en porcentajes del 75 al 150 % sobre su capacidad original.

Escenario 4

Para este escenario se estudia el impacto de una variación porcentual en el precio sobre su valor original, para ello se crean cinco instancias con porcentajes sobre el valor inicial del precio 90 %, 100 %, 125%, 150 % y 175 %, siendo 90 % el mínimo valor encontrado en donde se obtienen ganancias. Para este escenario se plantearon dos casos, en el primero se consideran las condiciones iniciales sobre el número de empleados contratados inicialmente y en el segundo se plantea que no se disponen empleados inicialmente, y se harán las contrataciones más adecuadas.

Escenario 5

En este escenario se modificara las condiciones de empleados iniciales, es decir aquellos que con los que se cuentan antes de la producción del primer período; se han propuestos cinco instancias distintas (A,B,C,D,E), en la instancia A se considera que no existen empleados contratados con anterioridad, en las instancias B, C y D son idénticas a las condiciones iniciales, excepto que no se cuentan con empleados contratados para los centros de trabajo 1, 2 y 3 respectivamente, por último en la instancia E.

Escenario 6

En este escenario se analiza el efecto de limitar el número máximo de empleados en condiciones de incapacidad a asignar en cada centro de trabajo; Para ello se crean siete instancias, en donde se varia el máximo permitido entre cero (no se permite contratar empleados en discapacidad) hasta seis (Seis empleados con discapacidad totales, seis en cada centro de trabajo).

Escenario 7

En esta instancia se modeló el problema sin permitirle tomar valores al *back order*.

Escenario 8

En este escenario se estudió el efecto de variar el costo que se incurre en la contratación de un empleado discapacitado, debido a la educación y adecuación necesaria para su empleabilidad. Este costo se variara en un rango de \$0 -1000 000 en incrementos de \$200 000; para este escenario se plantearon dos casos específicos, en el primero las condiciones de trabajadores iniciales serán iguales a la instancia inicial y en el segundo caso no se contarán con empleados contratados con anterioridad al primer período, dejando que se escoja la contratación de empleados más adecuada.

3. RESULTADOS

Los resultados iniciales del modelo sin tener en cuenta los escenarios se muestran en la **Tabla 1**.

Escenario 1

El incremento en la demanda favorece el número de ventas generadas (**Tabla 2**), sin embargo en rangos

Tabla 1. Resultados instancia original	
FLUJO DE CAJA (\$)	86 112 231
Ingresos por ventas (\$)	505 529 811
Costos directos (\$)	419 417 580
Renta (\$)	21 528 058
Descuento a la renta (\$)	21 528 058
Personal promedio	28
Personal discapacitado promedio	8
Contrataciones totales	22,00
Despidos totales	13,00
Tiempo regular	69 680 00
Horas extras	13 748 80
Unidades producidas	17 381,00
Unidades subcontratadas	1500,00
Ventas perdidas	-
Ventas totales	\$ 19 231,00
Back order totales	1665,00

Fuente: cálculos propios

que exceden la capacidad de producción (limitada por la cantidad de empleados a contratar), se genera un decrecimiento en el flujo de caja para incrementos en la demanda mayores al 5 %, eso se debe a que el número de ventas perdidas aumentan y estas generan un costo significativamente alto. Se encontró que para incrementos de demanda mayores al 12 %, el flujo de caja se tornaba negativo, al presentar mayores costos que ingresos. Es interesante señalar que a pesar de la variación de la demanda, no se presentan tiempos ociosos excepto en un caso, esto se debe a que el modelo contrata la cantidad justa para producir un poco más de lo necesario para vender, y lo sobrante de esa capacidad lo utiliza para producir unidades a inventariar.

Escenario 2: variación del porcentaje de renta

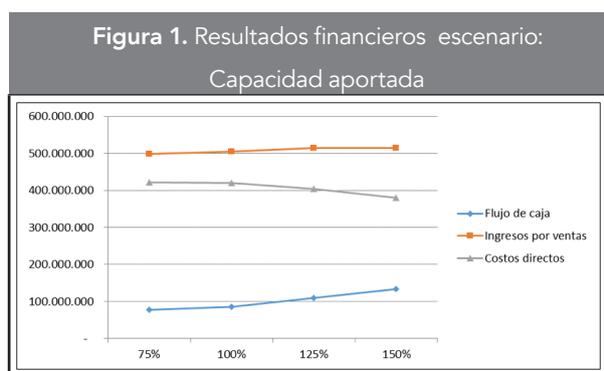
En el primer caso vemos que se mantiene el mismo nivel de empleados sin importar el aumento gradual del porcentaje del impuesto y su efecto sobre la renta a pagar (**Tabla 3**), esto se debe a que desde un principio se cuenta con los empleados en condición de discapacidad para afrontar el incremento en los impuestos

Tabla 2. Resultados escenario-aumento de la demanda						
% AUMENTO DEMANDA	0 %	2,50 %	5 %	7,50 %	10 %	12 %
Flujo de caja (\$)	82 337 675	88 927 282	86 112 231	71 837 725	45 771 959	30 275 386
Ingresos por ventas (\$)	411 704 089	459 419 203	505 529 811	510 768 083	513 857 475	511 841 745
Costos directos (\$)	329 366 414	370 491 921	419 417 580	438 930 358	468 085 516	481 566 359
Renta (\$)	20 584 419	22 231 821	21 528 058	17 959 431	11 442 990	7 568 846
Descuento a la renta (\$)	20 584 419	22 231 821	21 528 058	17 959 431	11 442 990	7 568 846
Personal promedio	24	27	28	28	28	28
Personal incapacitado promedio	8	8	8	8	8	8
Tiempo regular	59 072	67 930	69 680	69 888	69 888	69 888
Tiempo ocioso	-	24	-	-	-	-
Horas extras	3510	5217	13 749	14 213	14 602	14 602
Unidades producidas	13 038	15 239	17 381	17 521	17 602	17 602
Unidades subcontratadas	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Ventas perdidas	-	-	-	676	3429	4690
Ventas totales	14 888	17 089	19 231	19 371	19 452	19 452
Back order	-	14	1665	7652	7331	7446

Fuente: cálculos propios

Tabla 3. Resultados escenario: variación porcentaje de renta con empleados iniciales											
% RENTA	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %
Flujo de caja (\$) miles de pesos	88 503	86 112	86 112	86 112	86 112	86 112	86 112	86 112	86 112	86 112	86 112
Ingresos por ventas (\$) miles de pesos	505 529	505 529	505 529	505 529	505 529	505 529	505 529	505 529	505 529	505 529	505 529
Costos directos (\$) miles de pesos	417 026	419 417	419 417	419 417	419 417	419 417	419 417	419 417	419 417	419 417	419 417
Renta (\$) miles de pesos	-	4305	8611	12 916	17 222	21 528	25 833	30 139	34 444	38 750	43 056
Descuento a la renta (\$) miles de pesos	-	4305	8611	12 916	17 222	21 528	25 833	30 139	34 444	38 750	43 056
Personal promedio	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Personal Incapacitado Promedio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Tiempo regular	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680
Tiempo ocioso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Horas extras	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749
Unidades Producidas	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381
Unidades subcontratadas	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Ventas perdidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventas totales	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231
Back order	1665	1665	1665	1665	1665	1665	1665	1665	1665	1665	1665

Fuente: cálculos propios



Fuente: cálculos propios

de renta. En el caso en que no se cuenta con empleados iniciales, vemos un incremento gradual sobre la cantidad de empleados discapacitados a medida que el impuesto a la renta aumenta, es importante señalar que entre los valores de flujos de caja entre los dos casos, hay una diferencia de más o menos 1 millón de COP, a favor en las instancias en donde no se encuentran con empleados iniciales, esto se debe a la diferencia entre despedir y contratar la cantidad justa de empleada en el primer caso, y contratar la cantidad ideal de empleados desde un principio en el segundo caso.

Escenario 3: capacidad aportada

Se observa que el aumento de la productividad genera un incremento en las ganancias dado la disminución de backorders totales, se resalta que los incrementos de productividad genera aumentos considerables en la cantidad de personal con discapacidad contratadas, así mismo con su capacidad de reducir los impuestos rentas, que tienden a crecer con el número de ventas incrementadas (Figura 1).

Escenario 4: variación sobre el nivel del precio de venta

La variación del precio incrementa la brecha entre los ingresos por ventas y los costos directos (Tabla 4), lo cual aumenta las ganancias netas las que a su vez generan mayores rentas sobre los impuestos. En los casos en que se cuenta con un grupo de empleados contratados desde el inicio, las configuraciones resultantes minimizan los cambios entre el estado inicial y final, para no incurrir en los costos de despido y contratación, es decir, se mantiene casi el mismo número de empleados discapacitados. Sin embargo podemos

observar en el segundo caso (Tabla 5), donde no se cuenta con empleados iniciales, un aumento gradual entre los empleados discapacitados, contratando cada vez que los costos por rentas superan al capacidad de mitigarlos. Es de especial interés que a pesar de las diferencias entre las distintas condiciones iniciales, ambos modelos presentan resultados muy similares para todos los niveles de precios.

Escenario 5: condiciones de empleados iniciales

Se puede observar en la Tabla 6 que a pesar de las distintas condiciones iniciales en su nivel de empleados, los resultados para las distintas instancias se acercan a un mismo valor de flujo de caja (88 millones), excepto para la instancia D en donde su valor alcanza un valor de más de 4 millones por debajo del promedio, esto es debido a que no se encuentran con personal asignado al centro de trabajo 3, el cual es el que tiene la tasa de producción más lenta de todos los centros de trabajos, y por ello la que requiere más inversión de personal.

Escenario 6: número de empleados máximos permitidos

Se observa que el número de empleados máximos en situación de discapacidad, afecta el valor de flujo de caja, al amortiguar el impacto de los impuestos de rentas, sin tener afectar los valores de ingresos por ventas, costos directas, cantidades a producir, subcontratar o en la generación de backorder, esto se debe a que busca a empleados discapacitados que tengan el mismo nivel de productividad en ciertos de trabajo iguales a un empleado en condiciones normales (Tabla 7).

Se encontró que a partir de cinco empleados discapacitados por centro de trabajo, máximo quince en total, se obtenía los mayores mejores resultados en el flujo de caja, y que aumentar este número más allá de cinco, no genera cambios en la configuración de contratación.

Escenario 7: modelo sin back orders

De acuerdo a lo esperado, como no se genera backorder, se pierden las ventas, lo cual a su vez disminuye la función objetivo del flujo de caja. Sin embargo no se ve afectada la contratación de personal en situación de discapacidad (Figura 2).

Tabla 4. Variación sobre el nivel del precio de venta, con trabajadores iniciales

% SOBRE EL PRECIO	90 %	100 %	125 %	150 %	175 %
Flujo de caja	35 728 885	86 112 231	212 517 292	339 016 652	465 093 986
Ingresos por ventas	448 142 742	505 529 811	632 116 795	759 172 342	887 219 558
Costos directos	412 413 857	419 417 580	419 599 504	420 155 691	422 077 866
Renta	8 932 221	21 528 058	53 129 323	84 754 163	116 285 423
Descuento a la renta	8 932 221	21 528 058	53 129 323	84 754 163	116 237 717
Personal promedio	28	28	28	28	28
Personal incapacitado promedio	8	8	8	8	9
Tiempo regular	69 680	69 680	69 680	69 680	69 843
Tiempo ocioso	-	-	-	-	1
Horas extras	11 622	13 749	13 778	13 859	13 864
Unidades producidas	16 938	17 381	17 387	17 404	17 439
Unidades subcontratadas	1500	1500	1500	1500	1500
Ventas perdidas	-	-	-	-	-
Ventas totales	18 788	19 231	19 237	19 254	19 289
Back order	2479	1665	1623	1521	1311

Fuente: cálculos propios

Tabla 5. Variación del precio de venta sin trabajadores iniciales

% SOBRE EL PRECIO	90 %	100 %	125 %	150 %	175 %
Flujo de caja	37 756 157	87 957 686	213 999 110	340 057 725	465 130 349
Ingresos por ventas	448 142 742	505 529 811	632 116 795	759 172 342	887 219 558
Costos directos	410 386 584	417 572 125	418 117 686	419 114 617	422 041 503
Renta	9 439 039	21 989 421	53 499 777	85 014 431	116 294 514
Descuento a la renta	9 439 039	21 989 421	53 499 777	85 014 431	116 246 808
Personal promedio	28	28	28	28	28
Personal incapacitado promedio	2	3	5	7	9
Tiempo regular	69 680	69 680	69 680	69 680	69 843
Tiempo ocioso	-	-	-	-	1
Horas extras	11 622	13 749	13 778	13 859	13 864
Unidades Pproducidas	16 938	17 381	17 387	17 404	17 439
Unidades subcontratadas	1500	1500	1500	1500	1500
Ventas perdidas	-	-	-	-	-
Ventas totales	18 788	19 231	19 237	19 254	19 289
Back order	2479	1665	1623	1521	1311

Fuente: cálculos propios

Tabla 6. Resultados escenario condiciones de empleados iniciales

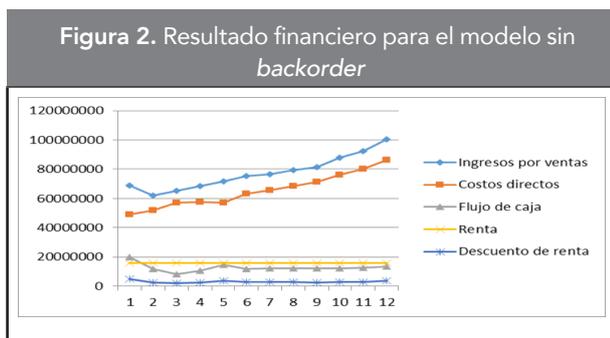
CASOS	A	B	C	D	E
Flujo de caja	87 957 686	88 348 595	88 148 595	83 744 042	86 112 231
Ingresos por ventas	505 529 811	505,529,811	505 529 811	505 529 066	505 529 811
Costos directos	417 572 125	417 181 216	417 381 216	421 785 024	419 417 580
Renta	21 989 421	22 087 149	22 037 149	20 936 011	21 528 058
Descuento a la renta	21 989 421	22 087 149	22 037 149	20 936 011	21 528 058
Personal promedio	28	28	28	28	28
Personal incapacitado promedio	3	8	8	2	8
Tiempo regular	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680
Tiempo ocioso	-	-	-	-	-
Horas extras	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749
Unidades producidas	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381
Unidades subcontratadas	1500	1500	1500	1500	1500
Ventas perdidas	-	-	-	-	-
Ventas totales	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231
Back order	1665	1665	1665	1665	1665

Fuente: cálculos propios

Tabla 7. Resultados obtenidos del escenario: empleados máximos permitidos

CANTIDAD MÁXIMA PERMITIDA	-	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Flujo de caja	60 875 083	82 403 140	83 639 504	84 875 868	85 494 050	86 112 231	86 112 231
Ingresos por ventas	505 529 811	505 529 811	505 529 811	505 529 811	505 529 811	505 529 811	505 529 811
Costos directos	424 363 034	423 126 670	421 890 307	420 653 943	420 035 761	419 417 580	419 417 580
Renta	20 291 694	20 600 785	20 909 876	21 218 967	21 373 512	21 528 058	21 528 058
Descuento a la renta	-	20 600 785	20 909 876	21 218 967	21 373 512	21 528 058	21 528 058
Personal promedio	28	28	28	28	28	28	28
Personal Incapacitado Promedio	-	2	4	6	7	8	8
Tiempo regular	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680
Tiempo ocioso	-	-	-	-	-	-	-
Horas extras	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749
Unidades producidas	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381
Unidades subcontratadas	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Ventas perdidas	-	-	-	-	-	-	-
Ventas totales	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231
Back order	1665	1665	1665	1665	1665	1665	1665

Fuente: cálculos propios



Fuente: cálculos propios

Escenario 8: costo de adecuación

Como se puede observar en este caso (**Tabla 8**), las condiciones iniciales afectan el comportamiento del modelo, en el caso en el que se cuente con los trabajadores con discapacidad suficiente para atender los costos de rentas, la variación en los costos de adecuación no

tienen impacto en las decisiones de contratación. Por otro lado en el caso en que no se cuente con personal contratado al comienzo del período, se evidencia como se intenta mantener al mínimo los números de empleados con discapacidad contratados, y se resalta sobre todo como una cantidad pequeña de empleados es suficiente para cubrir los costos generados por rentas; y especialmente es interesante analizar que aunque los costos de adecuación puedan alcanzar valores hasta el doble del salario del empleado, la contratación de estos empleados siguen siendo considerado, dada que sus beneficios se mantienen a largo plazo.

4. CONCLUSIONES

Las personas en situación de discapacidad a nivel mundial presentan bajas tasas de empleo. Sin embargo existen países como España, el cual cuenta con centros de trabajo para éstas personas, garantizando su vinculación social y económica al sistema productivo

Tabla 8. Escenario: Costo de adecuación

COSTO ADECUACIÓN	-	200 000	400 000	600 000	800 000	1 000 000
Flujo de caja	86 112 231	86 112 231	86 112 231	86 112 231	86 112 231	86 112 231
Ingresos por ventas	505 529 811	505 529 811	505 529 811	505 529 811	505 529 811	505 529 811
Costos directos	419 417 580	419 417 580	419 417 580	419 417 580	419 417 580	419 417 580
Renta	21 528 058	21 528 058	21 528 058	21 528 058	21 528 058	21 528 058
Descuento a la renta	21 528 058	21 528 058	21 528 058	21 528 058	21 528 058	21 528 058
Personal promedio	28	28	28	28	28	28
Personal incapacitado promedio	10	8	8	8	8	8
Tiempo regular	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680	69 680
Tiempo ocioso	-	-	-	-	-	-
Horas extras	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749	13 749
Unidades producidas	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381	17 381
Unidades subcontractadas	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Ventas perdidas	-	-	-	-	-	-
Ventas totales	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231	19 231
Back order	1665	1665	1665	1665	1665	1665

Fuente: cálculos propios

del país. Este es un ejemplo de países que promuevan el acceso al trabajo para aumentar la participación en la sociedad, lo que se traduce en beneficios sociales y tributarios pues estas personas empiezan a aportar al sistema productivo y por ende al país.

La investigación de operaciones ha avanzado en la solución de problemas, ya que actualmente se busca la optimización de objetivos no solamente por el tema económico sino beneficioso para la sociedad. Actualmente la ética hace parte fundamental en la toma de decisiones, como nuestro modelo que busca maximizar el flujo de caja de una empresa incluyendo las personas en situación de discapacidad. De esta manera se toman decisiones que resultan sustentables para la sociedad, garantizando la vinculación de discapacitados en el mundo.

En Colombia existen beneficios tributarios que promueven la vinculación de personas en situación de discapacidad. Estos afectan de manera positiva los resultados económicos de las compañías, lo cual puede evidenciarse en los resultados del modelo, que seleccionó personas en situación de discapacidad para algunos centros de trabajo, ya que fueron eficientes en la ejecución de sus actividades y a su vez permitieron deducciones en los impuestos de renta por su contratación.

El modelo muestra el beneficio de la contratación de empleados en condiciones de discapacidad en un aumento del más del 40% en el flujo de caja entre los distintos límites máximos; además el número de personal necesario para recibir beneficios sobre la renta es relativamente bajo, por el pequeño número máximo a mantener de personal. Se observó también que un aumento de la demanda, en un rango que pueda ser controlada por el nivel de producción, tiene una fuerte incidencia en el aumento de la contratación de más personal discapacitado, esto se debe a que un aumento de la demanda crea una brecha más grande entre ingresos brutos y costos, lo cual a su vez aumenta el pago de impuesto de renta, y lleva a compensar con un mayor nivel de contratación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias porque gracias al Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores «Virginia Gutiérrez de Pineda» esta investigación fue desarrollada.

REFERENCIAS

- Bartholdi, J.J.; Eisenstein, D. (1996). A Production Line that Balances Itself. *Oper. Res.*, 44, pp. 21–33.
- Brocklesby, J. (2000). Ethics Beyond the Model: How Social Dynamics can Interfere with Ethical Practice in Operational Research/Management Science. *OMEGA—Worker Differences and Overtime Cost. Management Sci.*, 46, pp. 421–435.
- Domínguez. (1995). Dirección de operaciones- *Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios.*
- Ferguson, P.M. (2001). *Mapping the Family: Disability Studies and the Exploration of Parental Response to Disability.*, En: Albrecht, G.; Seelman, K.; Bury, M. *Handbook of Disability Studies*, SAGE Publications, Cap. 15.
- Forsyth, R. (2007). Participation of Young Severely Disabled Children is Influenced by their Intrinsic Impairments and Environment. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49(9), pp. 345–349.
- Gallo, G. (2004). Operations Research and Ethics: Responsibility, Sharing and Cooperation. *European Journal of Operational Research*, 153(2), pp. 468–476.
- Gel, E.S.; Hopp, W.J.; Van, M.P. (2002). Factors Affecting Opportunity of Work Sharing as a Dynamic Line Balancing Mechanism. *IIE Trans.*, 34, pp. 847–863.
- Grosh, M.; Del Ninno, C.; Tesliuc, E.; Ouerghi, A. (2008). *For Protection and Promotion: The Design and Implementation of Effective Safety Nets.* Washington, World Bank., 612 p.
- Hopp, W.J.; Tekin, E.; Van, M.P. (2004). Benefits of Skill Chaining in Serial Production Lines with Cross-Trained Workers. *Management Sci.*, 50, pp. 83–98.
- Ingstad, B.; Whyte, S.R. (1995). *Disability and Culture.* Berkley, University of California Press, 320 p.
- Kunsch, P.L.; Kavathatzopoulos, I.; Rauschmayer, F. (2009). Modeling Complex Ethical Decision Problems with Operations Research. *OMEGA—The International Journal of Management Science*, 37(6), pp. 1100–1108.
- Lauber, C.; Rössler, W. (2007). Stigma Towards People with Mental Illness in Developing Countries in Asia. *International Review of Psychiatry Abingdon, England*, 19(2), pp. 157–78.
- Mansoor, E. M. (1968.) Assembly Line Balancing: A Heuristic Algorithm for Variable Operator Performance Levels. *J. Indust. Eng.* 19, 618.

- Menestrel, M. (2009). Ethics in Operations Research and Management Sciences: A Never-Ending Effort to Combine Rigor and Passion. *OMEGA—The International Journal of Management Science*.
- Mingers, J. (2011). Ethics and OR: Operationalising Discourse Ethics. *European Journal of Operational Research*.
- Miralles, C.; García, P.; Andres, C.; Cardos, M. (2007). Advantages of Assembly Lines in Sheltered Work Centres for Disabled: A case study. *Int. J. Production Economics*, 110, pp. 187–197.
- Miranda, F.; Rubio, S.; Chamorro, A.; Bañegil, T. (2005). Manual de dirección de operaciones. *España, Editorial Thompson*.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2011). Informe Mundial sobre la Discapacidad. *Edición de la OMS*.
- Pandi: Agencia de comunicación. Informe Especial de la Fundación Saldarriaga Concha. Disponible en: <http://www.agenciapandi.org/en-colombia-el-61-de-las-personas-con-discapacidad-no-recibe-ningun-tipo-de-ingreso-economico-para-su-subsistencia-es-necesario-que-como-sociedad-les-brindemos-mas-oportunidades-laborales/>
- Picavet, E. (2009). Opportunities and Pitfalls for Ethical Analysis in Operations Research and the Management Sciences. *OMEGA—The International Journal of Management Science*.
- Saunders, P. (2006). The Costs of Disability and Incidence of Poverty. *Sydney, Social Policy Research Centre, University of New South Wales*.
- Schroeder, R.G. (1992). Administración de operaciones - Toma de decisiones en la función de operaciones. *Tercera Edición. México, Editorial Mc Graw Hill*.
- Shakespeare, T. (2006). Disability Rights and Wrongs. *London, Routledge*.
- Sickness (2009). Disability and Work: Breaking the Barriers. A Synthesis of Findings Across OECD Countries. *Organisation for Economic Co-operation and Development*.
- Siperstein, G.N.; Norins, J.; Corbin, S.; Shriver T. (2003). Multinational Study of Attitudes Towards Individuals with Intellectual Disabilities. *Washington, Special Olympics Inc*.
- United Nations Children's Fund. (2008). University of Wisconsin. Monitoring Child Disability in Developing Countries: Results from the Multiple Indicator Cluster Surveys. *New York, United Nations Children's Fund*.
- Wenstop, F.; Koppang, H. (2009). On Operations Research and Value Conflicts. *OMEGA—The International Journal of Management Science*.
- World Health Organization (2004). Informe mundial sobre la discapacidad. *Organización Mundial de la Salud*.

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

Otaya-Betancourt, W.; Osorio, J.C; Orejuela, J.P. (2015). Plan agregado de producción con personal en situación de discapacidad, *Revista EIA*, 12(23) enero- junio, pp. 175-187. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2015.12.23.175-187>